



**UNIVERSIDAD PRIVADA TELESUP**  
**FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL Y**  
**DESARROLLO INMOBILIARIO**

**TESIS**

**MEJORAMIENTO DEL PAVIMENTO FLEXIBLE MEDIANTE LA  
APLICACION DE POLVO DE FIBRA DE VIDRIO SOBRE  
SUBRASANTE DE LA CARRETERA TANTAMAYO – CARPA (KM.  
00+000 AL 24+487), DEPARTAMENTO DE HUANUCO, 2023**

**PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO CIVIL**

**AUTOR:**

**Bach: LOPEZ VILLANUEVA, OVER WILMER  
DNI. 46603106**

**Bach: FLORES VALLE, MARIA ANGELICA  
DNI. 71391299**

**LIMA - PERÚ  
2023**

## REPORTE DE ANTIPLAGIO MENOR A 30%



### INFORME DE ANÁLISIS

Similitudes del documento :

19%

Similitudes de las partes 1 :

17%

#### ANALIZADO EN LA CUENTA

Apellido :	ASESORES
Nombre :	TALLER
E-mail :	uptgradosytitulos@gmail.com MG.
Carpeta :	CHRISTIAN OVALLE

#### INFORMACIÓN SOBRE EL DOCUMENTO

Autor(es) :	No disponible
Título :	Tesis flores valle maría
Descripción :	y lopez villanueva,
Analizado el :	over.docx
	No disponible
	10/02/2023 22:30
ID Documento :	zeh2pao9
Nombre del archivo :	TESIS FLORES Y LOPEZ.docx
Tipo de archivo :	docx
Número de palabras :	11 382
Número de caracteres :	75 425
Tamaño original del archivo (kB) :	1 067.5
Tipo de carga :	Entrega manual de los trabajos
Cargado el :	10/02/2023 09:01

#### FUENTES ENCONTRADAS

Fuentes muy probables :	28 fuentes
Fuentes poco probables :	44 fuentes
Fuentes accidentales :	1 fuente
Fuentes descartadas :	12 fuentes

#### SIMILITUDES ENCONTRADAS EN ESTE

##### DOCUMENTO/ESTA PARTE

Similitudes idénticas :	11%
Similitudes supuestas :	4%
Similitudes accidentales :	<1%

#### TOP DE FUENTES PROBABLES - ENTRE LAS FUENTES PROBABLES

Fuentes	Similitud
1.  Su documento: 58srdkb9 - TESIS CASTRO LOPEZ MARIA.docx (Documento detectado en el análisis,	7%

## **ASESOR DE TESIS**

.....

**Mg. OVALLE PAULINO, DENIS CHRISTIAN**

**DNI . 40234321 <https://orcid.org/0000-0002-5559-5684>**

## **JURADO EXAMINADOR**

.....

**DR. JUAN ANTENOR CACEDA CORILLOCLA**

**DNI. 41568334 <https://orcid.org/0000-0002-3090-7100>**

**PRESIDENTE**

.....

**DR. FERNANDO LUIS TAM WONG**

**DNI. 07977890 <https://orcid.org/0000-0002-5678-0056>**

**SECRETARIO**

.....

**MG. DANIEL VICTOR SURCO SALINAS**

**DNI. 09722150 <https://orcid.org/0000-0002-8782-8470>**

**VOCAL**

## **DEDICATORIA**

A mis padres quienes han sido la guía y el camino para poder llegar a este punto de mi carrera, que con su ejemplo, dedicación y palabras de aliento nunca bajaron los brazos para que yo tampoco lo haga aun cuando todo se complicaba.

Gracias por todo.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a mis padres por el apoyo a lo largo de mi carrera, por haberme dado la oportunidad de darme una excelente educación alcanzar mis sueños de estudiar esta carrera y poder llegar a esta meta.

Agradecimiento a nuestra casa de estudio por guiarnos y dado los conocimientos de esta carrera, a nuestro asesor por guiarnos en esta tesis, a nuestros amigos que con su apoyo se ha logrado llegar a este punto de la carrera.

Agradezco a todos los demás quien me apoyo durante este proceso.

## RESUMEN

La investigación tuvo como objetivo determinar la funcionalidad de pavimentos flexibles se ve afectada por la deficiencia de información detallada de los parámetros de Diseño de Pavimentos. Las fallas internas, desencadenan problemas de desplazamientos y deformaciones, los cuales afectan directamente en la funcionalidad de la estructura del pavimento.

El desarrollo del uso de materiales de construcción en Perú ha provocado un aumento en la cantidad de residuos de vidrio y un impacto negativo en el medio ambiente. Sin embargo, debido a sus útiles propiedades mecánicas, como la resistencia a la compresión y al corte, estos residuos pueden utilizarse como estabilizadores de suelos en las bases de los pavimentos. Esto reduce el impacto ambiental y facilita la implementación de recubrimientos ambientalmente sostenibles. Para la presente investigación se ha utilizado el tipo de investigación explicativo y método de investigación cuantitativo.

En ese contexto, la presente investigación, está orientada en desarrollar una estabilización de suelo, un diseño de pavimentos bajo la metodología AASHTO, y un posterior análisis del comportamiento mecánico del diseño de pavimentos realizado. Por otro lado, se hace uso de la metodología AASHTO 1993, con el fin de diseñar el paquete estructural y obtener valores de espesores de capa en escenarios de suelo estabilizado con piedra Over propuesto por JNR y otro en el que el suelo se encuentre estabilizado con polvo de fibra de vidrio reciclado, propuesto por la presente investigación.

Posteriormente, se realizó un análisis comparativo de espesores y la influencia directa del valor de CBR en muestras no estabilizadas y estabilizadas, para la determinación del número estructural en el Diseño de pavimentos.

**Palabras clave:** Pavimentos Flexibles; Subrasante; Estabilización; Polvo de Fibra de vidrio, AASHTO.

## ABSTRACT

The objective of the investigation was to determine the functionality of flexible pavements is affected by the deficiency of detailed information of the Pavement Design parameters. Internal failures trigger displacement and deformation problems, which directly affect the functionality of the pavement structure.

The development of the use of construction materials in Peru has caused an increase in the amount of glass waste and a negative impact on the environment. However, due to its useful mechanical properties, such as compressive and shear strength, these residues can be used as soil stabilizers in pavement bases. This reduces the environmental impact and facilitates the implementation of environmentally sustainable coatings.

For the present investigation, the type of explanatory investigation and the quantitative investigation method have been used.

In this context, the present investigation is oriented to develop a soil stabilization, a pavement design under the AASHTO methodology, and a subsequent analysis of the mechanical behavior of the pavement design carried out. On the other hand, the AASHTO 1993 methodology is used, in order to design the structural package and obtain layer thickness values in scenarios of stabilized soil with Over stone proposed by JNR and another in which the soil is stabilized with recycled fiberglass powder, proposed by the present investigation.

Subsequently, a comparative analysis of thicknesses and the direct influence of the CBR value in non-stabilized and stabilized samples was carried out, for the determination of the structural number in the Pavement Design.

**Keywords:** Flexible Pavements; subgrade; Stabilization; Fiberglass Dust, AASHTO.

## INDICE DE CONTENIDOS

ASESOR DE TESIS	III
JURADO EXAMINADOR	IV
DEDICATORIA	V
AGRADECIMIENTO	VI
RESUMEN	VII
ABSTRACT	VIII
INDICE DE CONTENIDOS	IX
INDICE DE TABLAS	XI
INDICE DE FIGURAS	XIII
<b>I. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN</b>	<b>15</b>
1.1. Planteamiento de Problema	15
1.2. Formulación del problema	16
1.3. Justificación del estudio	16
1.4. Justificación teórica.	17
1.5. Justificación práctica.	17
1.6. Justificación social.	17
1.7. Objetivos de la investigación	17
1.1.1 Objetivo general	17
2.1.1 Objetivos específicos	17
<b>II. MARCO TEÓRICO</b>	<b>19</b>
2.1 Antecedentes de la Investigación	19
2.1.1. Antecedentes Nacionales	19
2.1.2. Antecedentes Internacionales.	22
2.2. Bases teóricas de las variables	24
2.2.1. Pavimento flexible	24
2.2.2. Capa de Rodamiento	25
2.2.3. Base Granular	26
2.2.4. Sub Base Granular	26
2.2.5. Sub Rasante	27
2.2.6. Estudio de Suelo	27
2.2.7. Estudio de Tráfico	34
2.2.8. PCI	37
2.2.9. Polvo de Fibra de Vidrio	63
2.3. Definición de términos básicos	73
<b>III. MÉTODOS Y MATERIALES</b>	<b>75</b>
3.1. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN	75
3.1.1. Hipótesis general	75

3.2.	VARIABLES DE ESTUDIO-----	75
3.2.1.	Definición conceptual Variable independiente-----	75
3.2.2.	Operacionalización de Variables -----	76
3.3.	DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN -----	77
3.3.1.	Tipo y nivel de la investigación -----	77
3.3.2.	Investigación tecnológica -----	77
3.3.3.	Método de Investigación. -----	77
3.3.4.	Diseño de investigación-----	77
3.4.	POBLACIÓN Y MUESTRA DE ESTUDIO-----	77
3.4.1.	Población-----	77
3.4.2.	Muestra -----	78
3.4.3.	Técnicas de recolección de datos -----	78
3.4.4.	Instrumentos de recolección de datos -----	78
3.5.	VALIDACIÓN Y CONFIABILIDAD DEL INSTRUMENTO-----	79
3.5.1.	Validez del Instrumento -----	79
3.6.	MÉTODOS DE ANÁLISIS DE DATOS-----	79
3.7.	ASPECTOS ÉTICOS -----	79
IV.	RESULTADOS-----	79
4.1.	La Contrastación de la Hipótesis -----	79
4.1.1.	Método Estadístico para la Contrastación de la Hipótesis-----	80
4.1.2.	La Contrastación de la Hipótesis General -----	80
4.2.	Aplicación De La Estadística Inferencial De Las Variables -----	82
4.2.1.	Normalización de la Influencia de las Variables 1 y 2.-----	82
4.2.2.	El planteo de la hipótesis general-----	82
4.3.	Aplicación de la estadística descriptiva de las variables-----	85
4.3.1.	Variable independiente: pavimento flexible.-----	85
4.3.2.	Variable dependiente: polvo de fibra de vidrio.-----	100
V.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS-----	116
VI.	CONCLUSIONES -----	117
VII.	RECOMENDACIONES -----	118
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS -----	119
	ANEXOS -----	121
	ANEXO 01 MATRIZ DE CONSISTENCIA -----	122
	ANEXO 02 MATRIZ DE OPERACIONALIZACION DE VARIABLES -----	123
	ANEXO N° 03 VALIDACION DEL INSTRUMENTO-----	124
	ANEXO N° 04 MATRIZ DE DATOS -----	125
	ANEXO N° 05 PROPUESTA DE VALOR-----	126

## INDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1 Operacionalización de variable</i> -----	76
<i>Tabla 2 Validez del instrumento</i> -----	79
<i>Tabla 3 Cuadro comparativo de las variables pavimento flexible y polvo de fibra de vidrio</i> -----	81
<i>Tabla 4 Pruebas de normalización</i> -----	82
<i>Tabla 5 Correlaciones de hipótesis general</i> -----	83
<i>Tabla 6 Correlaciones de hipótesis general</i> -----	84
<i>Tabla 7 Correlaciones de Hipótesis Especifica 2</i> -----	85
<i>Tabla 8 determinar un óptimo control en los recursos, mano de obra y maquinaria en obras de pavimentación es importante para aumentar la productividad? y el 5% dijeron desacuerdo</i> -----	85
<i>Tabla 9 es importante establecer procesos eficientes y actividades que generen valor en la construcción de una pavimentación flexible? y el 5% dijeron totalmente en desacuerdo</i> -----	86
<i>Tabla 10 Es importante realizar reportes diarios con el fin de analizar las fluctuaciones a través de las semanas para verificar los planes de acciones correctivas para asegurar la mejora continua</i> -----	87
<i>Tabla 11 Con qué frecuencia analiza las actividades que debieron ejecutarse y las que realmente se ejecutaron para identificar las causas de no cumplimiento en la construcción de pavimento flexible</i> -----	88
<i>Tabla 12 Identifica cuáles son los factores que afectan en la construcción de pavimentos flexibles</i> -----	89
<i>Tabla 13 Con que frecuencia identifica las partidas que presentan mayores restricciones o retrasos en la construcción de obras de pavimentación</i> -----	90
<i>Tabla 14 Para usted, cree que es importante la aplicación de la programación rítmica y trenes de trabajo para mejorar el control de los proyectos</i> -----	91
<i>Tabla 15 Cuáles son las normas y reglamentos peruanos para el diseño de pavimentos</i> -----	92
<i>Tabla 16 Qué es el CBR y cual es el mínimo valor para estructura de sub rasante y base en una via de alto tránsito</i> -----	93
<i>Tabla 17 Cuáles son los ensayos que se debe de realizar a los agregados para la preparación del Pavimento Flexible</i> -----	94
<i>Tabla 18 cuáles son las recomendaciones de acuerdo al lugar de uso para la preparación de mezcla asfáltica con cementos asfálticos</i> -----	95
<i>Tabla 19 Qué es la imprimación y que productos se utiliza para este trabajo</i> -----	96
<i>Tabla 20 cual es el proceso de compactación de la mezcla asfáltica en caliente</i> -----	97
<i>Tabla 21 sabe cuáles son los valores mínimos de estabilidad y flujo de una mezcla asfáltica de acuerdo al reglamento peruano</i> -----	98
<i>Tabla 22 sabe que ensayos debe efectuarse al material granular que se usa en la conformación de base para un pavimento flexible, que valores mínimos debe cumplir</i> -----	99
<i>Tabla 23 Qué tan probable es que se determine la causa-efecto para predecir, mejorar y optimizar en la utilización del polvo de fibra de vidrio</i> -----	100
<i>Tabla 24 Cree usted que se debe proponer herramientas de gestión que son aplicados en la utilización del polvo de fibra de vidrio</i> -----	101
<i>Tabla 25 Considera que se debe utilizar las herramientas de la Filosofía Lean Construction que más se adecuen al tipo de obra de pavimentación</i> -----	102
<i>Tabla 26 Considera que es bueno identificar y controlar el estado de los flujos de trabajo con el fin de extraer distintas conclusiones y medidas correctivas</i> -----	103
<i>Tabla 27 que al implementar el polvo de fibra de vidrio se obtendrá el aumento de la productividad en la obra</i> -----	104
<i>Tabla 28 considera que el análisis de la milla medida es una herramienta efectiva para demostrar la perdida de costos de productividad en la construcción del pavimento flexible</i> -----	105
<i>Tabla 29 considera usted, que el ratio unitario de productividad permite detectar deficiencias en la utilización del polvo de fibra de vidrio en el pavimento flexible</i> -----	106
<i>Tabla 30 considera usted, que es importante analizar todas las actividades del proyecto a fin de identificar la variabilidad que presentan</i> -----	107
<i>Tabla 31 Está conforme con el diseño preliminar de miembros para el desarrollo del proyecto</i> -----	109
<i>Tabla 32 Considera usted definir los hitos del proyecto de manera detallada</i> -----	109
<i>Tabla 33 Considera realizar la sectorización del proyecto de acuerdo a la magnitud, recursos a utilizarse por cada actividad y los responsables</i> -----	110

<i>Tabla 34 Considera la aplicación del polvo de fibra de vidrio en la utilización en los pavimentos flexibles</i>	<i>111</i>
<i>Tabla 35 Cuánto influye el aumento de la productividad al diseñar de forma conjunta el proyecto y los procesos-----</i>	<i>112</i>
<i>Tabla 36 Se deben perfeccionar los procesos existentes antes a evaluar otros ya que se busca mantener un equilibrio entre el mejoramiento de los flujos y conversiones-----</i>	<i>113</i>
<i>Tabla 37 se debe simplificar los procesos con el fin de manejar adecuados lotes de producción y atender la demanda-----</i>	<i>114</i>

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Capas de la estructura de un pavimento flexible-----	25
Figura 2 Tamices de malla Cuadrada -----	29
Figura 3 Detalles de la copa de Casagrande -----	31
Figura 4 Muestra de suelo antes de la prueba y despues de la prueba -----	31
Figura 5 Percentiles para determinar el CBR de la subrasante-----	33
Figura 6 Clasificación del suelo de acuerdo con el CBR. Fuente: Pavimentos, Materiales, Construcción y Diseño, (2015) -----	33
Figura 7 Periodos de diseños en función del tipo de carretera. -----	35
Figura 8 Clasificación del PCI -----	38
Figura 9 Longitudes de unidades de muestreo asfáltico -----	39
Figura 10 Formato de exploración de condición para carreteras con superficie asfáltica -----	39
Figura 11 Formato de exploración de condición para carreteras con superficie asfáltica -----	41
Figura 12 Piel de cocodrilo nivel de severidad (a) baja, (b) media, (c) alta -----	43
Figura 13 Exudación nivel de severidad (a) baja, (b) media, (c) alta -----	44
Figura 14 Agrietamiento en bloque nivel de severidad (a) baja, (b) media, (c) alta -----	45
Figura 15 Abultamiento y Hundimiento nivel de severidad (a) baja, -----	46
Figura 16 Corrugación nivel de severidad (a) baja, (b) media, (c) alta -----	47
Figura 17 Depresión nivel de severidad (a) baja, (b) media, (c) alta -----	48
Figura 18 Grieta de borde nivel de severidad (a) baja, (b) media, (c) alta -----	49
Figura 19 Grieta de reflexión de junta nivel de severidad (a) baja, -----	50
Figura 20 Desnivel carril/Berma nivel de severidad (a) baja, (b) media, (c) alta -----	51
Figura 21 Las grietas longitudinales y transversales nivel de severidad (a) baja, (b) media, (c) alta -----	53
Figura 22 Parcheo y acometidas de servicios públicos nivel de severidad (a) baja, (b) media, (c) alta -----	54
Figura 23 Cuadro de niveles de severidad para huecos. -----	55
Figura 24 Huecos nivel de severidad (a) baja, (b) media, (c) alta -----	56
Figura 25 Cruce de vía férrea nivel de severidad (a) baja, (b) media, -----	57
Figura 26 Ahuellamiento nivel de severidad (a) baja, (b) media, (c) alta -----	58
Figura 27 Desplazamientos nivel de severidad (a) baja, (b) media, -----	59
Figura 28 Grietas Parabólicas nivel de severidad (a) baja, (b) media, (c) alta -----	60
Figura 29 Hinchamientos nivel de severidad (a) baja, (b) media, (c) alta -----	61
Figura 30 Meteorización / desprendimiento de agregados nivel de severidad (a) baja, (b) media, (c) alta --	62
Figura 31 Reacciones químicas entre Componentes de arcilla - Polvo de residuos electrónicos -----	63
Figura 32 Reacciones químicas entre Componentes de arcilla - Polvo de fibra de vidrio -----	64
Figura 33 Sistemas de producción de polvo de fibra de vidrio, por Tecnología de plásticos, 2015 -----	65
Figura 34 Procedimientos de mezcla de fibra de vidrio reciclada y aditivos de resistencia, por Befesa plásticos, 2015 -----	66
Figura 35 indica valores de diámetros de partículas y densidad nominal -----	66
Figura 36 ecuacion empirica para determinar el número estructural -----	67
Figura 37 confiabilidad de la via en función de tráfico impuesto -----	68
Figura 38 desviación estándar normal y error de combinación estándar -----	68
Figura 39 confiencia de drenaje en funcion al porcentaje exposicion de la vi -----	69
Figura 40 porcentaje de tiempo en que la estructura de pavimento esta expuesto a niveles cersanos a saturacion -----	69
Figura 41 consideraciones de espesores minimos -----	70
Figura 42 ecuacion numero estructural de oavimento por AASHTO -----	70
Figura 43 determinar un óptimo control en los recursos, mano de obra y maquinaria en obras de pavimentación es importante para aumentar la productividad? y el 5% dijeron desacuerdo -----	86
Figura 44 ¿ es importante establecer procesos eficientes y actividades que generen valor en la construcción de una pavimentación flexible? y el 5% dijeron totalmente en desacuerdo -----	87
Figura 45 Es importante realizar reportes diarios con el fin de analizar las fluctuaciones a través de las semanas para verificar los planes de acciones correctivas para asegurar la mejora continua -----	88
Figura 46 Con qué frecuencia analiza las actividades que debieron ejecutarse y las que realmente se ejecutaron para identificar las causas de no cumplimiento en la construcción de pavimento	

flexible -----	89
Figura 47 Identifica cuáles son los factores que afectan en la construcción de pavimentos flexibles -----	90
Figura 48 Con que frecuencia identifica las partidas que presentan mayores restricciones o retrasos en la construcción de obras de pavimentación-----	91
Figura 49 Para usted, cree que es importante la aplicación de la programación rítmica y trenes de trabajo para mejorar el control de los proyectos -----	92
Figura 50 Cuáles son las normas y reglamentos peruanos para el diseño de pavimentos-----	93
Figura 51 Qué es el CBR y cual es el mínimo valor para estructura de sub rasante y base en una via de alto tránsito -----	94
Figura 52 Cuáles son los ensayos que se debe de realizar a los agregados para la preparación del Pavimento Flexible-----	95
Figura 53 cuáles son las recomendaciones de acuerdo al lugar de uso para la preparación de mezcla asfáltica con cementos asfálticos-----	96
Figura 54 Qué es la imprimación y que productos se utiliza para este trabajo -----	97
Figura 55 cual es el proceso de compactación de la mezcla asfáltica en caliente -----	98
Figura 56 sabe cuáles son los valores mínimos de estabilidad y flujo de una mezcla asfáltica de acuerdo al reglamento peruano -----	99
Figura 57 sabe que ensayos debe efectuarse al material granular que se usa en la conformación de base para un pavimento flexible, que valores mínimos debe cumplir -----	100
Figura 58 Qué tan probable es que se determine la causa-efecto para predecir, mejorar y optimizar en la utilización del polvo de fibra de vidrio-----	101
Figura 59 Cree usted que se debe proponer herramientas de gestión que son aplicados en la utilización del polvo de fibra de vidrioFuente: Elaboración propia de autor -----	102
Figura 60 Considera que se debe utilizar las herramientas de la Filosofía Lean Construction que más se adecuen al tipo de obra de pavimentación -----	103
Figura 61 Considera que es bueno identificar y controlar el estado de los flujos de trabajo con el fin de extraer distintas conclusiones y medidas correctivas -----	104
Figura 62 que al implementar el polvo de fibra de vidrio se obtendrá el aumento de la productividad en la obra-----	105
Figura 63 considera que el análisis de la milla medida es una herramienta efectiva para demostrar la perdida de costos de productividad en la construcción del pavimento flexible -----	106
Figura 64 considera usted, que el ratio unitario de productividad permite detectar deficiencias en la utilización del polvo de fibra de vidrio en el pavimento flexible -----	107
Figura 65 considera usted, que es importante analizar todas las actividades del proyecto a fin de identificar la variabilidad que presentan-----	108
Figura 66 Está conforme con el diseño preliminar de miembros para el desarrollo del proyecto-----	108
Figura 67 Considera usted definir los hitos del proyecto de manera detallada-----	110
Figura 68 Considera realizar la sectorización del proyecto de acuerdo a la magnitud, recursos a utilizarse por cada actividad y los responsables -----	111
Figura 69 Considera la aplicación del polvo de fibra de vidrio en la utilización en los pavimentos flexibles	112
Figura 70 Cuánto influye el aumento de la productividad al diseñar de forma conjunta el proyecto y los procesos -----	113
Figura 71 Se deben perfeccionar los procesos existentes antes a evaluar otros ya que se busca mantener un equilibrio entre el mejoramiento de los flujos y conversiones -----	114
Figura 72 se debe simplificar los procesos con el fin de manejar adecuados lotes de producción y atender la demanda -----	115

## I. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

### 1.1. Planteamiento de Problema

A nivel mundial, los pavimentos flexibles son muy importantes para la población ya sea en la transitabilidad de los vehículos y en lo económico. Según afirma Cespedes, J. (2000) “El pavimento es el acabado de una calle, carretera y pista de aterrizaje, por lo tanto, realizada la explanación, no está aún terminada la vía y para que el tráfico pueda utilizarla es preciso construir el pavimento necesario y suficiente a fin de que los vehículos puedan circular en todo el tiempo, en condiciones de comodidad, economía y seguridad” En la actualidad varios campos que es para pavimentos sea flexibles y pavimentos rígidos. Según explica Montejo, A. (2002). “La tecnología de los pavimentos se ha desarrollado a tal grado de constituir un campo de nuevas especializaciones, por ello, y dado que en nuestro medio de información especializada en el campo de los pavimentos para carreteras se encuentra muy dispersa”.

En el Perú existen diferentes tipos de suelos en la costa, sierra y selva, que en el proceso constructivo del pavimento flexible, se presentan problemas ya sea en la base granular y sub base granular. Según manifiesta, Montejo, A. (2002). “Con frecuencia, el ingeniero debe enfrentarse con suelos que tiene que utilizar para una obra determinada y cuyas características le obligan a tomar alguna de las siguientes decisiones: Aceptar el material tal como se encuentra, pero teniendo en cuenta el diseño las restricción impuestas por su calidad, eliminar el material insatisfactorio u obtenerse de usarlo, sustituyéndolo por otro de características adecuadas, Modificar las propiedades del material existente para hacerlo capaz cumplir en mejor forma los requisitos deseados o cuando menos que la calidad obtenida sea adecuada. La última posibilidad es la que da origen a la estabilización de suelos (...) Las propiedades de un suelo se pueden alterar por cualquiera de los siguientes procedimientos: estabilización por medios mecánicos de las compactación es el más conocido (...), Estabilidad por drenaje, Estabilidad por medios eléctricos, de los electroósmosis y la utilización de pilotes electro metálicos son probablemente lo mejor conocidos, estabilización por empleo del calor y calcinación y estabilización por medios químicos, generalmente lograda por la adición de agentes estabilizantes específicos, como el cemento, la cal, el asfalto u otros”, pág.(75-76).

En el departamento de Huánuco en el tramo de la carretera Tanta mayo - Carpa **cuenta con muchos problemas en el ámbito de tránsito vehicular, las calzadas y los suelos** se encuentran en mal estado, la entidad que se encarga de ver y supervisar todo tipo de obras es la Municipalidad de Huánuco, en donde La Gerencia de Desarrollo Urbano y la Sub Gerencia de Inversión Pública, se encargan de las obras que se generen en el distrito así como la supervisión por parte de la entidad

y la gestión para ingresar proyectos para la mejora de la población.

En el tramo Tanta mayo – Carpa (KM. 00+000 AL 24+487) , se encuentran en mal estado, el pavimento flexible, granular y subrasante granular, las superficies de las carreteras presentan diversos tipos de defectos de pavimento que impiden la buena calidad del tránsito, provocan el desgaste de los vehículos y accidentes, lo que resulta en el tráfico de vehículos que causan diversos factores, Insuficiente investigación sobre la infraestructura vial, toboganes de agua y problemas a lo largo de los años..

## **1.2. Formulación del problema**

### **1.1.1. PROBLEMA GENERAL.**

¿Cuál sería el mejoramiento del pavimento flexible aplicando polvo de fibra de vidrio para estabilizar suelos en la Carretera Tanto mayo – Carpa (KM. 00+000 AL 24+487), Departamento De Huánuco, 2023?

### **1.1.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS.**

**¿ CUÁL SERÍA LA TRANSITABILIDAD DE LOS VEHÍCULOS, EN EL MEJORAMIENTO DEL PAVIMENTO FLEXIBLE APLICANDO FIBRA DE VIDRIO PARA ESTABILIZAR SUELOS, EN LA CARRETERA TANTAMAYO – CARPA (KM. 00+000 AL 24+487), DEPARTAMENTO DE HUÁNUCO, 2023?**

**¿ CUÁL SERÍA EL ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO FLEXIBLE, EN LA CARRETERA TANTAMAYO – CARPA (KM. 00+000 AL 24+487), DEPARTAMENTO DE HUÁNUCO, 2023?**

## **1.3. Justificación del estudio**

Según Martins & Palella (2012), nos menciona que: “aquella cantidad de criterios, en respuesta a la mayor cantidad de preguntas manifestado durante la investigación tiene una aplicación concreta y puede consentir conjeturar cuáles serán esos resultados, y si el fruto de la investigación auxiliará a optimar temas y métodos” (p. 61).

Por ello La funcionalidad que desarrolla una vía se debe en gran parte por la adecuada estructura que esta posee para soporta cargas. Por lo tanto, el terreno de fundación del pavimento debe de poseer un CBR >6% (MTC, 2013). Una subrasante con CBR bajo afecta la estabilidad de las capas que conforman la estructura e incrementa los gastos de mantenimiento vial por la propagación de fallas sobre la superficie de rodadura del pavimento flexible.

En este contexto, el uso de polvo de fibra de vidrio reciclado como material estabilizador del terreno de la subrasante, plantea brindar propiedades de resistencia al corte a la capa de fundación frente a cargas cíclicas, mejorando así su capacidad estructural. Asimismo, el incremento

de la resistencia del suelo arcilloso permitirá realizar diseños de pavimentos, en los que se podrá reducir los espesores de la capa de base y subbase de la estructura del pavimento, por lo tanto, se podrá reducir los costos de construcción y mantenimiento de vías pavimentadas.

#### **1.4. Justificación teórica.**

Esta investigación tiene por finalidad dar una buena calidad de vida a la población y una buena transitabilidad para los vehículos en la carretera Tanto mayo – Carpa donde se va a evaluar el estado actual de pavimento flexible e indicar sus tipos de fallas para luego mejorar a través de la utilización de polvo de fibra de vidrio para estabilizar los suelos y tengan una mayor resistencia para soportar cargas de 40 toneladas aproximadamente y no generen ningún tipo de incomodidad a la población.

#### **1.5. Justificación práctica.**

La presente investigación se justifica prácticamente porque el pavimento flexible, la base granular y la sub base granular existentes se encuentra en mal estado, donde se va a mejorar aplicando el polvo de fibra de vidrio para estabilizar los suelos y tener una mayor resistencia, durabilidad, impermeabilidad y reducir costos.

#### **1.6. Justificación social.**

El presente trabajo de investigación se justifica socialmente porque trae como ventajas una mejora al sector constructivo en cuanto innovación en la instalación del sistema de aplicación de polvo de fibra de vidrio para el reforzamiento de pavimentos flexibles, debido que en la región de La Libertad no existen pavimentos reforzados con este sistema y en el Perú existen, pero de forma limitada en la capital, debido que se ha implementado recientemente, y dado que en la actualidad solo existe una empresa que industrializa esta malla, en tal sentido resulta conveniente e innovador este trabajo de investigación.

#### **1.7. Objetivos de la investigación**

##### **1.1.1 Objetivo general**

Analizar cuál sería el mejoramiento del pavimento flexible aplicando polvo de fibra de vidrio para estabilizar los suelos en la carretera Tanto mayo – Carpa (KM. 00+000 AL 24+487), Departamento De Huánuco, 2023.?

##### **2.1.1 Objetivos específicos**

a) Analizar cuál sería la transitabilidad de los vehículos, en el mejoramiento del pavimento flexible aplicando fibra de vidrio para estabilizar suelos, en la carretera Tanto mayo –

Carpa (KM. 00+000 AL 24+487), Departamento De Huánuco, 2023..

b) Evaluar cuál sería el índice de condición del pavimento flexible, en la carretera Tanto mayo – Carpa (KM. 00+000 AL 24+487), Departamento De Huánuco, 2023...

## II. MARCO TEÓRICO

### 2.1 Antecedentes de la Investigación

En la búsqueda que hemos realizado con la finalidad de obtener más información acerca del tema, se han encontrado los siguientes trabajos de los cuales ninguno se refiere a la presente investigación:

#### 2.1.1. Antecedentes Nacionales

Se encontró el estudio realizado por **Angulo, D. y Rojas, H. (2016)** en su tesis llamada: **“ENSAYO DE FIABILIDAD CON ADITIVO PROES PARA LA ESTABILIZACIÓN DEL SUELO EN EL AA.HH. EL MILAGRO, 2016”**.

En el trabajo de investigación se planteó como objetivo general; Los ensayos de fiabilidad con el aditivo PROES ayuda a la estabilización del suelo para una buena penetración en la carretera del AA. HH. El Milagro.

El método de la investigación es diseño pre experimental, los pre experimentos se llaman así porque su grado de control es mínimo.

Las conclusiones a las que arribó en su investigación son: El tipo de investigación que realizaron con el aditivo PROES en los ensayos de fiabilidad son factibles para estabilizar los suelos, según los resultados se puede realizar los trabajos en la zona y realizar las combinaciones de los agregados que tienen un gran volumen como A-3(0) en 85% y A-7- 5(9) en 15% de un (23.6 a 83) % triplicando el CBR de natural a la aplicación del aditivo Proes que alcanzó un 352%.

Se encontró el estudio realizado por **Robles, R. (2015)** en su tesis llamada: **“CÁLCULO DEL ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO (PCI) BARRANCO-SURCO-LIMA”**.

En el trabajo de investigación se planteó como objetivo general; “Determinar el Índice de Condición de Pavimento en la Av. Pedro Osmade la cuadra N° 1 a la cuadra N° 8 a partir de la determinación y evaluación de las patologías del pavimento basado en la Norma ASTM D6433-07”.

El método de la investigación que se aplicó a este proyecto de investigación es descriptivo y diseño no experimental.

Las conclusiones a las que arribaron en su investigación son: Como plantea el

PCI es un método visual para ver el estado de los pavimentos sean flexibles o rígidos, este método es muy útil y fácil de aplicar donde detalla que realizó este método en la Av. Pedro de Osma en el distrito de Surco – Lima, donde el pavimento era mixto, donde se detalla que el pavimento está deteriorado, y algunas partes solo necesitan un mantenimiento ya que presentan un mínimo porcentaje de fallas estructurales. Y que debido al análisis visual que se aplica el PCI este no está preparado para medir una infraestructura vial ni ver la resistencia del pavimento.

Se encontró el estudio realizado por **Palli, E. (2015)** en su tesis llamada: **“LA DEFORMACION PERMANENTE EN LAS MEZCLAS ASFALTICAS Y EL CONSECUENTE DETERIORO DE LOS PAVIMENTOS ASFALTICOS EN EL PERU.**

.En el trabajo de investigación se planteó como objetivo general; Determinar la influencia de la estabilización de suelos con cal en las propiedades mecánicas de los suelos plásticos y elaborar una guía básica para estabilización de suelos en caminos de baja intensidad vehicular en la provincia de San Román.

El método de la investigación es de diseño experimental, así como también la metodología de desarrollo.

Las conclusiones a las que arribo en su investigación son: Que la estabilización de suelos con Cal mejora las propiedades del agregado de la cantera, al momento de mezclar el suelo con la cal producen floculación e intercambio iónico, en las cuales alúmina las propiedades del suelo y el agua e incrementa el soporte CBR del suelo.

Se encontró el estudio realizado por **León, K. (2016)**, en su tesis llamada: **“FUNCIONALIDAD DEL ADITIVO SOLIDO ROCATECH 70/30 COMO AGLOMERANTE PARA UNA BASE ESTABILIZADA CON LA TECNOLOGIA PROES EN EL PROYECTO RED VIAL N° 3-CUSCO.**

.En el trabajo de investigación se planteó como objetivo general; Que se va a demostrar que la utilización del aditivo Rocatech 70/30 da la misma funcionalidad que el cemento portland para que una base estabilizada con la tecnología Proes cumple con el nivel estructural requerido.

El método de la investigación es Científico porque aportara como estrategia de investigación al ciclo completo de la investigación.

Las conclusiones a las que arribo en su investigación son: Que los suelos estabilizados con el aditivo Proes son muy útiles, otorgan cohesión al material y aumenta la resistencia tienen un comportamiento muy estable, flexible del suelo. Y el coeficiente que estabiliza la tecnología Proes, es de  $a_2 = 0.200$  para el espesor en

pulgadas  $a_2=0.079$  en espesor en centímetros. Mediante la utilización del aditivo Rocatech 70/30 tiene un funcionamiento similar al cemento tipo I sirve como aglomerante para el aditivo Proes que eleva la capacidad de soporte que se llegó a aplicar mediante el CBR de 153.19% (Rocatech 70/30 – Proes con dosis de 55kg/m<sup>3</sup> – 0.28Lt/m<sup>3</sup>) de 18.00% (natural) en la cantera 85+500 y CBR de 170.49 % (Rocatech 70/30 – Proes con dosis de 55kg/m<sup>3</sup> – 0.28Lt/m<sup>3</sup>) de 18.29 % (natural) en la cantera 79+500. Y el módulo que es elástico de la base Proes es estable y duradero no contiene ninguna falla frágil. El espesor que se va aplicar con el aditivo Proes para estabilizar el suelo es de 11 cm, en la cual se obtiene un número estructural de 0.87 y el uso del Rocatech 70/30 para la aplicación de la base estabilizada es económico que al uso del cemento.

Se encontró el estudio realizado por **Velarde, A. (2015)**, en su tesis llamada: **“APLICACIÓN DE LA METODOLOGIA DE SUPERFICIE DE RESPUESTA EN LA DETERMINACION DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESION SIMPLE DE SUELOS ARCILLOSOS ESTABILIZADOS CON CAL Y CEMENTO.**

En el trabajo de investigación se planteó como objetivo general; Determinar la máxima resistencia a la compresión simple de suelos arcillosos estabilizados con cal y cemento aplicando la metodología de superficie de respuesta.

El método de la investigación que se aplicó a este proyecto de investigación es de diseño no experimental.

Las conclusiones a las que arriba en su investigación son: Que la metodología de implementación de superficie de respuesta en la estabilización de los suelos arcillosos con cal y cemento tiene una resistencia elevada, en donde el porcentaje de cal y cemento tuvo valor de resistencia de compresión simple en la cual el coeficiente de la determinación es factible en los lugares de Huaje y Salcedo.

Se encontró el estudio realizado por **Palomino, K. (2016)** en su tesis llamada: **“CAPACIDAD PORTANTE (CBR) DE UN SUELO ARCILLOSO, CON LA INCORPORACION DEL ESTABILIZADOR MAXXSEAL 100”.**

En el trabajo de investigación se planteó como objetivo general; Determinar la capacidad portante (CBR) de un suelo arcilloso con incorporación de 2%, 4% y 6% del

estabilizador Maxxseal 100.

El tipo de diseño de investigación es experimental.

Las conclusiones a las que arribo en su investigación son: Que la investigación realizada, se ha demostrado que la utilización de Maxxseal100 en un suelo arcilloso, eleva la capacidad del soporte del terreno.

Así mismo el suelo donde se realizó el estudio el tipo de arcilla era baja a mediana de plasticidad que según AASHTO pertenece al grupo A-7-6 (5) de un suelo arcilloso. En donde la variación del índice de plasticidad fue bajando mediante la aplicación del estabilizador Maxxseal 100.

### **2.1.2. Antecedentes Internacionales.**

Se encontró el estudio realizado por **Cedeño, J. (2014)** en su tesis llamada: **“PROPUESTA DE METODOLOGIA COMPLEMENTARIA A LOS DISEÑOS DE PAVIMENTOS SEGÚN AASHTO 93”**.

En el trabajo de investigación se planteó como objetivo general; Se va a elaborar una aplicación que permita un rápido diseño y análisis aproximado de una estructura de pavimento flexible tomando en consideración todas las variables y ecuaciones propuestas por metodología de diseño AASHTO 93.

El enfoque metodológico de la presente investigación es un enfoque cuantitativo y de tipo descriptivo.

Las conclusiones a las que arribaron en su investigación son: Se pudo ver que en las tablas la estructura del pavimento está sometidos a altas temperaturas en el país de Ecuador se sitúan en la costa, que no está comparado con la Sierra donde el pavimento tiene un comportamiento bueno ante la fatiga de la calzada debido a las bajas temperaturas en donde se debe tener en cuenta aumentar la rigidez de la calzada de no cumplir con la resistencia puede generar fatiga en la carpeta asfáltica. Así mismo tener la información disponible permite al que va a diseñar opciones al conocer comportamientos variables que se presentan en las distintas zonas del país. La Propuesta que está planteando resulta muy útil y acceder a resultados aproximados acerca del comportamiento de la estructura del pavimento flexible como en las cargas y efectos del medio ambiente.

Se encontró el estudio realizado por **López, J. (2016)** en su tesis llamada: **“EL DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES, SU COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL, E INCIDENCIA EN EL DETERIORO TEMPRANO DE LA RED VIAL EN LA PROVINCIA DE TUNGURAHUA”**.

En el trabajo de investigación se planteó como objetivo general; Elaborar un modelo de diseño de pavimentos para mejorar su comportamiento estructural y evitar el deterioro temprano de la red vial en la provincia de Tungurahua

El enfoque metodológico de la presente investigación es cuantitativo y cualitativo.

Las conclusiones a las que arribaron en su investigación son: Que las infraestructuras existentes del pavimento que cuentan con Sub base granular, base granular y carpeta asfáltica se tienen que rehabilitar y reforzar su estructura así como los que cuentan con una capa de rocas y carpeta asfáltica existentes se tiene que demoler y construir nuevamente para no generar pérdidas económicas y las vías que se encuentran en terreno natural se tienen que realizar un diseño de vías para que se pueda ejecutar la construcción.

Se encontró el estudio realizado por **Quiroz, W. (2017)** en su tesis llamada: **“COMPARACION ENTRE LA ESTABILIZACION DE SUELO CON EMULSION ASFALTICA Y LA ESTABILIZACION DE SUELO CON ASFALTO Y DIESEL PARA DETERMINAR CUAL ESTABILIZACION PROPORCIONA MAYOR DENSIDAD APARENTE Y RELACION DE SOPORTE CBR”**.

En el trabajo de investigación se planteó como objetivo general; Comparar la estabilización del esfuerzo del suelo con emulsión asfáltica, y la estabilización con asfalto y diésel para determinar que estabilización proporciona mayor densidad aparente y valor relativo de soporte CBR

El enfoque metodológico y tipo de investigación es exploratorio y de nivel explicativo y de diseño experimental.

Las conclusiones a las que arribaron en su investigación son: Según la investigación planteada se determinó que para realizar una estabilización se tiene que verificar el tipo de suelo mediante el ensayo de granulometría y en donde se realizó dicho estudio y se obtuvo el tipo de Arena Limosa. Así mismo se concluyó que el suelo

con asfalto y emulsión asfáltica en caliente, dio como densidad un valor de 2.484 gr/cm<sup>3</sup>, que según el CBR de la capacidad portante del suelo se determinó que tienen el mismo resultado y no se puede diferenciar. En donde económicamente resulta más accesible la estabilización de suelo con emulsión asfáltica.

Se encontró el estudio realizado por **Gavilanes, E. (2015)** en su tesis llamada: **“ESTABILIZACION Y MEJORAMIENTO DE SUB.RASANTE MEDIANTE CAL Y CEMENTO PARA UNA OBRA VIAL EN EL SECTOR DE SANTO PAMPA BARRIO COLINAS DEL SUR”**.

En el trabajo de investigación se planteó como objetivo general; Analizar y evaluar las propiedades físicas y mecánicas de la modificación y estabilización de suelo en el sector de Santos Pamba en el barrio Colinas del Sur empleando adiciones de cal y cemento en diferentes porcentajes para determinar estabilización de plasticidad del material de sub-rasante en la vía.

El enfoque metodológico de la presente investigación experimental y documental.

Las conclusiones a las que arribaron en su investigación son: Según la investigación planteada se realizó estudio de suelos en la calle A del barrio Colinas del Sur en la ciudad de Quito, donde cuenta con una sub-rasante de tipo limo arenoso, con pomez y de color café claro, según la normal internacional de estabilización se recomendó estabilizar con cemento,

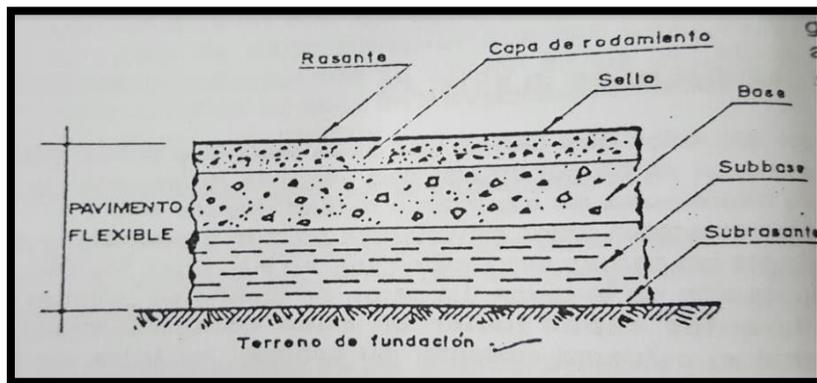
así mismo el índice de plasticidad del suelo estabilizado con cemento disminuye y mediante la relación del porcentaje que pasa por la malla N°200 a la malla N° 40, no será mayor en 0.65. En la cual al realizar la operación se tiene como porcentaje que en la Malla N° 40 es de 98% y en la malla N° 200 es de 62%. Por lo tanto es recomendable y ventajoso para estabilizar dicho suelo ya que al momento de dimensionar la estructura se logra disminuir el espesor de la vía ya sea pavimento rígido o pavimento flexible y su capacidad de soporte y económicamente el costo será bajo en la construcción.

## **2.2. Bases teóricas de las variables**

### **2.2.1. Pavimento flexible**

Según Rondón, H. y Reyes, F. (2015) “La estructura de pavimento del tipo flexible pueden ser definidas como estructuras viales conformadas por una capa asfáltica apoyada sobre capas de menor rigidez, compuestas por materiales granulares no

tratados o ligados (base, sub base, afirmado y en algunos casos sub rasantes mejorada o material de conformación), que a su vez se soportan sobre el terreno natural o sub rasante. Los esfuerzos que generan las cargas vehiculares se disipan a través de cada una de las capas de la estructura de tal forma que, al llegar a la sub rasante, la resistencia mecánica del suelo que la compone debe ser capaz de resistir dicho esfuerzo sin generar deformaciones que permitan el deterioro funcional o estructural de la vía.” Así mismo afirma Cespedes, J. (2000)“ Los pavimentos flexibles, debido a la falta de cohesión de sus capas, son muy flexibles y se deforman con el peso de las cargas de los vehículos”.(pág. 29).



*Figura 1 Capas de la estructura de un pavimento flexible*

*Fuente: Los pavimentos en las vías terrestres, Calles, Carreteras y Aeropuerto Cespedes, J. (2000).*

Según el autor indica que la infraestructura del pavimento flexible es una vía para el tránsito vehicular que cuenta con una capa asfáltica o capa de rodamiento, base granular, subbase granular y sub-rasante, así mismo es donde hace función de la mecánica de suelo para soportar esas cargas que generan los vehículos y realizar un diseño con las dimensiones de sus capas para no generar algún daño en la estructura vial.

### **2.2.2. Capa de Rodamiento**

Según afirma Cespedes, J. (2000) “La que se coloca sobre la base y que está formada por una mezcla bituminosa. Su función es primordial es proteger la base impermeabilizando la superficie, para evitar así posibles infiltraciones del agua de lluvia que podría saturar parcial o totalmente las capas inferiores. Además, evita que se desgaste o se desintegre la base a causa del tránsito de los vehículos. Así mismo, la capa de rodamiento contribuye, en cierto modo, a aumentar la capacidad soporte del

pavimento especialmente si su espesor es apreciable (más de 3”). (pág. 39)

Según afirma el autor la capa de rodamiento es la parte superior de labase, es una mezcla bituminosa en donde es muy importante su funcionamiento ya que protege a las bases ante las lluvias que se generan, así evitar la pérdida de afirmado, también evita el desgaste de la base que genera la transitabilidad de los vehículos, así mismo se tiene que realizar un diseño de pavimento que su espesor aceptable es de 3”.

### **2.2.3. Base Granular**

Según Afirma Rondón, H. y Reyes, F. (2015) “La base granular es la capa de la estructura de pavimento que por lo general subyace a la carpeta asfáltica en un pavimento flexible, a la losa de concreto en uno de tipo rígido y a la capa estabilizada con cementante hidráulico en uno semirrígido. Esta capa está compuesta por materiales granulares no tratados colocados sobre la subbase. En algunas ocasiones esta capa puede ser construida directamente sobre la subrasante cuando esta presenta buen comportamiento mecánico. La función principal de esta capa en pavimentos flexibles es transmitir las cargas impuestas por el tránsito con intensidades adecuadas a las capas subyacentes. Adicionalmente contribuye al drenaje y facilitar los procesos constructivos.” (Pág. 371)

Según afirma el autor La base granular es la capa estructural del pavimento flexible que va debajo de la carpeta asfáltica o capa de rodamiento en donde está capa está compuesta por agregados no tratados colocados en la parte superior de la subbase. Así mismo también se puede construir dicha base sobre la subrasante si su comportamiento estructural es recomendable. En la cual está la base granular transmite las cargas que generan los vehículos.

### **2.2.4. Sub Base Granular**

Según Manifiesta Rondón, H. y Reyes, F. (2015) “La sub base granular es la capa de la estructura de pavimento que subyace a la base granular, compuesta por materiales granulares no tratados colocadas generalmente sobre la subrasante, la subrasante mejorada, el afirmado o el terraplén. Al igual que la capa de base, la subbase presenta como función principal en pavimento flexibles, transmitir a la

subrasante los esfuerzos que el tránsito impone en magnitudes moderadas y tolerables por esta. También contribuye al drenaje y facilita los procesos constructivos. En algunas ocasiones sirve para contrarrestar los cambios volumétricos producidos por subrasante de material expansivo". (pág. 373)

Según Manifiesta el Autor referido la sub base granular es una capa del pavimento que está en la parte superior de la subrasante, que está compuesta por agregados no tratados colocadas generalmente por la subrasante, esta capa es muy importante transmite la subrasante los esfuerzos que los vehículos generan, así mismo en algunas ocasiones contrarrestar los cambios volumétricos.

#### **2.2.5. Sub Rasante**

Según manifiesta Rondón, H. y Reyes, F. (2015) "Es la capa sobre la cual se soporta o cimienta la estructura del pavimento (terreno natural de cimentación o de explanación en una vía). Debe soportar en última instancia las cargas producidas por el tránsito, presentar un comportamiento adecuado ante la acción del medio ambiente y suministrar apoyo uniforme a la estructura del pavimento. De la calidad de esta capa depende, en gran parte, el espesor que tendrá un pavimento".

Según manifiesta el autor referido la sub rasante es la capa que soporta la infraestructura vial del pavimento, es la última capa del terreno natural que soporta la carga que generan la transitabilidad de los vehículos, esta capa es muy importante ya que de esta depende el diseño del espesor del pavimento.

#### **2.2.6. Estudio de Suelo**

Según afirma Montejo, A. (2002) "En la ingeniería de pavimentos se considera como roca a un agregado natural de granos minerales, unidos por grandes y permanentes fuerzas de cohesión. Por otra parte, se considera que suelo es un agregado natural de granos minerales, con o sin componentes orgánicos, que pueden separarse por medios mecánicos comunes, tales como la agitación en agua". Asimismo manifiesta Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos (2015) "La exploración e investigación del suelo es muy importante tanto para la determinación de las características del suelo, como para el correcto diseño de la estructura del pavimento. Si la información registrada y las muestras enviadas al laboratorio no son

representativas, los resultados de las pruebas aun con exigencias de precisión, no tendrán mayor sentido para los fines propuestos”.

Según afirma el autor referido la ingeniería de pavimentos que los agregados de roca son minerales que están entrelazados por fuerzas de cohesión y los suelos son agregados naturales que cuentan con granos naturales, y que se puede separar por medios mecánicos. Asimismo manifiesta el manual, que la investigación del suelo es muy importante para el diseño de pavimento y ver sus características en donde se tiene que realizar muestras y enviar a un laboratorio, pero si estas muestras no están bien representadas los resultados no tendrían ningún sentido.

#### **Contenido de Humedad de un Suelo**

Según manifiesta Manual de Ensayo de Materiales, (2016) “La humedad o contenido de humedad de un suelo es la relación, expresada como porcentaje, del peso de agua en una masa dada de suelo, al peso de las partículas sólidas. Este modo operativo determina el peso de agua eliminada, secando el suelo húmedo hasta un peso constante de un horno controlado a  $110 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$ . El peso del suelo que permanece del secado en horno es usado como el peso de las partículas sólidas. La pérdida de peso debido al secado es considerada como el peso del agua”.

Según manifiesta el manual el contenido de humedad del suelo es que se representa por un porcentaje ya que el peso del agua de la muestra del suelo natural, se elimina mediante un horno que asciende a  $110 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$ . Y la resta de peso natural de la muestra menos el peso seco que estaba en el horno, sale como resultado el peso del agua.

#### **Análisis Granulométrico**

Según afirma Juárez, E. (2005) “Los límites de tamaño de las partículas que constituyen un suelo, ofrecen un criterio obvio para una clasificación descriptiva del mismo. Tal Criterio fue usado en Mecánica de Suelos desde un principio e incluso antes de la etapa moderna de esta ciencia. Originalmente, el suelo se dividía únicamente en tres o cuatro fracciones debido a lo engorroso de los procedimientos disponibles de separación de tamaños, posteriormente, con el advenimiento de la técnica del cribado, fue posible efectuar el trazo de curvas granulométricas, contando con agrupaciones de partículas del suelo en mayor número de tamaños diferentes”. Según manifiesta

Manual de Ensayo de Materiales, (2016) Este modo operativo describe el método para determinar los porcentajes de suelo que pasan por los distintos tamices de la serie empleada en el ensayo, hasta el de 74 mm (N.º 200)”.

TAMICES	ABERTURA (mm)
3"	75,000
2"	50,800
1 ½"	38,100
1"	25,400
¾"	19,000
⅜"	9,500
Nº 4	4,760
Nº 10	2,000
Nº 20	0,840
Nº 40	0,425
Nº 60	0,260
Nº 140	0,106
Nº 200	0,075

*Figura 2 Tamices de malla Cuadrada*

*Fuente: Manual de ensayo de materiales, (2016).*

Según afirma el autor referido que los tamaños de las muestras realizadas del suelo tienen como criterio realizar una clasificación que se aplicó en la mecánica de suelos ya desde su etapa moderna de la ciencia mencionada. Ya que antes solo se dividía de 2 a 4 fracciones porque el ensayo era tedioso para la clasificación de suelos, así mismo manifiesta el manual de ensayo de materiales que el método que se aplica describe el porcentaje de suelos que pasan por los tamices hasta llegar al tamiz N.º 200.

#### **Ensayo de Limite de Plasticidad**

Según afirma Juárez, E. (2005) “Para medir la plasticidad de las arcillas se han desarrollado varios criterios, de los cuales uno solo, el debido a Atterberg se mencionará en lo que sigue. Atterberg hizo ver que, en primer lugar, la plasticidad no era una propiedad permanente de las arcillas, si no circunstancial y dependiente de su contenido de agua. Una arcilla muy seca puede tener la consistencia de un ladrillo, con plasticidad nula, u esa misma, con gran contenido de agua, puede presentar las propiedades de un lodo semilíquido o inclusive, las de una suspensión líquida. Entre ambos extremos, existe un intervalo del contenido de agua en que la arcilla se comporta plásticamente”.

Según manifiesta Manual de Ensayo de Materiales, (2016) “Se denomina Limite plástico (L.P.) a la humedad más baja con la que pueden formarse barritas de suelo de unos 3.2 mm (1/8”) de diámetro, rodando dicho suelo entre la palma de la mano y una superficie lisa (vidrio esmerilado), Sin que dichas barritas se desmoronen (...) en la cual la porción así obtenida se coloca en vidrios de reloj o pesa – filtrostarados, se continua el proceso hasta reunir unos 6 g. de suelo y se determina la humedad de acuerdo con la norma MTC E 108”.

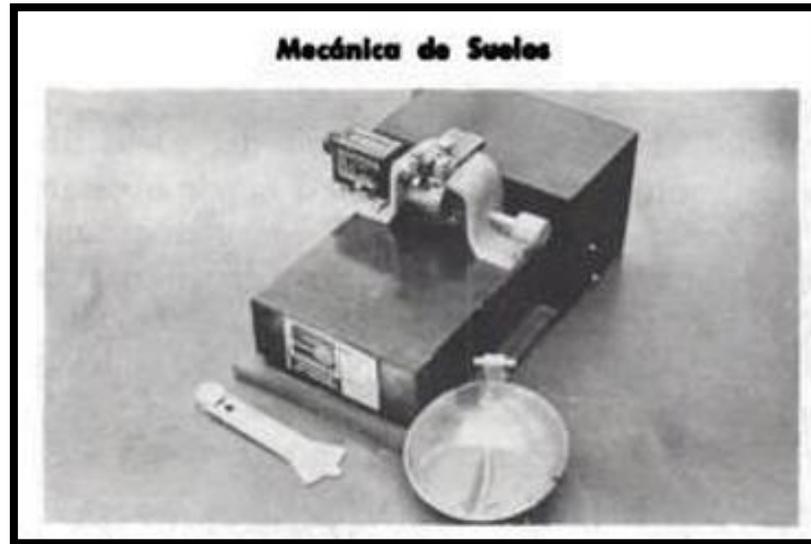
Según afirma el autor que para poder evaluar la plasticidad de las arcillas existen varios criterios en donde Atteberg afirma que la plasticidad no era una propiedad de la arcilla que es depende de su contenido de agua ya que una arcilla seca puede parecer a un ladrillo, Según manifiesta el manual de ensayo de materiales que el límite plástico es la humedad más baja en donde se forman barritas aproximadamente de 3.2 mm de diámetro, que se rueda con la palma de la mano sin que dichas barras se rompan luego se envía al horno sobre unas láminas de vidrio para poder determinar la humedad.

#### **Ensayo de Limite Liquido**

Según afirma Juárez, E. (2005) “Cuando la plasticidad se convirtió en una propiedad índice fundamental, a partir de la utilización de Terzaghi y Casagrande hicieron de ella, la determinación de los límites de plasticidad se transformó en prueba de rutina en todos los laboratorios; en este caso, los métodos de Atteberg se revelaron ambiguos, dando que la Influencia del operador es grande y que muchos detalles, al no estar especificados, quedaban a su elección. En vista de lo cual, Terzaghi sugirió a Casa grande la tarea de elaborar un método de prueba para la determinación del límite liquido estandarizado todas sus etapas, de modo que operadores diferentes en laboratorios distintos obtuvieron los mismos valores”. Así mismo manifiesta Manual de Ensayo de Materiales, (2016) “Es el contenido de humedad, expresado en porcentaje, para el cual el suelo se halla en el límite entre los estados líquido y plástico. Arbitrariamente se

designa como el contenido de humedad al cual el surco separador dedos mitades de una pasta de suelo se cierra a lo largo de su fondo en una distancia de 13 mm (1/2 pulg) cuando se deja caer la copa 25 veces desde una altura de 1 cm a razón

de dos caídas por segundo”.



*Figura 3 Detalles de la copa de Casagrande*  
Fuente: Mecánica de suelos. (2005)



Fuente: Manual de ensayo de materiales, (2016).

*Figura 4 Muestra de suelo antes de la prueba y después de la prueba*

Según afirma el autor que la plasticidad es muy importante desde la utilización de Terzaghi y Casa grande en donde el ensayo determinaba el límite de plasticidad en donde se convirtió en rutina de los laboratorios, en donde se recomendó la utilización de Casa grande ya que mediante la aplicación de varios métodos se obtenían los mismos resultados, así mismo manifiesta el manual el contenido de humedad se ve en porcentajes así sea en estados líquidos y plástico.

En donde se utiliza la Casa grande y se separa en 2 partes en una distancia de 13mm y cuando la copa da 25 golpes a una altura de 1 cm cada dos caídas por segundo.

#### **Ensayo de Compactación**

Según Afirma Juárez, E. (2005) “La importancia de la compactación de los suelos

estriba en el aumento de resistencia y disminución de capacidad de deformación que se obtienen al sujetar el suelo atécnicas convenientes que aumenten su peso específico seco, disminuyendo sus vacíos. Por lo general, las técnicas de compactación se aplican a rellenos artificiales, tales como cortinas de presas de tierra, diques, terraplenes para caminos y ferrocarriles, bordos de defensa, muelles, pavimentos, etc. Algunas veces es buenocompactar el terreno natural, como en el caso de cimentaciones sobrearenas sueltas. Así mismo manifiesta Manual de Ensayo de Materiales, (2016) “Establecer el método de ensayo para la compactación del suelo en laboratorio utilizando una energía modificada ( 2700 kn-m/m<sup>3</sup> (56 000 pie-lbf/pie<sup>3</sup>) este ensayo abarca los procedimientos de compactación usados en laboratorio, para determinar la relación entre el contenido de agua y peso unitario seco de los suelos (curva de compactación) compactados en un molde de 101,6 mm ó 152,4 mm (4 ó 6 pulg) de diámetro con un pisón de 44,5 N (10 lbf) que cae de una altura de 457 mm (18 pulg), produciendo una energía de compactación de ( 2700 kn-m/m<sup>3</sup> (56 000 pie- lbf/pie<sup>3</sup>)”.

Según afirma el autor que la compactación es muy importante para ver el aumento de la resistencia y la disminución de la deformación que obtienen al compactar el suelo en donde aumento el peso específico seco, y disminuye los espacios vacíos, en las cuales se usan mayormente en obras viales, hidráulicas y terraplenes para caminos y ferrocarriles para ver el grado de compactación, así mismo el manual manifiesta que se puede establecer un método de ensayo que es el Proctor modificado que utilizan en el laboratorio una gran energía para alcanzar ( 2700 kn-m/m<sup>3</sup> (56 000 pie-lbf/pie<sup>3</sup>) en donde se ve la compactación así determinar el contenido de agua y el peso unitario seco de las muestras del suelo en donde se rellena en un molde 5 capas y mediante un pitón o martillo se realiza 56 golpes produciendo una gran energía de compactación.

#### **CBR de suelos (Californian Bearing Ratio)**

Según manifiesta Manual de Ensayo de Materiales, (2016) “Este método de ensayo se usa para evaluar la resistencia potencial de subrasante, sub base y materia de base, incluyendo materiales reciclados para usar en pavimentos de vías y de campos de aterrizaje. El valor de CBR obtenido en esta prueba forma una parte integral de varios métodos de diseño de pavimento”. Según Afirma Rondón, H. y Reyes, F. (2015) “Este ensayo debe realizarse sobre el suelo en estado saturado para simular su condición más crítica. Por este

motivo los especímenes en el laboratorio se sumergen en aguadurante cuatro días, con una carga aplicada sobre la superficie de dichos especímenes, la cual representa en teoría la masa de la estructura del pavimento que soporta la subrasante. El CBR mide de manera indirecta en el suelo una resistencia al corte (penetración) y/o una rigidez (esta última propiedad a través de la relación entre una carga y el desplazamiento). Para el diseño de pavimento, por unidad homogénea de suelo, se recomienda como mínimo la relación de cinco ensayos de CBR. La totalidad de los valores del CBR se ordenan de menor a mayor con el fin de determinar el porcentaje de valores iguales o mayores de cada valor de CBR. Con estos datos se elabora un gráfico de porcentaje de valores iguales o mayores de cada valor de CBR vs. CBR. Con el gráfico se selecciona el valor del percentil de diseño de acuerdo con el número de ejes equivalentes de 8.2 toneladas que circulan en el carril y en el periodo de diseño (variable tránsito, N). Con base a este percentil se estima el CBR de diseño". (Pág. 383).

CBR [%]	Clasificación general	Usos
0 – 3	Muy pobre	Subrasante
3 – 7	Pobre a regular	Subrasante
7 – 20	Regular	Afirmados y subbase
20 – 50	Bueno	Subbase y base
> 50	Excelente	Base

*Figura 5 Percentiles para determinar el CBR de la subrasante*

*Fuente: Pavimentos, Materiales, Construcción y Diseño, (2015).*

CBR [%]	Clasificación general	Usos
0 – 3	Muy pobre	Subrasante
3 – 7	Pobre a regular	Subrasante
7 – 20	Regular	Afirmados y subbase
20 – 50	Bueno	Subbase y base
> 50	Excelente	Base

*Figura 6 Clasificación del suelo de acuerdo con el CBR. Fuente: Pavimentos, Materiales, Construcción y Diseño, (2015)*

Según el manual manifiesta que el ensayo del CBR sirve para evaluarla resistencia y soporte de la base granular, sub base granular y sub rasante, para que se pueda hacer un buen

diseño de pavimento flexible, según afirma el autor referido que dicho ensayo se debe realizar en un suelo saturado para que simulen el estado crítico, en donde las muestras se sumergen en un molde bajo agua durante 4 días en donde se aplican una carga encima de las muestras, el CBR mide indirectamente la resistencia de corte en donde se recomienda que mínimo se tiene que realizar cinco pruebas de CBR para llegar a una conclusión y verificar el porcentaje iguales o mayores de cada valor. Que de acuerdo al percentil de diseño el número de ejes Equivalentes es de 8.2 toneladas con base a ese percentil se realiza el diseño de pavimento flexible.

### **2.2.7. Estudio de Tráfico**

Según afirma Menéndez, J. (2012) “El tráfico es uno de los factores más relevantes en el diseño del pavimento. Su correcta determinación depende de muchos factores que pueden conducir a una estimación inadecuada del mismo. Los métodos actuales se basan en transformar los diferentes tipos de vehículos en un eje estándar equivalente, para posteriormente calcular el número de repeticiones de ejes equivalentes en el periodo de diseño del pavimento (ESAL). Esta forma de cálculo conlleva a una serie de errores en la estimación del daño, en especial cuando se trata de ejes simples y ejes no convencionales. Sin embargo, el método de diseño de NCHRP considera el tráfico a través del espectro de cargas por cada tipo de vehículo, es decir, toma en cuenta el hecho de que cada tipo de vehículo tiene un rango de cargas en los diferentes ejes que depende de la configuración del mismo, la cantidad de carga que trasladan y las condiciones del vehículo. De esta forma los cálculos ya no son efectuados bajo el concepto de ESAL sino directamente con la distribución de cargas por tipo de vehículo”. (Pág. 163). Así mismo manifiesta Rondón, H. y Reyes, F. (2015) “Esta variable es difícil de establecer y caracterizar ya que los vehículos que circulan por una vía presentan diferentes magnitudes, configuraciones de ejes, presiones de inflado, velocidad de circulación y número de llantas. Por lo general circulan en el carril y el periodo de diseño (N)”.

Según afirma el autor que el tráfico es muy importante para poder diseñar el pavimento ya que depende de muchos factores, últimamente se basan en conteo vehicular en un eje estándar así poder hacer el diseño del pavimento flexible pero el método que realizan genera errores, sobre todo en ejes equivalentes simples, en la cual el método de diseño de NCHRP considera que el tráfico se debe realizar por cada vehículo, en donde cada

uno tiene una carga y ejes diferentes así como el número de llantas que circulan por la vía para realizar un diseño correcto del pavimento.

#### **Periodo de Diseño**

Según afirma Menéndez, J. (2012) “Este aspecto es de suma importancia para la determinación de la factibilidad económica de la solución que se plantee, en ninguno de los casos podrá ser menor que el periodo de vida útil de la estructura planteada que por lo generales de 10 a 20 años en los pavimentos flexibles y de 20 a 30 años en los pavimentos rígidos. En este punto es importante tomar en cuenta las restricciones legales para el análisis de factibilidad de proyectos con fondos públicos a pesar de que estos procedimientos se orientan a periodos de corto plazo que no permiten soluciones adecuadas en especial en proyectos de tráfico medio”

<b>Tipo de Carretera</b>	<b>Periodo de Diseño</b>
Urbana con altos volúmenes de tránsito	30-50 años
Interurbana con altos volúmenes de tránsito	20-50 años
Pavimentada con bajos volúmenes de tránsito	15-25 años
Revestidas con bajos volúmenes de tránsito	10-20 años
Afirmadas o lastradas	5-10 años

*Figura 7 Periodos de diseños en función del tipo de carretera.*

**Fuente:** *Ingeniería de Pavimentos, Materiales, Diseño y Conservación, (2012).*

Según afirma el autor que es muy importante el periodo de diseño sobre todo para la economía ya que se proyecta la vida útil de la infraestructura vial, así como en los pavimentos flexibles varía de 10 a 20 años y en pavimento rígidos de 20 a 30 años, así mismo se estima el diseño de la vía y se realiza un análisis del proyecto, si sería factible o no ya que se generan procedimientos de corto plazo y no cuentan con una solución adecuada.

### **Índice Medio Diario Anual (IMDA)**

Según afirma Manual de Carreteras: Diseño Geométrico , (2018) “Representa el promedio aritmético de los volúmenes diarios para todos los días del año, previsible o existente en una sección dada de la vía. Su conocimiento da una idea cuantitativa de la importancia de la vía en la sección considerada y permite realizar los cálculos de factibilidad económica. Los valores de IMDA para tramos específicos de carretera, proporcionan al proyectista, la información necesaria para determinar las características de diseño de la carretera, su clasificación y desarrollar los programas de mejoras y mantenimientos. Los valores vehículo/día son importantes para evaluar los programas de seguridad y medir el servicio proporcionado por el transporte en carretera. La carretera se diseña para un volumen de tránsito, que se determina como demanda diaria promedio a servir hasta el final del periodo de diseño, calculado como el número de vehículos promedio, que utilizan la vía por día actualmente y que se incrementa con una tasa de crecimiento anual. Estos volúmenes pueden ser obtenidos en forma manual o con sistemas tecnológicos. La IMDA (Intensidad media diaria anual), también conocida por sus siglas en inglés AADT (Average Annual Daily Traffic), se utiliza fundamentalmente para el planeamiento: Proyección de vías, programas de acondicionamiento de pavimento, determinación de tendencias en el uso de las vías, determinación de características geométricas de carácter general, proyectos de señalización e iluminación, estudios medio ambientales, estudios de impacto acústico, entre otros” (pág. 92).

Según manifiesta el manual de Diseño Geométrico 2018 que el Índice Medio diario anual (IMDA) realiza el volumen diario según la sección de la vía determinada, en donde brindan información al proyectista de las características para el diseño de la vía, para que se pueda realizar algún mejoramiento, el índice de los valores es vehículo/día es muy importante para evaluar y medir el tránsito vehicular de la vía, en donde el diseño de la vía se mide mediante el volumen del tránsito calculando el número de cada vehículo y asciende a una tasa de crecimiento al año, estos datos pueden ser obtenidos en forma de conteo vehicular manual o sistemas modernos como tecnológicos. Concluyendo la IMDA es muy importante para el diseño de la vía, sea señalización e iluminación, estudios ambientales, etc.

### **Tráfico de Diseño**

Según manifiesta Menéndez, J. (2012) “La forma más común de la carga equivalente utilizada en el diseño de pavimento es el equivalente de carga por eje único del 18 kips (80kn), abreviado como ESAL. Fue presentado en el conocido AASHO Road Test en donde los factores de equivalencia para convertir un pase de cualquier eje de carga dada a los pasos equivalentes a un 18 .kip (80kn) carga por eje único se determinaron a partir de datos de carreteras de la prueba. Los factores de equivalencia conocida como el factor de ESAL, se derivan en base al daño de los efectos relativos de varias cargas por eje, con los daños causados por el estándar de 18 – kip (80 Kn) solo eje tomado como unidad. Para diseñar un pavimento de carreteras, es necesario predecir el número de repeticiones de cada grupo de ejes de carga durante el periodo de diseño. La información del tráfico inicial puede ser obtenida sobre mediciones de campo, estaciones de conteo, peajes o vías que tienen características de tráfico similares a aquellas del proyecto en cuestión. El tráfico diario inicial es de 2 direcciones sobre todos los carriles de tráfico y debe ser multiplicado por factores direccionales y de distribución de carril para obtener el tráfico inicial en el carril de diseño. El tráfico a ser usado en el diseño es el tráfico promedio durante el periodo de diseño, de manera que el tráfico tenga que ser multiplicado por un factor de crecimiento, Siendo N, el número para un grupo de carga”. (pág. 174)

Según manifiesta el autor que el equivalente más usado en el diseño del pavimento es la carga por eje único de 80 kn. Ya que fue publicado en el AASHO ROAD TEST, en donde se ve el daño que causan las cargas en el eje al aplicar los 80 kn. Tomando solo un eje como unidad. Así mismo para diseñar una vía es muy importante ver el índice de repeticiones de ejes de carga durante se está realizando el diseño, la información para el realizar el diseño es mediante un conteo vehicular, mediciones de campo, peajes o vías. En donde se tiene que realizar una fórmula teniendo los datos para el diseño de tráfico de manera que se tiene que multiplicar por un factor de crecimiento, en donde N, el número total de repeticiones de dicha carga debe ser usado para un grupo de carga.

#### **2.2.8. PCI**

Según afirma Rondón, H. y Reyes, F. (2015) “El índice de condición del pavimento, PCI, fue publicado por el cuerpo de Ingenieros de la Armada de Estados Unidos en 1978. Este índice es fácil de emplear y no requiere de equipos sofisticados o especiales para ejecutar las evaluaciones viales. El procedimiento es enteramente visual, ofrece buena repetitividad y

confiabilidad estadística de los resultados y suministra información confiable sobre las fallas que presenta el pavimento, su severidad y el área afectada al igual que el MDR, el PCI tipifica el estado del pavimento con base en una escala que varía desde 0 (muy mal estado) hasta 100 (perfecto estado)”.

Rango de PCI	Calificación	Intervención
85-100	Excelente	Mantenimiento
70-85	Muy bueno	Mantenimiento
55-70	Bueno	Rehabilitación
40-55	Regular	Rehabilitación
25-40	Malo	Rehabilitación
10-25	Muy malo	Reconstrucción
0-10	Fallado	Reconstrucción

**Figura 8 Clasificación del PCI**

*Fuente: Pavimentos, Materiales, Construcción y Diseño, (2015).*

Según afirma el autor referido que el Índice de condición del pavimento (PCI), fue realizado por ingenieros especializados en la armada de Estados Unidos, en donde este método es fácil de aplicar así poder evaluar el estado actual de la vía, el procedimiento de la evaluación será visual, donde se identifica los tipos de fallas del pavimento y el área afectada mediante unas fichas y se su escala de evaluación es de 0 a 100.

**Unidades de Muestreo**

Según manifiesta Vásquez, L. (2002) “Se divide la vía en secciones o “Unidades de muestreo” cuyas dimensiones varían de acuerdo con los tipos de vía y de capa de rodadura:

- a. Carreteras con capa de rodadura asfáltica y ancho menos que 7.30 m: El área de la

unidad de muestreo debe estar en el rango  $230.0 + 93.0 \text{ m}^2$ . En el Cuadro 2 se presentan algunas relaciones longitud – ancho de calzada pavimentada.

Ancho de calzada (m)	Longitud de la unidad de muestreo (m)
5.0	46.0
5.5	41.8
6.0	38.3
6.5	35.4
7.3 (máximo)	31.5

Figura 9 Longitudes de unidades de muestreo asfáltico

Fuente: Pavement Condition Index (PCI), (2002).

Se recomienda tomar el valor medio de los rangos y en ningún caso definir unidades por fuera de aquellos. Para cada pavimento inspeccionado se sugiere la elaboración de esquemas que muestren el tamaño y la localización de las unidades ya que servirá para referencia futura”. (pág. 3)

ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO					
PCI-01. CARRETERAS CON SUPERFICIE ASFÁLTICA.					
EXPLORACIÓN DE LA CONDICIÓN POR UNIDAD DE MUESTREO				ESQUEMA	
ZONA	ABSCISA INICIAL	UNIDAD DE MUESTREO			
CÓDIGO VÍA	ABSCISA FINAL	ÁREA MUESTREO (m <sup>2</sup> )			
INSPECCIONADA POR		FECHA			
No.	Daño	No.	Daño		
1	Piel de cocodrilo.	11	Parqueo.		
2	Exudación.	12	Pulimento de agregados.		
3	Agrietamiento en bloque.	13	Huecos.		
4	Abultamientos y hundimientos.	14	Cruce de vía férrea.		
5	Corrugación.	15	Ahuellamiento.		
6	Depresión.	16	Desplazamiento.		
7	Grieta de borde.	17	Grieta parabólica (slippage)		
8	Grieta de reflexión de junta.	18	Hinchamiento.		
9	Desnivel carril / berma.	19	Desprendimiento de agregados.		
10	Grietas long y transversal.				
Daño	Severidad	Cantidades parciales		Total	Valor deducido

Figura 10 Formato de exploración de condición para carreteras con superficie asfáltica

Fuente: Manual: Pavement Condition Index (PCI), (2002).

Según manifiesta el autor que una vía se divide en unidades de muestreo pueden variar en el tipo de falla de la calzada y los tipos de vía. En donde las carreteras asfálticas tienen una

medida aproximada para realizar las muestras por longitudes, y dependiendo el ancho de la vía que se va a evaluar en la cual se recomienda realizar los formatos que se puede apreciar en la Figura 10. Donde describe el tipo de falla, daño, severidad y ubicaciones de las fallas.

#### **Cálculo del PCI de las unidades de muestreo.**

Según manifiesta Vásquez, L. (2002) "Al completar la inspección de campo, la información sobre los daños se utiliza para calcular el PCI. El cálculo puede ser manual o computarizado y se basa en los "Valores Deducidos" de cada año de acuerdo con la cantidad y severidad reportadas.

Calculo para carreteras con capa de rodadura asfáltica: Etapa 1. Cálculo de los valores Deducidos:

- a) Totalice cada tipo y nivel de severidad de daño y regístrelo en la columna total del formato PCI – 01. El daño puede medirse en área, longitud o por número según su tipo.
- b) Divida la cantidad de cada clase de daño, en cada nivel de severidad, entre el Área total de la unidad de muestreo y exprese el resultado como porcentaje. Esta es la Densidad del daño, con el nivel de severidad especificado, dentro de la unidad en estudio.
- c) Determine el valor deducido para cada tipo de daño y su nivel de severidad mediante las curvas denominadas "Valor deducido del daño" que se adjuntan al final de este documento, de acuerdo con el tipo de pavimento inspeccionado,

Etapa 2. Cálculo de Número Máximo Admisible de Valores Deducidos (m)

- a) Si a ninguno o tan solo uno de los "Valores Deducidos" es mayor que 2, se usa el "Valor Deducido Total" en lugar del mayor "Valor Deducido Corregido", CDV.
- b) Liste los valores deducidos individuales deducidos de mayor a menor.
- c) Determine el "Número Máximo Admisible de Valores Deducidos" (m), utilizando la ecuación 3:

$$m_i = 1.00 + \frac{9}{98}(100 - HDV_i) \text{ Ecuación 3. Carreteras pavimentadas.}$$

Donde:

$m_i$ : Número máximo admisible de "valores deducidos", incluyendo fracción, para la unidad de muestreo  $i$ .

$HDV_i$ : El mayor valor deducido individual para la unidad de muestreo  $i$ .

*Figura 11 Formato de exploración de condición para carreteras con superficie asfáltica*

*Fuente: Pavement Condition Index (PCI), (2002).*

d) El número de valores individuales deducidos se reduce a  $m$ , inclusive la parte fraccionaria. Si se dispone de menos valores deducidos que  $m$  se utilizan todos los que se tengan.

Etapas 3. Cálculo del Máximo Valor Deducido Corregido, CDV.

El máximo CDV se determina mediante el siguiente proceso iterativo:

- a) Determine el número de valores deducidos,  $q$ , mayores que 2.0.
- b) Determine el "Valor deducido Total" sumando TODOS los valores deducidos individuales.
- c) Determine el CDV con  $q$  y el "Valor deducido Total" en la curva de corrección pertinente al tipo de pavimento.
- d) Reduzca a 2.0 el menor de los "Valores deducidos" individuales que sea mayor que 2.0 y repita las etapas 3.a. a 3.c. hasta que  $q$  sea iguala 1.
- e) El máximo CDV es el mayor de los CDV obtenidos en este proceso. Etapa 4. Calcule el PCI de la unidad restando de 100 el máximo CDV obtenido en la Etapa 3". (pág. 6-7)

Según manifiesta el autor para el verificar la información de los tipos de falla se tiene que calcular el PCI, en donde puede ser manualmente en computadora en donde se tiene que ver los valores deducidos decada tipo de falla que se encuentra en la vía y la cantidad. En donde se llega en varias etapas como el cálculo de los valores deducidos, el cálculo de número máximo admisible de valores deducidos, el cálculo del "Máximo valor deducido corregido" y el cálculo del PCI de la unidad restando de 100 el máximo CDV que se obtienen en el cálculo del Máximo Valor deducido Corregido (CDV).

**Tipos de fallas o daños en vías con Superficie de concreto Asfáltico.  
Piel de Cocodrilo**

Según afirma Vásquez, L. (2002) “Las grietas de fatiga o piel de cocodrilo son una serie de grietas interconectadas cuyo origen es la falla por fatiga de la capa de rodadura asfáltica bajo acción repetida de las cargas de tránsito. El agrietamiento se inicia en el fondo de la capa asfáltica (O base estabilizada) donde los esfuerzos y deformaciones unitarias de tensión son mayores bajo la carga de una rueda. Inicialmente, las grietas se propagan a la superficie como una serie de grietas longitudinales paralelas. Después de repetidas cargas de tránsito, las grietas longitudinales paralelas. Después de repetidas cargas de tránsito, las grietas se conectan formando polígonos con ángulos agudos que desarrollan un patrón que se asemeja a una malla de gallinero o a la piel de cocodrilo. Generalmente, el lado más grande de las piezas no supera los 0.60m. La piel de cocodrilo se considera como un daño estructural importante y usualmente se presenta acompañado por ahuellamiento.

Niveles de severidad:

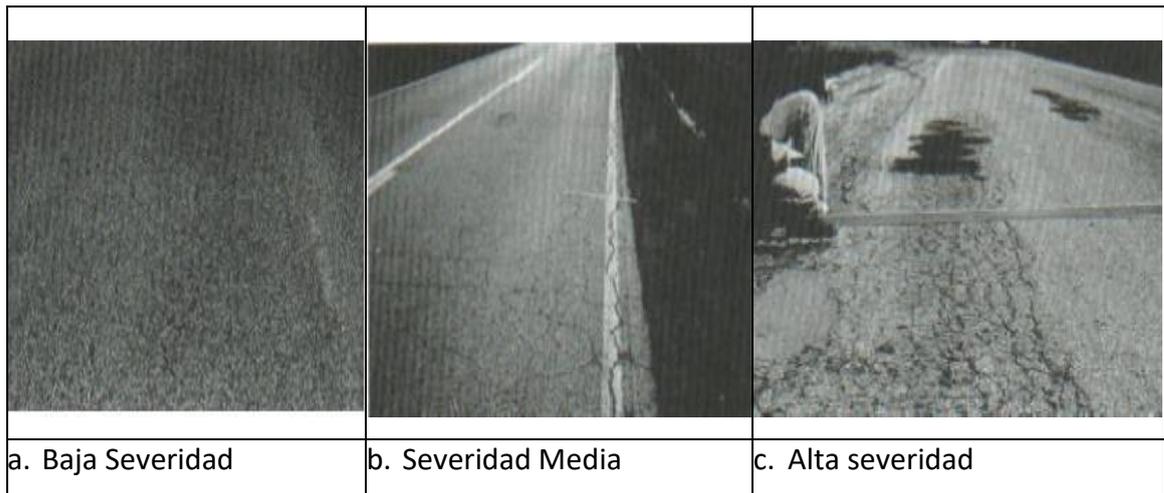
L (Low: Bajo): Grietas finas capilares y longitudinales que se desarrollan de forma paralela con unas pocas o ninguna interconectadas. Las grietas no están descascaradas, es decir, no presentan rotura del material a lo largo de los lados de la grieta.

M (Medium: Medio): Desarrollo posterior de grietas piel de cocodrilo del nivel L, en un patrón o red de grietas que pueden estar ligeramente descascaradas.

H (High: Alto): Red o Patrón de Grietas que ha evolucionado de tal forma que las piezas o pedazos están bien definidos y descascarados los bordes. Algunos pedazos pueden moverse bajo el tránsito.

Unidad de medida:

Se mide en pies cuadrados ( o metros cuadrados) de área afectada. La mayor dificultad en la medida de este tipo de daño radica en que, a menudo, dos o tres niveles de severidad coexisten en un área deteriorada”. (pág. 10)



*Figura 12 Piel de cocodrilo nivel de severidad (a) baja, (b) media, (c) alta*

*Fuente: Pavement Condition Index (PCI), (2002).*

Según afirma el autor la piel de cocodrilo son grietas generadas por la falla de fatiga en la capa asfáltica y también por las cargas generadas por los vehículos, en donde el agrietamiento se genera en la base granular donde el esfuerzo y la deformación son grandes bajo la carga de un vehículo, en la cual se generan polígonos que se asemejan a la piel de cocodrilo. Así mismo la piel de cocodrilo es un daño que se genera mediante niveles de severidad. Ya sea (L) es bajo, (M) Medio y (H) es alto, en donde la unidad de medida es por metros cuadrados del área dañada.

**Exudación.**

Según manifiesta Vásquez, L. (2002) “La exudación es una película de material Bituminoso en la superficie del pavimento, la cual forma una superficie brillante, cristalina y reflectora que usualmente llega a ser pegajosa. La exudación es originada por exceso de asfalto en la mezcla, exceso de aplicación de un sellante asfáltico o un bajo contenido de vacíos de aire. Ocurre cuando el asfalto llena los vacíos de la mezcla en medio de altas temperaturas ambientales y entonces se expande en la superficie del pavimento. Niveles de severidad:

L: La exudación ha ocurrido solamente en un grado muy ligero y es detectable únicamente durante unos pocos días del año. El asfalto no se pega a los zapatos o a los vehículos.

M: La Exudación ha ocurrido hasta un punto en el cual el asfalto se pega a los zapatos y vehículos únicamente durante unas pocas semanas del año.

H: La exudación ha ocurrido de forma extensa y gran cantidad de asfalto se pega a los

zapatos y vehículos al menos durante varias semanas al año.

Unidad de medida:

Se mide en pies cuadrados (o metros cuadrados) de área afectada.”.(pág. 12)

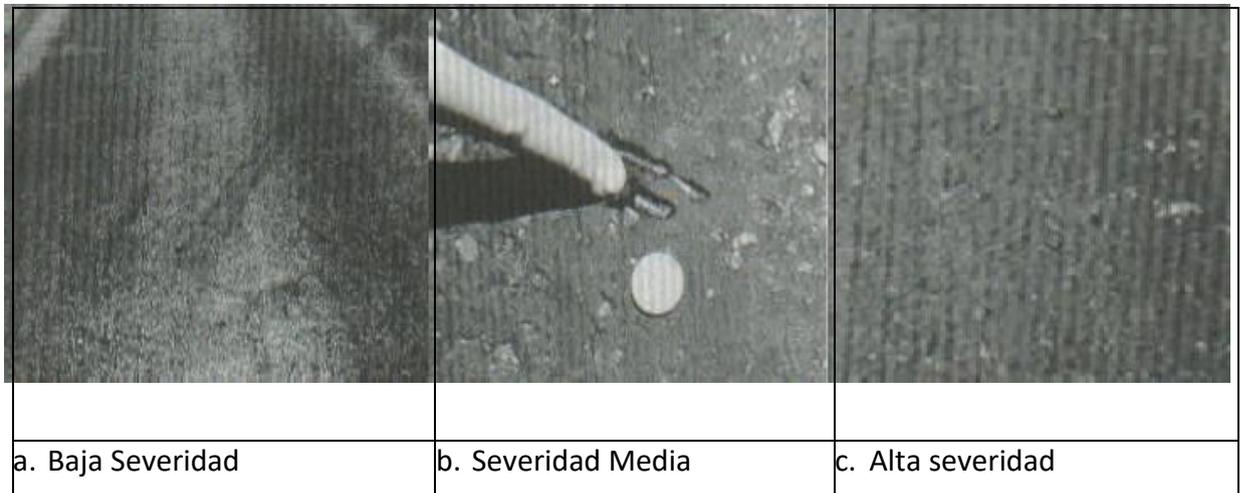


Figura 13 Exudación nivel de severidad (a) baja, (b) media, (c) alta

Fuente: Pavement Condition Index (PCI), (2002).

Según manifiesta el autor la exudación es el material bituminoso de la carpeta asfáltica en donde se forma de una capa brillante, cristalina y reflectora, que se pegan a las llantas de los vehículos. Esto ocurre por adición demasiado de asfalto a la mezcla o en la adición de algún sellante asfáltico, es por ello cuando la carpeta asfáltica tiene vacíos al generar la mezcla en lugares de mayores temperaturas ambientales es donde se esparce en la carpeta asfáltica. Así mismo indican los niveles de severidad que son (L) Leves, (M) Medio y (H) alto, la unidad de medida de este tipo de falla del pavimento flexible es por metros cuadrados.

#### **Agrietamiento en Bloque**

Según afirma Vásquez, L. (2002) “Las grietas en bloque son grietas interconectadas que dividen el pavimento en pedazos aproximadamente rectangulares. Los bloques pueden variar en tamaño de 0.30 m x 0.30 m a 0.30 m x 0.30m. Las grietas en bloque se originan principalmente por la contracción del concreto asfáltico y los ciclos de temperatura diarios (Lo cual origina ciclos diarios de

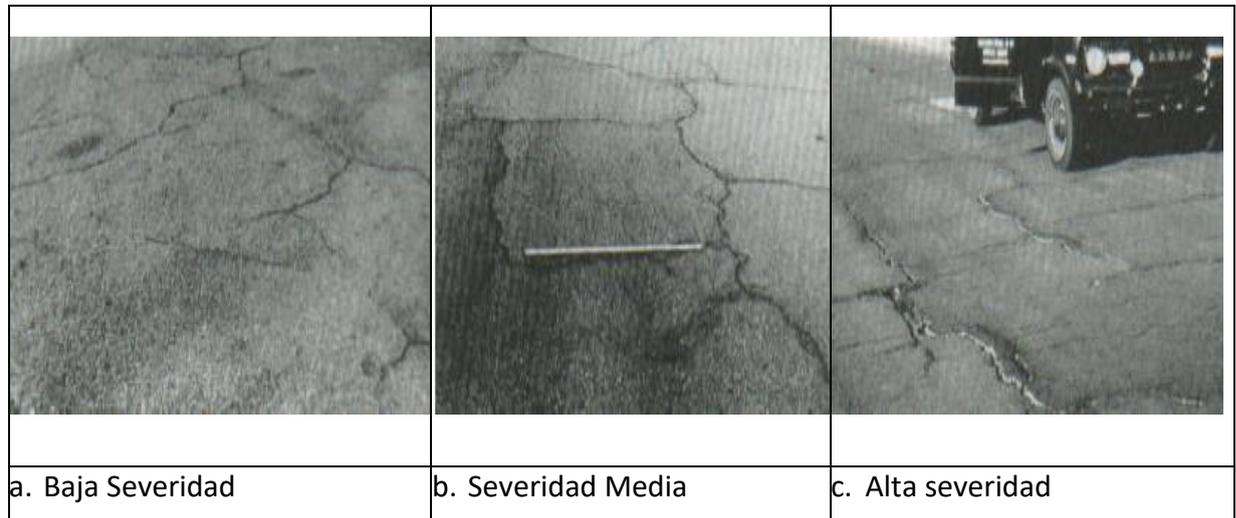
esfuerzo / deformaciones unitarias). Las grietas en bloque no están asociadas a cargas e indican que el asfalto se ha endurecido significativamente. Los niveles de severidad:

L: Bloques definidos por grietas de baja severidad, como se define para grietas longitudinales y transversales.

M: Bloques definidos por grietas de severidad media.

H: Bloques definidos por grietas de alta severidad. Unidad de medida:

Se mide en pies cuadrados (o metros cuadrados) de área afectada".(pág. 14)



*Figura 14 Agrietamiento en bloque nivel de severidad (a) baja, (b) media, (c) alta Fuente: Pavement Condition Index (PCI), (2002).*

Según afirma el autor que las grietas en bloque de la calzada se dividen en pedazos rectangulares, tienen una variación de 0.30 m x 0.30m. En donde este tipo de falla no se debe a la carga de los vehículos, sino al endurecimiento del asfalto aplicado en dichas zonas, así mismo esto ocurre en un tramo grande del pavimento flexible pero a veces aparece en lugares que no hay transitabilidad vehicular. En la cual estos tipos de fallas tienen niveles de severidad que son (L) leves, (M) medio y (H) es alto, la unidad de medida es por metros cuadrados.

**Abultamientos y Hundimientos**

Según afirma Vásquez, L. (2002) “Los abultamientos son pequeños desplazamientos hacia arriba localizados en la superficie del pavimento. Se diferencian de los desplazamientos, pues estos últimos son causados por pavimentos inestables. Los hundimientos son desplazamientos hacia abajo, pequeños y abruptos, de la superficie del pavimento. Las distorsiones y desplazamientos que ocurren sobre grandes áreas del pavimento, causando grandes o largas depresiones en el mismo, se llaman “ondulaciones”.

Niveles de severidad:

L: Los abultamientos o hundimientos origina una calidad de tránsito de baja severidad.

M: Los abultamientos o hundimientos origina una calidad de tránsito de severidad media.

H: Los abultamientos o hundimientos origina una calidad de tránsito de severidad alta.

Unidad de medida:

Se mide en pies lineales (o metros lineales)". (pág. 16)

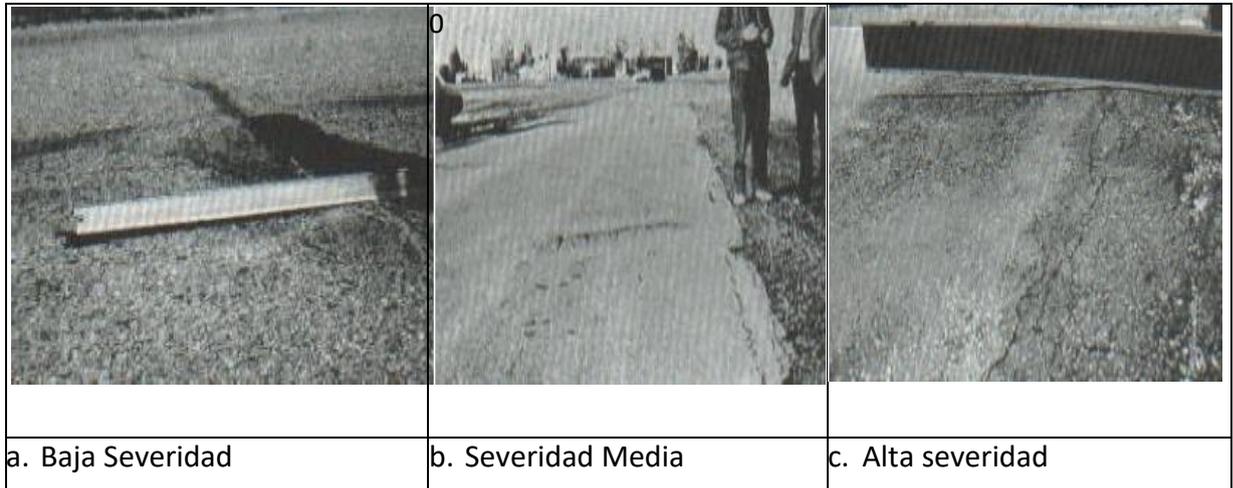


Figura 15 Abultamiento y Hundimiento nivel de severidad (a) baja, Fuente: Pavement Condition Index (PCI), (2002).

Según el autor afirma que los abultamientos son fallas que se desplazan hacia arriba que se ubican en la carpeta asfáltica o capa de rodadura, esto se genera mediante pavimentos inestables en donde suceden por varios factores como una expansión por congelación, elevación del material emitidas por las cargas del tránsito, el hundimientos son fallas que van hacia debajo que se ubican en la carpeta asfáltica y son áreas de gran magnitud, En la cual sus niveles de severidad son (L) leve, (M) medio y (H) alto, su unidad de medida es en metros lineales.

#### Corrugaciones

Según afirma Vásquez, L. (2002) "La corrugación (también llamada "lavadero") es una serie de cimas y depresiones muy próximas que ocurren a intervalos bastante regulares, usualmente causado por la acción del tránsito combinada con una carpeta o una base inestables. Si los abultamientos ocurren en una serie con menos de 3.0 m de separación entre ellos, cualquiera sea la causa el daño se denomina corrugación. Niveles de severidad:

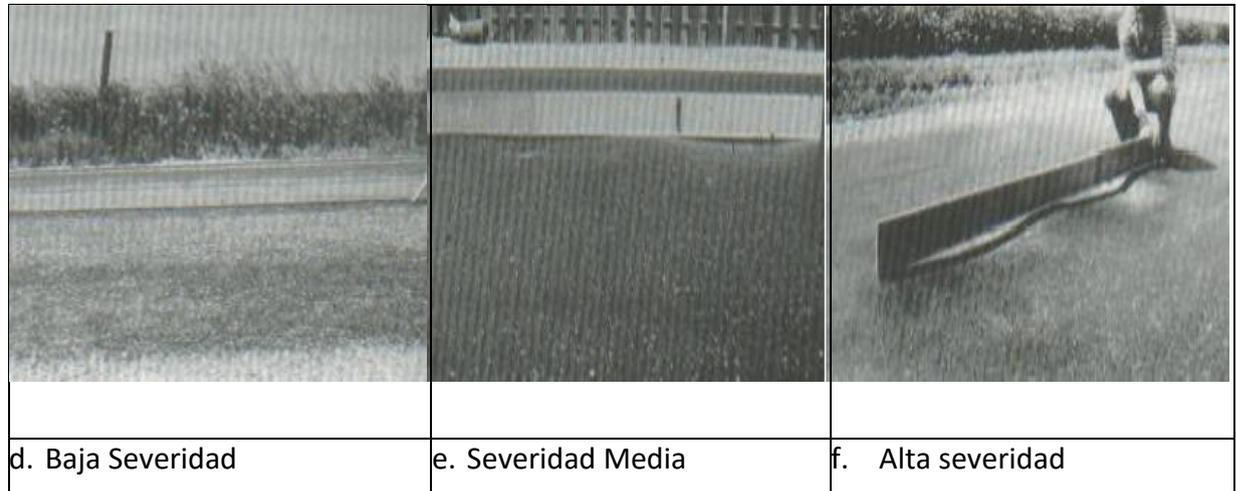
L: Corrugaciones producen una calidad de tránsito de baja severidad.

M: Corrugaciones producen una calidad de tránsito de mediana severidad.

H: Corrugaciones producen una calidad de tránsito de alta severidad.

Unidad de medida:

Se mide en pies cuadrados (o metros cuadrados) del área afectada”.(pág. 18)



*Figura 16 Corrugación nivel de severidad (a) baja, (b) media, (c) alta*

*Fuente: Pavement Condition Index (PCI), (2002).*

Según afirma el autor la corrugación son depresiones que ocurren de manera regular, la causa que se genera es por la transitabilidad de los vehículos cuando una carpeta asfáltica o base granular está en mal estado. En la cual cuenta con niveles de severidad que es (L) leve,

(M) medio y (H) alto, la unidad de medida es por metros cuadrados del área que está dañada.

### **Depresión**

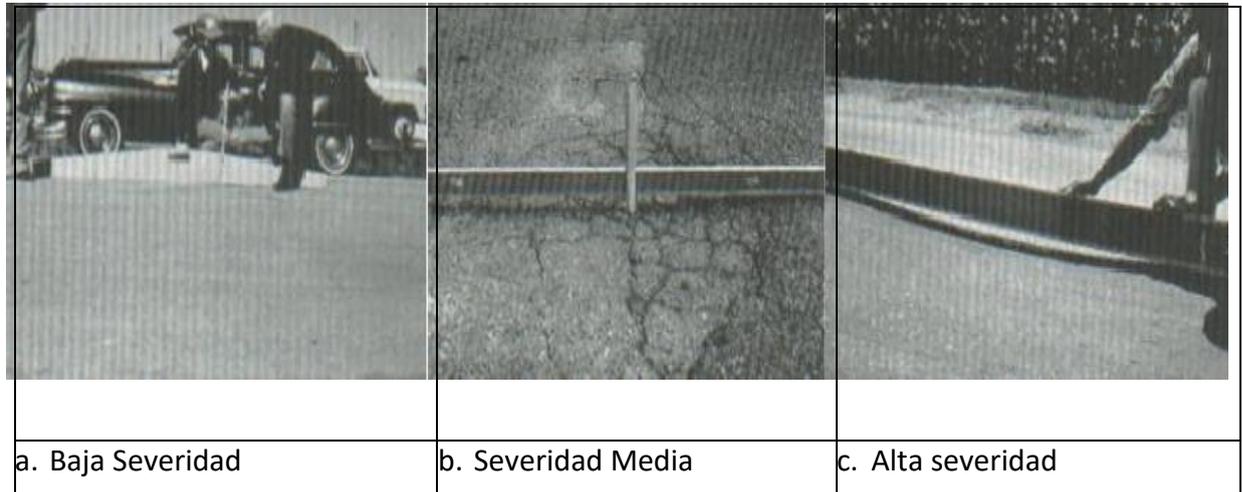
Según manifiesta Vásquez, L. (2002) “Son áreas localizadas de la superficie del pavimento con niveles ligeramente más bajos que el pavimento a su alrededor. En múltiples ocasiones, las depresiones suaves solo son visibles después de la lluvia, cuando el agua almacenada forma un “baño de pájaros”. En el pavimento seco las depresiones pueden ubicarse gracias a las manchas causadas por el agua almacenada. Las depresiones son formadas por el asentamiento de la subrasante o por una construcción incorrecta. Original alguna rugosidad y cuando son suficientemente profundas o estas llenas de agua pueden causar hidropelano. Niveles de severidad, Máxima profundidad de la depresión:

L: 13.0 a 25.0 mm.

M: 25.0 a 51.0 mm.

H: Mas de 51.0 mm.Unidad de medida:

Se mide en pies cuadrados (o metros cuadrados) del área afectada”.(pág. 20)



*Figura 17 Depresión nivel de severidad (a) baja, (b) media, (c) alta*

*Fuente: Pavement Condition Index (PCI), (2002).*

Según manifiesta el autor la depresión es el tipo de falla que se ubica en la encima de la carpeta asfáltica, se puede apreciar a simple vista cuando ocurren lluvias se forman como baños de pájaros en el pavimento. Esto es a causa de una mala compactación de la subrasante, así mismo estos cuentan con niveles de severidad que son (L) leve, (M) medio y (H) alto, la unidad de medida de este tipo de falla es por metros cuadrados.

#### **Grieta de Borde**

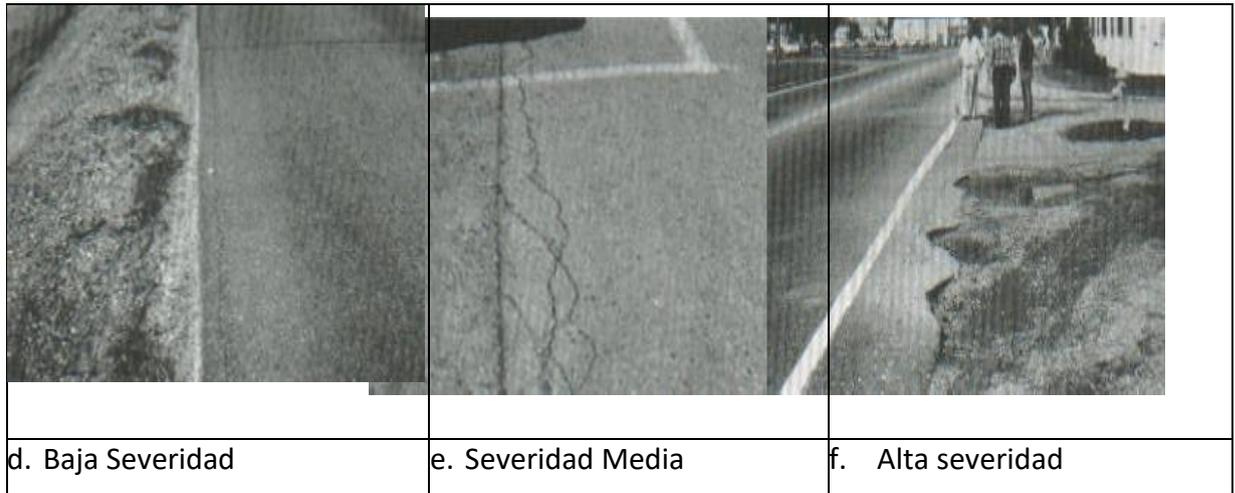
Según afirma Vásquez, L. (2002) “Las grietas de borde son paralelas y generalmente, están a una distancia entre 0.30 y 0.60 m del borde exterior del pavimento. Este daño se acelera por las cargas de tránsito y puede originarse por debilitamiento, debido a condiciones climáticas, de la base o de la subrasante próximas al borde del pavimento. El área entre la grieta y el borde del pavimento se clasifica de acuerdo con la forma como se agrieta (a veces tanto que los pedazos pueden removerse). Niveles de severidad:

L: Agrietamiento bajo o medio sin fragmentación o desprendimiento. M: Grietas medias con algo de fragmentación y desprendimiento.

H: Considerable fragmentación o desprendimiento a lo largo del borde.

Unidad de medida:

Se mide en pies lineales (o metros lineales)". (pág. 22)



**Figura 18** Grieta de borde nivel de severidad (a) baja, (b) media, (c) alta  
 Fuente: Pavement Condition Index (PCI), (2002).

Según afirma el autor que la Grieta de borde se origina entre una distancia de 0.30 y 0.60 al borde del pavimento flexible, esto puede ocurrir por las cargas del tránsito vehicular o también por los cambios climáticos o debilitamiento de la base o sub rasante del borde del pavimento, en la cual cuentan con niveles de severidad que se miden

(L) leve, (M) medio y (H) alto, la unidad de medida de la grieta de borde se mide en metros lineales.

**Grieta de Reflexión de junta**

Según afirma Vásquez, L. (2002) "Este daño ocurre solamente en pavimentos con superficie asfáltica construidos sobre una losa de concreto de cemento Portland. No incluye las grietas de reflexión de otros tipos de base (Por ejemplo, estabilizadas con cemento o cal). Estas grietas son causadas principalmente por el movimiento de la losa de concreto de cemento Portland, inducido por temperatura o humedad, bajo la superficie de concreto asfáltico. Este daño no está relacionado con las cargas; sin embargo, las cargas del tránsito pueden causar la rotura del concreto asfáltico cerca de la grieta. Niveles de severidad:

L: Existe de las siguientes condiciones:

(M) Grieta sin relleno de ancho menor que 10.0 mm.

(N) Grieta rellena de cualquier ancho (Con condición satisfactoria del material llenante).

M: Grietas medias con algo de fragmentación y desprendimiento.

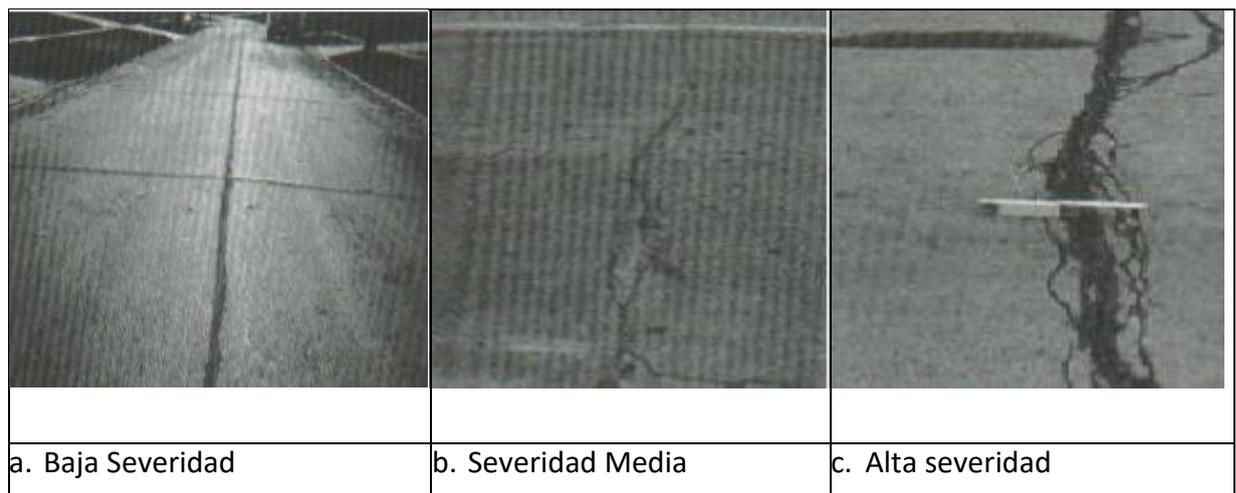
1. Grieta sin relleno de ancho entre 10.0 mm y 76.0mm.
2. Grieta sin rellena de cualquier ancho hasta 76.0 mm rodeada de un ligero agrietamiento aleatorio.
3. Grieta rellana de cualquier ancho rodeada de un ligeroagrietamiento aleatorio.

H: Considerable fragmentación o desprendimiento a lo largo delborde.

1. Cualquier grieta rellena o no, rodeada de un agrietamientoaleatorio de medida o alta severidad.
2. Grietas sin relleno de más de 76.0 mm.
3. Una grieta de cualquier ancho en la cual unas pocas pulgadasdel pavimento alrededor de la misma están severamente fracturadas (La grieta esta veramente fracturada).

Unidad de medida:

La grieta de reflexión de junta se mide en pies lineales (o metroslineales)”. (pág. 24)



**Figura 19** Grieta de reflexión de junta nivel de severidad (a) baja,

*Fuente: Pavement Condition Index (PCI), (2002).*

Según el afirma el autor la grieta de reflexión de junta se genera en laparte superior de la carpeta asfáltica que está construido sobre una capa de concreto, la causa de este tipo de fallas es por el movimientode la capa del concreto con cemento Portland, este tipo de falla no tiene nada que ver por la carga de tránsito vehicular, pero si puede causar la rotura de la carpeta asfáltica que está cerca de la grieta. Estas cuentan con un nivel de severidad, (L) leve, (M) medio y (H) alto, en donde la grieta de reflexión se junta se mide por metros lineales.

### Desnivel Carril/ Berma

Según manifiesta Vásquez, L. (2002) “El desnivel carril / berma es una diferencia de niveles entre el borde del pavimento y la berma. Este daño se debe a la erosión de la berma, el asentamiento berma la colocación de sobre carpetas en la calzada sin ajustar el nivel de la berma. Los niveles de severidad:

L: La diferencia en elevación entre el borde del pavimento y la berma está entre 25.0 y 51.0 mm.

M: La diferencia está entre 51.0 mm y 102 mm.

H: La diferencia en elevación es mayor que 102.00 mm. Unidad de medida:

Se mide en pies lineales (o metros lineales)”. (pág. 26)

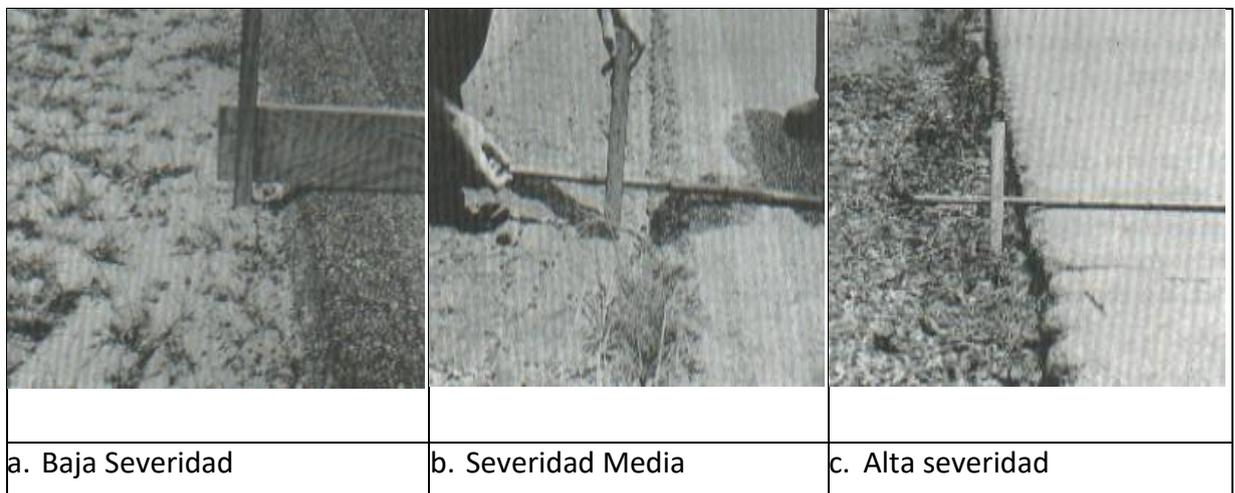


Figura 20 Desnivel carril/Berma nivel de severidad (a) baja, (b) media, (c) alta

Fuente: Pavement Condition Index (PCI), (2002).

Según manifiesta el autor el desnivel de carril y berma es la diferentes de la calzada con la berma, esto es causad por la implementación de sobre capas de la carpeta asfáltica sin medir la berma. En la cual contienen niveles de severidad que son (L) leve, (O) medio y (H) alto, en donde la unidad de medida es por metros lineales.

### Grietas Longitudinales y Transversales

Según manifiesta Vásquez, L. (2002) “Las grietas longitudinales son paralelas al eje del pavimento o a la dirección de construcción y pueden ser causados por:

(P) Una junta de carril del pavimento pobremente construida.

(Q) Contracción de la superficie de concreto asfáltico debido a bajas temperaturas o al

endurecimiento del asfalto o al ciclo diario de temperatura.

(R) Una grieta de reflexión causada por el agrietamiento bajo la capa de base, incluidas las grietas en losas de concreto de cemento Portland, pero no las juntas de pavimento de concreto.

Las grietas transversales se extienden a través del pavimento en ángulos aproximadamente rectos al eje del mismo o a la dirección de construcción. Usualmente este tipo de grietas no está asociado con carga. Niveles de severidad:

L: Existe una de las siguientes condiciones:

- a. Grieta sin relleno de ancho menor que 10.0 mm.
- b. Grieta rellena de cualquier ancho (Con condición satisfactoria del material llenante).

M: Existe una de las siguientes condiciones:

- a. Grieta sin relleno de ancho menor que 10.0 mm. y 76.0 mm.
- b. Grieta sin relleno de cualquier ancho hasta 76.0 mm, rodeada de grietas aleatorias pequeñas.
- c. Grieta rellena de cualquier ancho, rodeada de grietas aleatorias pequeñas.

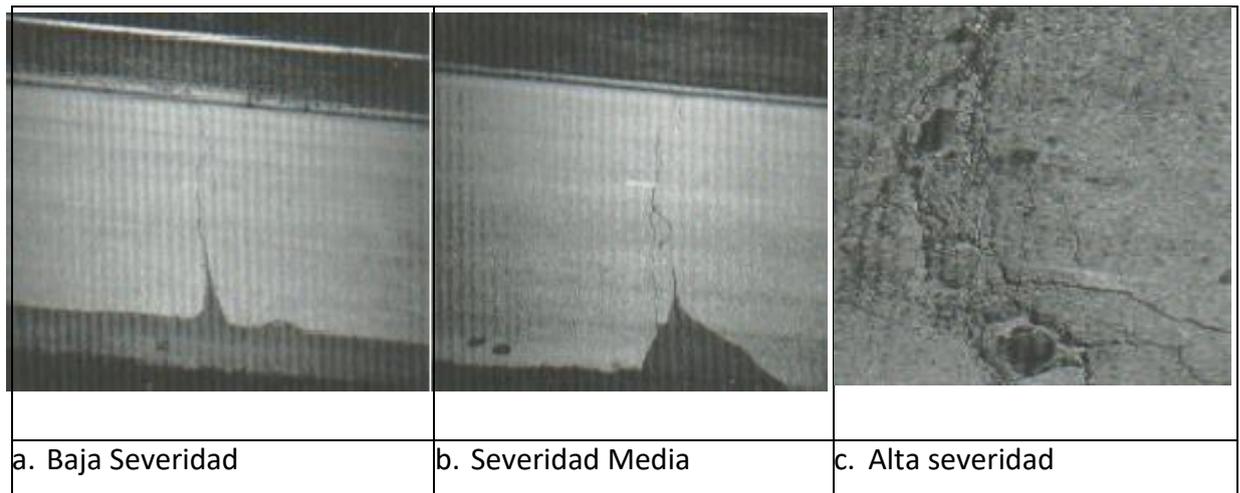
H: Existe una de las siguientes condiciones:

- a. Cualquier grieta rellena o no, rodeada de grietas aleatorias pequeñas de severidad media o alta.
- b. Grieta sin relleno de más de 76.0 mm de ancho. Una grieta de cualquier ancho en la cual unas pocas pulgadas del pavimento alrededor de la misma están severamente fracturadas.

Unidad de medida:

Las grietas longitudinales y transversales se miden en pies lineales (o metros lineales)".

(pág. 28)



**Figura 21** Las grietas longitudinales y transversales nivel de severidad (a) baja, (b) media, (c) alta

Fuente: *Pavement Condition Index (PCI)*, (2002).

Según manifiesta el autor que las grietas longitudinales y transversales son generadas la junta de un carril del pavimento flexible que está en mal estado, también puede ser debido a bajas temperaturas o el endurecimiento del asfalto ya que varía la temperatura del lugar, estos tipos de fallas no está relacionado con la carga vehicular. También cuentan con niveles de severidad que son

(L) leve, (M) medio y (H) alto, la unidad de medida es por metros lineales.

Parcheo y acometidas de Servicios Públicos.

Según afirma Vásquez, L. (2002) “Un Parche es un área de pavimento la cual ha sido reemplazada con material nuevo para reparar el pavimento existente. Un Parche se considera un defecto no importa que tan bien se comporte (Usualmente, un área parchada o el área adyacente no se comportan tan bien como la sección original de pavimento).

Niveles de severidad:

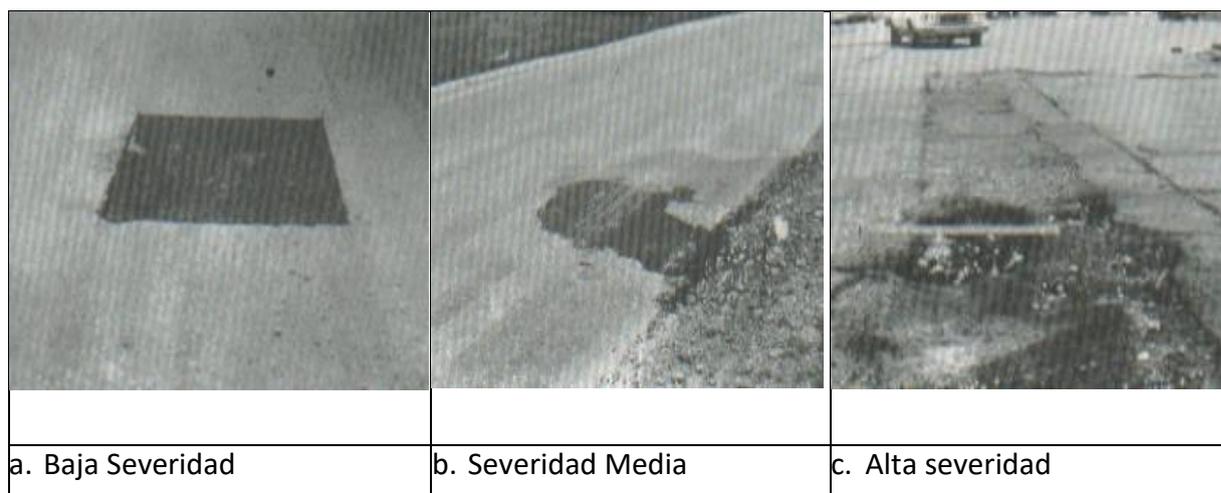
L: El parche está en buena condición y es satisfactorio. La calidad del tránsito se califica como de baja severidad o mejor.

M: El parche esta moderadamente deteriorado o la calidad del tránsito se califican como severidad media.

H: El parche está muy deteriorado o la calidad del tránsito se califica como de alta severidad. Requiere pronta sustitución.

Unidad de medida:

Los parches se miden en pies cuadrados (o metros cuadrados) del área afectada”. (pág. 30)



*Figura 22 Parcheo y acometidas de servicios públicos nivel de severidad (a) baja, (b) media, (c) alta Fuente: Pavement Condition Index (PCI), (2002).*

Según afirma el autor que el parcheo y acometidas de servicios se generan cuando hay un área de la carpeta asfáltica que es reemplazada por un nuevo material para reparar el pavimento flexible, el parche se considera como un tipo de falla que no es muy importante el comportamiento de la misma. En donde cuenta con niveles de seguridad que son (L) leve, (M) medio y (H) alto, la unidad de medida es por metros cuadrados.

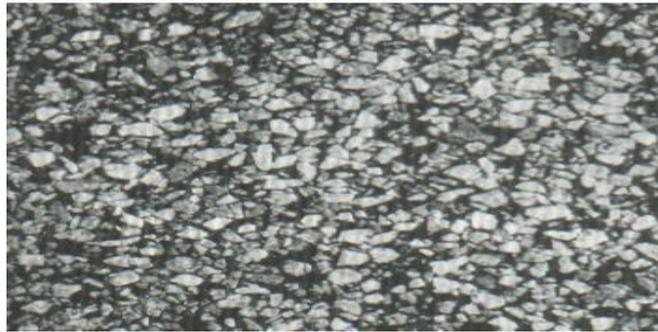
**Pulimento de agregados.**

Según afirma Vásquez, L. (2002) “Este daño es causado por la repetición de cargas de tránsito. Cuando el agregado en la superficie es suave al tacto, la adherencia con las llantas del vehículo se reduce considerablemente. Cuando la Porción de agregado que está sobre la superficie es pequeña, la textura del pavimento no contribuye de manera significativa a reducir la velocidad del vehículo. El Pulimento de agregados debe contarse cuando un examen revela que el agregado que se extiende sobre la superficie es degradable y que la superficie del mismo es suave al tacto. Este tipo de daño se indica cuando el valor de un ensayo de resistencia al deslizamiento es bajo o ha caído significativamente desde una evaluación previa. Niveles de severidad:

No se define ningún nivel de severidad. Sin embargo, el grado de pulimento deberá ser significativo antes de ser incluido en una evaluación de la condición y contabilizado como defecto.

Unidad de medida

Se mide en pies cuadrados (o metros cuadrados) de área afectada.



Fuente: *Pavement Condition Index (PCI)*, (2002).

Según afirma el autor el pulimento de agregados se genera por transitabilidad de los vehículos, cuando el agregado de la carpeta asfáltica tiene contacto con las llantas de los vehículos que transitan por el lugar, así mismo el tipo de la falla del pavimento flexible indica que mediante un ensayo para verificar la resistencia del deslizamiento es bajo. En la cual el nivel de severidad no se define, la unidad de medida es por metros cuadrados.

#### **Huecos.**

Según manifiesta Vásquez, L. (2002) “Los huecos son depresiones pequeñas en la superficie del pavimento, usualmente con diámetros menores que 0.90 m y con forma de tazón. Por lo general representan bordes aguzados y lados verticales en cercanías de la zona superior. El crecimiento de los huecos se acelera por la acumulación de agua dentro del mismo. Los huecos se producen cuando el tráfico arranca pequeños pedazos de la superficie del pavimento. La desintegración del pavimento progresa debido a mezclas pobres en la superficie, puntos débiles de la base o la subrasante, o porque se ha alcanzado una condición de piel de cocodrilo de severidad alta. Niveles de severidad:

Los niveles de severidad para los huecos de diámetro menos de 762mm están basados en la profundidad y el diámetro de los mismos.

Profundidad máxima del hueco.	Diámetro medio (mm)		
	102 a 203 mm	203 a 457 mm	457 a 762 mm
12.7 a 25.4 mm	L	L	M
> 25.4 a 50.8 mm	L	M	H
> 50.8 mm	M	M	H

Figura 23 Cuadro de niveles de severidad para huecos.

Fuente: *Pavement Condition Index (PCI)*, (2002).

Unidad de medida

Los huecos se miden contando aquellos que sean de severidades baja, media y alta”. (pág. 33)

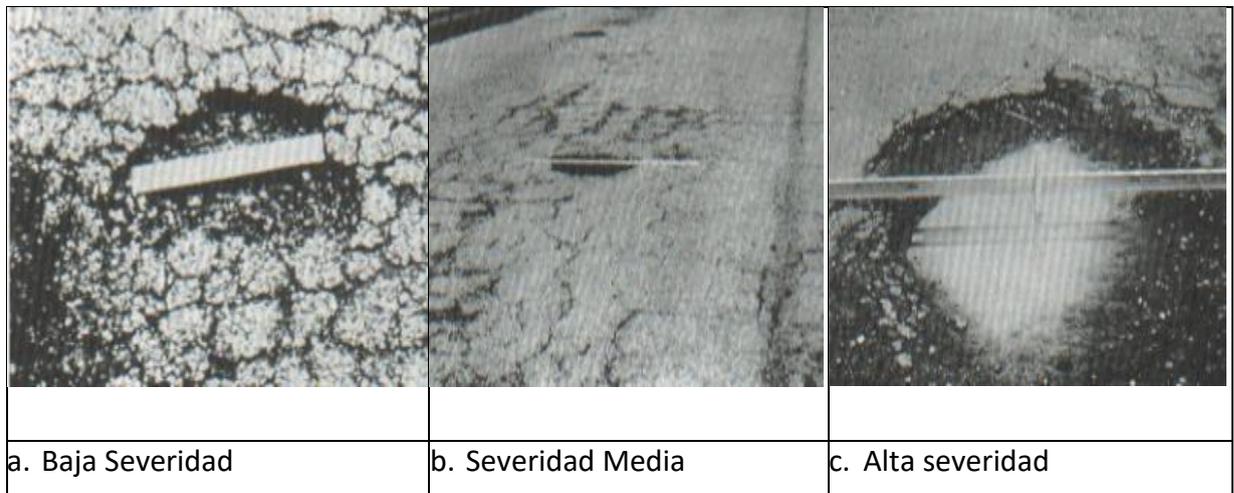


Figura 24 Huecos nivel de severidad (a) baja, (b) media, (c) alta

Fuente: Pavement Condition Index (PCI), (2002).

Según manifiesta el autor los huecos son fallas que se generan en la carpeta asfáltica, que son diámetros menores aproximados a 0.90m y con una forma de tazón, así mismo este tipo de falla se acelera mediante la acumulación de agua, eso debido a que la carpeta asfáltica es pobre y las bases granulares o sub rasante no están bien compactadas o porque anteriormente existía la falla de piel de cocodrilo. En la cual los niveles de severidad se miden con estos índices de (L) leve, (M) medio y (H) alto, la unidad de medida es contando todos los niveles de severidad.

#### **Cruce de vía férrea.**

Según manifiesta Vásquez, L. (2002) “Los defectos asociados al cruce de vía férrea son depresiones o abultamientos alrededor o entre los rieles. Niveles de severidad:

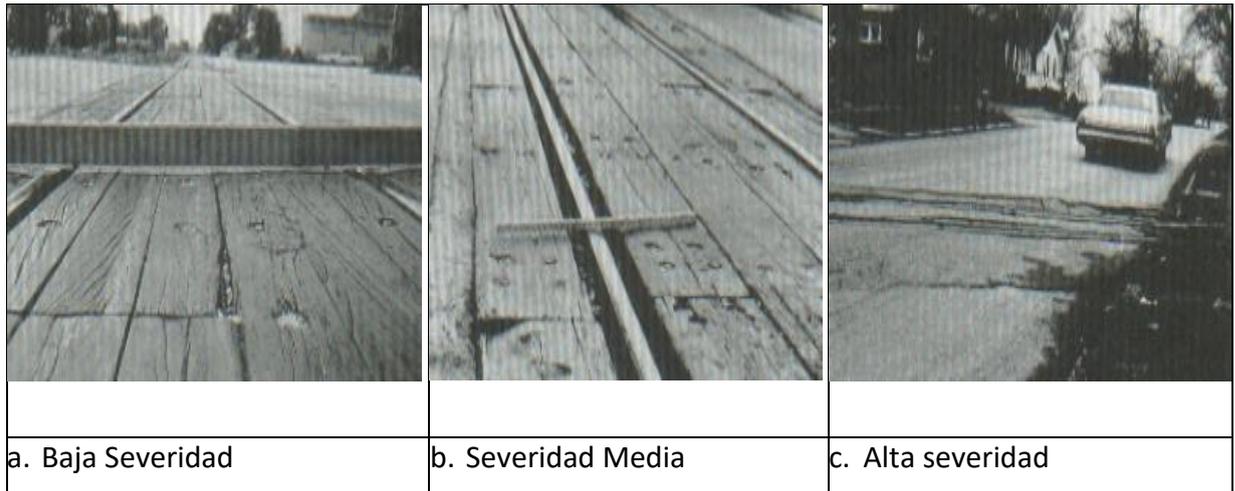
L: El cruce de vía férrea produce calidad de tránsito de baja severidad.

M: El cruce de vía férrea produce calidad de tránsito de severidad media.

H: El cruce de vía férrea produce calidad de tránsito de severidad alta.

Unidad de medida:

Los parches se miden en pies cuadrados (o metros cuadrados) del área afectada”. (pág. 30)



*Figura 25 Cruce de vía férrea nivel de severidad (a) baja, (b) media, Fuente: Pavement Condition Index (PCI), (2002).*

Según manifiesta el autor sobre el cruce de la vía férrea que las fallas que se generan son depresiones o abultamientos alrededor de los rieles. En la cual cuentan con niveles de severidad que son (L) leve, (M) medio y (H) alto, en donde la unidad de medida es por metros cuadrados en el área que está dañada.

**Ahuellamiento.**

Según afirma Vásquez, L. (2002) “El ahuellamiento es una depresión en la superficie de las huellas de las ruedas. Puede presentarse el levantamiento del pavimento a lo largo de los lados del ahuellamiento, pero, en muchos casos, este solo es visible después de la lluvia, cuando las huellas estén llenas de agua. El ahuellamiento se deriva de una deformación permanente en cualquiera de las capas del pavimento o la subrasante, usualmente producida por consolidación o movimiento lateral de los materiales debidos a la carga del tránsito. Un ahuellamiento importante puede conducir a una falla estructural considerable del pavimento. Niveles de severidad y profundidad media del ahuellamiento:

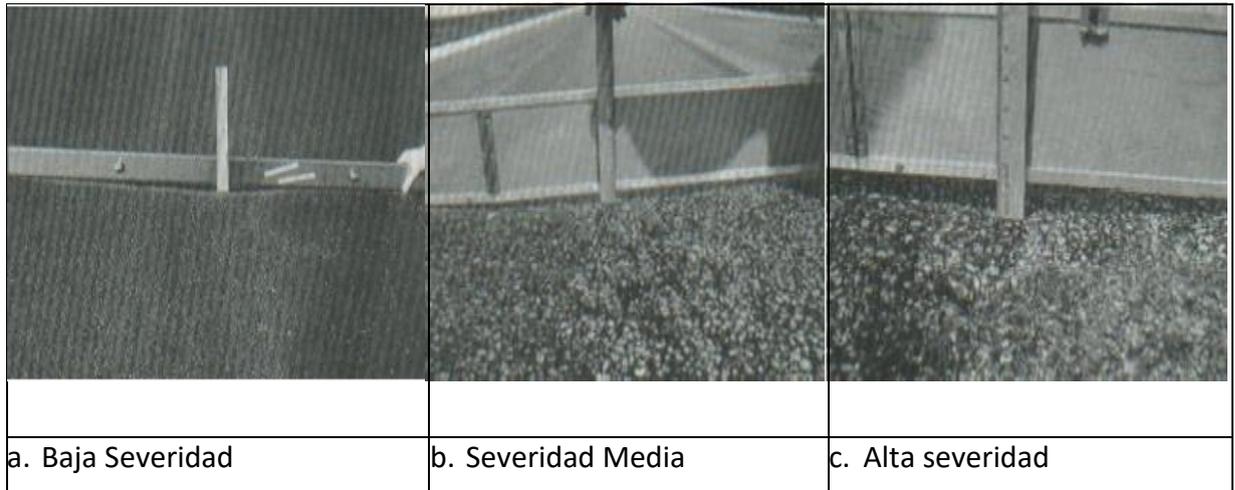
L: 6.0 a 13.0 mm.

M: > 13.0 mm a 25.0 mm. H: > 25.0 mm.

Unidad de medida:

El ahuellamiento se mide en pies cuadrados (o metros cuadrados) de área afectada y su

severidad esa definida por la profundidad media de la huella". (pág. 37)



*Figura 26 Ahuellamiento nivel de severidad (a) baja, (b) media, (c) alta*

*Fuente: Pavement Condition Index (PCI), (2002).*

Según afirma el autor el ahuellamiento se genera en la carpetaasfáltica causadas por las huellas de las llantas de los vehículos, endonde se puede generar un levantamiento del pavimento flexible en los lados del ahuellamiento, solo se puede apreciar cuando se generan lluvias y estas llevan las huellas de los vehículos, esto es causado por la carga del tránsito vehicular que puede afectar a la estructura del pavimento flexible.

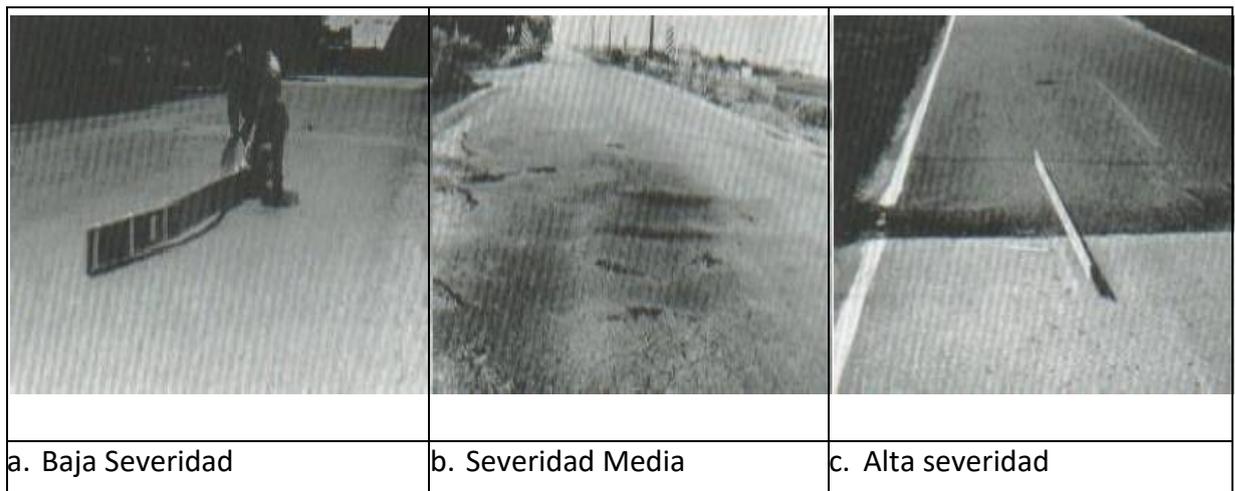
**Desplazamiento.**

Según afirma Vásquez, L. (2002) "El desplazamiento es un corrimiento longitudinal y permanente de un área localizada de la superficie del pavimento producido por las cargas del tránsito. Cuandoel transito empuja contra el pavimento, produce una onda corta y abrupta en la superficie. Normalmente, este daño solo ocurre en pavimentos con mezclas de asfalto líquido inestables. Los desplazamientos también ocurren cuando pavimentos de concreto asfaltico confinan pavimentos de concreto de cemento Portland. Niveles de severidad:

L: El desplazamiento causa calidad de tránsito de baja severidad. M: El desplazamiento causa calidad de tránsito de severidad media.H: El desplazamiento causa calidad de tránsito de alta severidad.

Unidad de medida:

Los desplazamientos se miden en pies cuadrados (o metroscuadrados) de área afectada y su severidad esa definida por laprofundidad media de la huella". (pág. 39)



*Figura 27 Desplazamientos nivel de severidad (a) baja, (b) media,*

*Fuente: Pavement Condition Index (PCI), (2002).*

Según afirma el desplazamiento se generan por las cargas del tránsito vehicular, en donde el tránsito genera un empuje al pavimento flexible y donde produce una onda y daña la calzada, también se ve en los pavimentos mixtos que la carpeta asfáltica está sobre el pavimento rígido, en la cual cuentan con niveles de severidad que son (L) leve, (M) medio y (H) alto, la unidad de medida de este tipo de falla es por metros cuadrados.

#### **Grietas Parabólicas.**

Según manifiesta Vásquez, L. (2002) “Las grietas parabólicas por deslizamientos son grietas en forma de media luna creciente. Son producidas cuando las ruedas que frenan o giran inducen el deslizamiento o la deformación de la superficie del pavimento. Usualmente, este daño ocurre en presencia de una mezcla asfáltica de baja resistencia o de una liga pobre entre la superficie y la capa siguiente en la estructura de pavimento. Este daño no tiene relación alguna con procesos de inestabilidad geotécnica de la calzada. Nivel de severidad:

L: Ancho promedio del fierro menos que 10.00 mm.

M: Existe una de las siguientes condiciones:

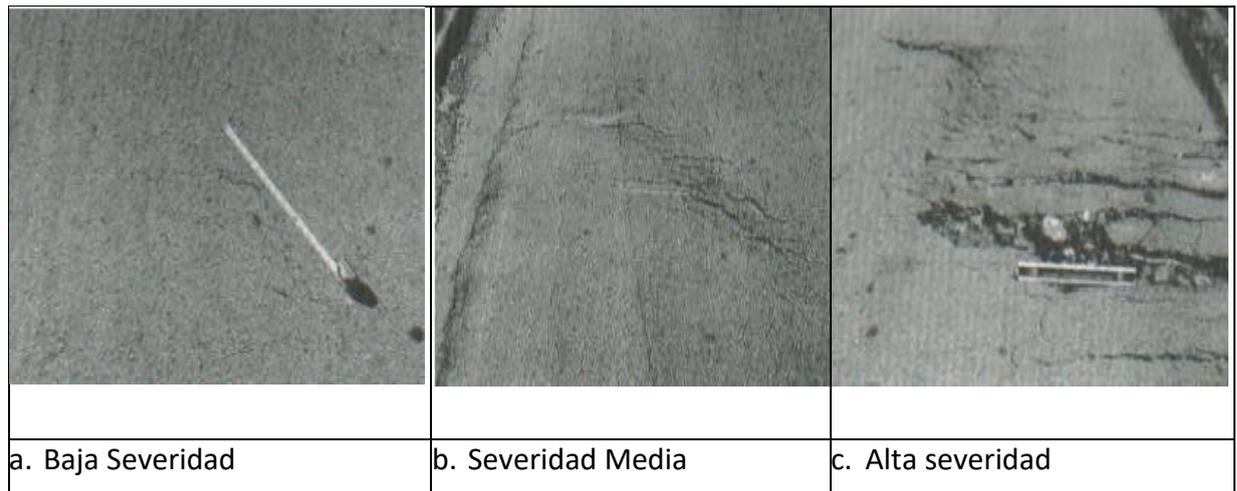
(S) Ancho promedio de la grieta entre 10.0 mm y 38.0 mm.

(T) El área alrededor de la grieta está fracturada en pequeños pedazos ajustados.

H: Existe una de las siguientes condiciones:

1. Ancho promedio de la grieta mayor 38.0 mm.
2. El área alrededor de la grieta esta fracturada en pedazos fácilmente removibles
3. Unidad de medida:

El área asociada con una grieta parabólica se mide en pies cuadrados (o metros cuadrados) de área afectada y se califica según el nivel de severidad más alto". (pág. 41)



*Figura 28 Grietas Parabólicas nivel de severidad (a) baja, (b) media, (c) alta*  
 Fuente: *Pavement Condition Index (PCI), (2002).*

Según manifiesta el autor las grietas parabólicas son generadas por el tránsito vehicular que cada vez que frenan o hacen un giro las llantas generan un deslizamiento o deformación en la carpeta asfáltica, este tipo de falla del pavimento flexible se genera por un mal diseño o por algún ligante pobre entre la capa de rodadura y la base granular, Cuneta con niveles de severidad que se miden con (L) leve,

(M) medio y (H) alto, la unidad de medida de este tipo de falla es por metros cuadrados.

**Hinchamiento.**

Según afirma Vásquez, L. (2002) "El hinchamiento se caracteriza por un pandeo hacia arriba de la superficie del pavimento una onda larga y gradual con una longitud mayor que 3.0m. El hinchamiento puede ser acompañado de agrietamiento superficial. Usualmente, este daño es causado por el congelamiento en la subrasante o por suelos potencialmente expansivos. Nivel de severidad:

L: El Hinchamiento causa calidad de tránsito de baja severidad. El hinchamiento de baja severidad no es siempre fácil de ver, pero puede ser detectado conduciendo en el límite de

velocidad sobre la sección de pavimento. Si existe un hinchamiento se producirá un movimiento hacia arriba.

M: El hinchamiento causa calidad de tránsito de severidad media. H: El hinchamiento causa calidad de tránsito de alta severidad.

Unidad de medida:

El hinchamiento se mide en pies cuadrados (o metros cuadrados)". (pág. 43



*Figura 29 Hinchamientos nivel de severidad (a) baja, (b) media, (c) alta*  
Fuente: *Pavement Condition Index (PCI)*, (2002).

Según afirma el autor el hinchamiento se genera en la carpeta asfáltica en donde se puede apreciar agrietamientos superficiales, la causa de este tipo de falla es por el congelamiento en la sub rasante suelos expansivos. En la cual cuenta con niveles de severidad que son (L) leve, (M) medio y (H) alto, la unidad de medida del tipo de falla es por metros cuadrados.

#### **Meteorización / Desprendimiento de agregados.**

Según afirma Vásquez, L. (2002) "La meteorización y el desprendimiento son la pérdida de la superficie del pavimento debida a la pérdida del ligante asfáltico y de las partículas sueltas de agregado. Este daño indica que, o bien el ligante asfáltico se ha endurecido de forma apreciable, o que la mezcla presente es de pobre calidad. Además, el desprendimiento puede ser causado por ciertos tipos de tránsito, por ejemplo, vehículos de orugas. El ablandamiento de la superficie y la pérdida de los agregados debidos al derramamiento de

aceites también se consideran como desprendimiento. Niveles de severidad:

L: Han comenzado a perderse los agregados o el ligante. En algunas áreas la superficie ha comenzado a deprimirse. En el caso de derramamiento de aceite, puede verse la mancha del mismo, pero la superficie es dura y no puede penetrarse con una moneda.

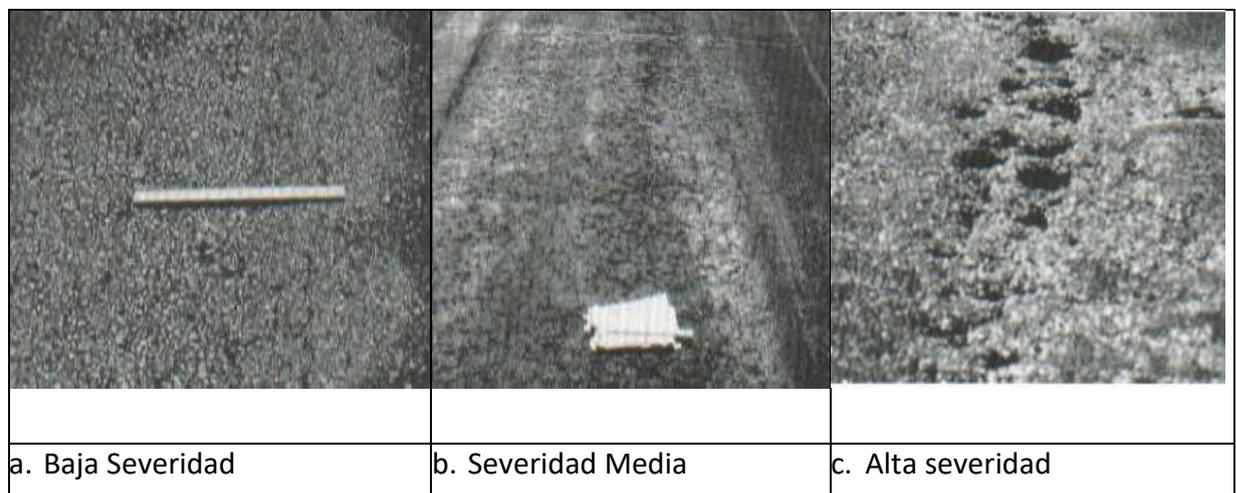
M: Se han perdido los agregados o el ligante. La textura superficial es moderadamente rugosa y ahuecada. En el caso de derramamiento de aceite, la superficie es suave y puede penetrarse con una moneda.

H: Se han perdido de forma considerable los agregados o el ligante. La textura superficial es muy rugosa y severamente ahuecada. Las áreas ahuecadas tienen diámetros menores que 10.0 mm y profundidades menores que 13.0 mm; áreas ahuecadas mayores se consideran huecos. En el caso de derramamiento de aceite, el ligante asfáltico ha perdido su efecto ligante y el agregado está suelto.

Unidad de medida:

La meteorización y el desprendimiento se mide en "pies cuadrados (o metros cuadrados)".

(pág. 43)



**Figura 30 Meteorización / desprendimiento de agregados nivel de severidad (a) baja, (b) media, (c) alta**  
Fuente: *Pavement Condition Index (PCI)*, (2002).

Según afirma el autor que la meteorización o desprendimiento de agregados se generan por la transitabilidad de los vehículos, este tipo de falla se debe también a que el ligante asfáltico se ha endurecido o la mezcla de los agregados es de mala calidad o por algún

derrame de aceites que se generen como desprendimiento. Los niveles de severidad se miden en (L) leve, (M) medio y (H) alto, la unidad de medida de este tipo de falla es por metros cuadrados.

### 2.2.9. Polvo de Fibra de Vidrio

#### Porcentaje óptimo de polvo de fibra de vidrio.

El polvo de fibra de vidrio es considerado como un material reciclado fino con alto porcentaje de sílice, como lo es el cemento. Por lo tanto, la norma NTP 339.134:1999 define que la estabilización con cemento debe estar entre rangos de 2% a 12% en peso seco de la muestra.

#### Polvo de fibra de vidrio como agente estabilizante.

La fibra de vidrio proviene del reciclaje de botellas, empaques medicamentos, equipos de protección individual, vidrios laminados fabricados en sectores industriales y de construcción. El reciclaje de estos materiales, se da mediante la trituración y molienda del mismo en plantas de reciclaje y tratamientos de los mismos. Las formas de tratamiento son en fibras y polvo fino (Zomberg, 2017).

#### Composición de polvo de fibra de vidrio.

Los materiales que conforman a este tipo de residuos son de tipo sílice, polímeros y óxidos, los cuales aportan propiedades mecánicas de rigidez y resistencia. La composición por material en porcentajes se presenta en la figura.



Figura 31 Reacciones químicas entre Componentes de arcilla - Polvo de residuos electrónicos  
Elaboración propia.

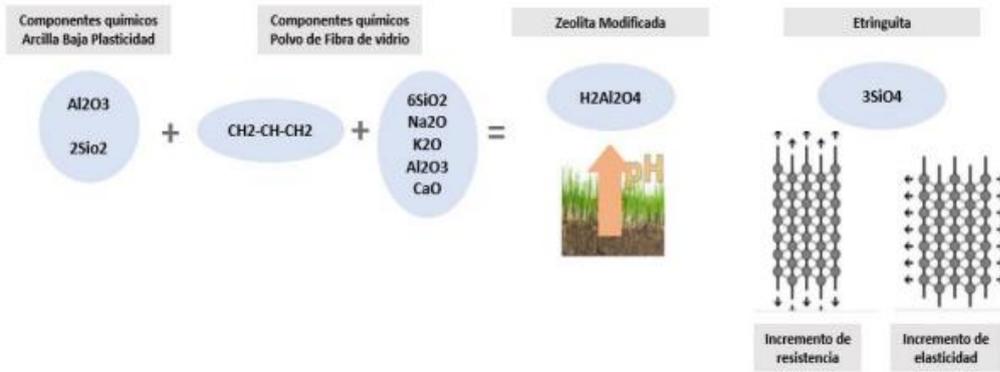
#### Propiedades mecánicas del polvo de fibra de vidrio reciclado.

Las propiedades que posee el Polvo de fibra de vidrio reciclado están relacionadas al incremento de resistencia, y cohesión entre partículas en suelos arcillosos. Asimismo, brindan mayor elasticidad, resistencia a tracción, compresión, flexión, y elevada resistencia al corte.

El desarrollo de las propiedades mencionadas anteriormente ocurre durante procesos químicos entre suelo y agente estabilizante. Los componentes de la arcilla, como la Alúmina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) constituida de partículas de sílice y Silicato de Aluminio (2SiO<sub>2</sub>) reaccionan con los

componentes del polvo de fibra de vidrio, tales como Polímeros (CH<sub>2</sub>-CH-CH<sub>2</sub>) y Vidrio compuesto de Oxido de Silicio (SiO<sub>2</sub>), Carbonato de Sodio (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>), Carbonato de Calcio (CaCO<sub>3</sub>), formando compuestos que incrementan las propiedades de cohesión, resistencia y elasticidad.

La reacción química producida se obtiene la Zeolita Modificada que permite incrementar los valores de pH, lo que hace menos ácido el suelo y permite que la cohesión se desarrolle. Asimismo, se obtiene la Etringita, la cual aporta valor mecánico sobre el suelo, ya que incrementa la resistencia ante estiramiento longitudinal provocado por corte e incrementa la elasticidad ante el estiramiento transversal. La figura 8 muestra el proceso de reacción de suelo y material estabilizante y obtención de compuestos estabilizados del suelo.



*Figura 32 Reacciones químicas entre Componentes de arcilla - Polvo de fibra de vidrio  
Elaboración propia.*

**Acción de polvo de fibra de vidrio como materiales estabilizantes de suelos.**

Las propiedades físicas y mecánicas del agente estabilizante brindan al suelo arcilloso son el incremento a la compresión y tracción, lo cual permite reducir la ocurrencia de agrietamientos y fallas sobre la capa de subrasante. La tabla 5 muestra los valores de propiedades mecánicas del polvo de fibra de vidrio reciclado por cm<sup>2</sup> de suelo arcilloso. El polvo de fibra de vidrio molido sigue un proceso de fabricación según la normal ASTM D578-99, inciso 4.2.2.

Propiedades mecánicas	Unidad	Valor
Peso específico	g/cm <sup>3</sup>	2.9
Resistencia a la compresión	Mpa	1080
Resistencia a la tracción	Mpa	69
Dureza	-	7

*Nota: En la tabla se indica valores de propiedades mecánicas de resistencia a la compresión, tracción y dureza del Polvo de fibra de vidrio reciclado ante carga permanente y momentánea en kg/cm<sup>2</sup>. Adaptado de Effect*

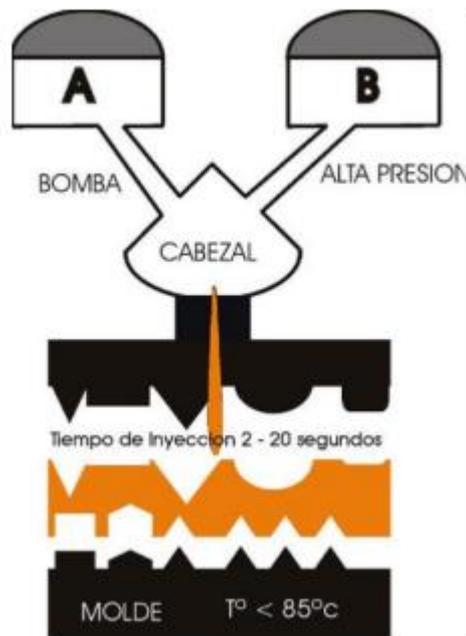
*of Glass Powder on Engineering Properties of Clayey Soil, por Jinu, Jolly, Mariya, 2017.*

**Procedimiento para la obtención de polvo de fibra de vidrio molido.**

Los procedimientos para la obtención de fibra de vidrio reciclada se realizan mediante medios mecánicos y de termofusión. Este material es reciclable en un 100% debido a que durante los procesos mecánicos y de fusión no se produce pérdida de material, con cada tonelada de fragmentos de vidrio limpio se obtiene otra tonelada de fibra de vidrio nuevo (Camelo, 2017).

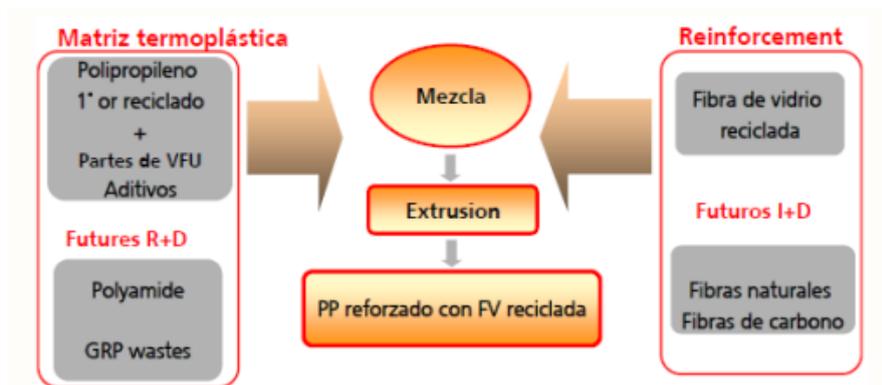
Para realizar este proceso se utilizan diferentes equipos, como el uso de la Máquina de los ángeles, la cual ejerce presión sobre el vidrio, el cual se tritura. Posteriormente, el material granulado obtenido se tamiza entre las mallas N°40 y N°200 o 5/8" con el fin de obtener una granulometría fina (García & Morales, 2018).

Por un lado, la fibra de vidrio se obtiene mediante una alta densidad a partir de la molienda de fibras cortas, bajo un sistema de resinas en seco como húmeda. Para mejorar su dispersión en productos floculares pueden requerirse la ejecución de sistemas RTM y RIM. Ambos sistemas inyectan a un molde con presión alta y a una temperatura de 85°C en Tanques resistente a alta presión y preparados para recibir procesos de extrusión. Por otro lado, los resultados obtenidos pueden variar en función al control de tiempo ejercido durante la presión impartida



*Figura 33 Sistemas de producción de polvo de fibra de vidrio, por Tecnología de plásticos, 2015*

Asimismo, para incrementar la viscosidad y la resistencia de este material durante su obtención, se añaden reactivos líquidos o partículas de polímeros (polipropileno, poliurias, poliisocianuratos, poliesters, poli epóxidos, nylon). Los polímeros PDCPD tienen una alta rigidez, excelente resistencia al impacto, así como un buen aspecto superficial y resistencia a la corrosión lo que lo hace ideal para una amplia gama de aplicaciones. Mediante el uso de catalizadores se hace posible controlar el punto de inicio de reacción. La figura 10 muestra el proceso de obtención del polvo de fibra de vidrio reciclado.



**Figura 34** Procedimientos de mezcla de fibra de vidrio reciclada y aditivos de resistencia, por Befesa plásticos, 2015

El proceso de molienda incluye procedimientos de refinamiento y adición de aditivos los cuales se ejecutan en una planta compuesta por contenedores, silos y calderas que permiten la obtención de polvo de fibra de vidrio. La energía provista para la producción de Polvo de fibra de vidrio es de 17 GJoules por tonelada producida.

Las características del producto obtenido luego de su tratamiento y disposición final se presentan en la siguiente tabla.

Descripción del Producto	Tipo de Sizing	Diámetro promedio del Filamento	Densidad Nominal	Apariencia
731 DA 1/8"	Cationico	15.8 micrómetros	0.190 g/cm <sup>3</sup>	Flocular
731 DA 1/16"	Cationico	15.8 micrómetros	0.375 g/cm <sup>3</sup>	Flocular
737 BD 1/16"	Silano	15.8 micrómetros	0.620 g/cm <sup>3</sup>	En Polvo

**Figura 35** indica valores de diámetros de partículas y densidad nominal

*Nota:* En la tabla se indica valores de diámetros de partículas y densidad nominal por tipo de fibra de vidrio producida en horno. Adaptado de Manual de Tratamiento de Fibra de vidrio, por Befesa Plásticos, 2015.

**Empresas recicladoras de polvo de fibra de vidrio reciclado.**

Según información del Plan de Ambiente en Acción promovido por el Ministerio del Ambiente (2017) en el Perú solo existen 30 Plantas tratadoras de residuos de vidrio ubicadas en los departamentos de Callao, Piura, Arequipa, La libertad y Cusco. Las plantas

reciclan y tratan en su gran mayoría vidrios provenientes de actividades de construcción de tanques y recipientes industriales, acabado de pavimentos asfálticos, revestimiento de elementos de plástico, entre otros productos usados en actividades de construcción, industriales y de minería.

#### Metodología de Diseño AASHTO 1993.

La metodología AASHTO 1993, es una guía para el diseño estructural de pavimentos, que tiene como objetivo determinar el espesor de capas granulares y capas de rodadura capaces de soportar solicitaciones de tránsito vehicular. La ecuación 2 muestra el cálculo del número estructural "SN".

$$\log_{10}(W_{18}) = Z_R \times S_0 + 9.36 \times \log_{10}(SN + 1) - 0.20 + \frac{\log_{10}(\Delta PSI)}{0.40 + \frac{1094}{(SN+1)^{5.19}}} + 2.32 \times \log_{10}(M_R) - 8.07$$

Ecuación 2: Ecuación Empírica para determinar el número estructural, por AASHTO, 1993.

Figura 36 ecuación empírica para determinar el número estructural

Donde:

*SN*: Número estructural

*W18*: Número de ejes equivalentes.

*Zr*: Desviación estándar normal

*S0*: Error de combinación estándar

*Pi*: Serviciabilidad inicial de la vía

A continuación, se describen cada una de las variables mencionadas:

- **Número de Ejes Equivalentes (W18)**: Es un valor predictivo del peso por cada aplicación axial de vehículos que circulan por la vía. La predicción se realiza en función de información de IMDA y periodo de diseño de pavimento. El valor obtenido de la predicción se basa en repeticiones de carga de 8.2 Tn por volumen de tránsito de carril de diseño. Este factor se llama ESAL (Equivalent Axial Load Factor) por sus siglas en inglés.
- **Confiabilidad (%R)**: Representa la probabilidad que una determinada estructura se comporte de acuerdo con lo previsto durante su periodo de diseño. Los valores se obtienen a partir del tráfico de diseño de la vía los cuales se observan.

**CONFIABILIDAD DE LA VÍA EN FUNCIÓN DEL TRÁFICO IMPUESTO**

CATEGORÍA	RANGO DE L TRÁFICO PESADO EXPRESADO EN EJES EQUIVALENTES		TIPO DE TRÁFICO EXPRESADO EN EE	R%	
BAJO VOLUMEN DE TRÁNSITO	150,001	300,000	TP1	70.00	
	300,001	500,000	TP2	75.00	
	500,001	750,000	TP3	80.00	
	750,001	1,000,000	TP4	80.00	
ALTO VOLUMEN DE TRÁFICO	1,000,001	1,500,000	TP5	85.00	
	<b>1,500,001</b>	<b>3,000,000</b>	<b>TP6</b>	<b>85.00</b>	Tr= 10 años
	3,000,001	5,000,000	TP7	85.00	
	<b>5,000,001</b>	<b>7,500,000</b>	<b>TP8</b>	<b>90.00</b>	Tr= 20 años
	7,500,001	10,000,000	TP9	90.00	
	10,000,001	12,500,000	TP10	90.00	
	12,500,001	15,000,000	TP11	90.00	
	15,000,001	20,000,000	TP12	95.00	
	20,000,001	25,000,000	TP13	95.00	
	25,000,001	30,000,000	TP14	95.00	
		> 30,000,000	TP15	95.00	

*Nota:* En la tabla se indican valores de confiabilidad de diseño en función de Ejes equivalentes. Adaptado de MTC, Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos. (2014).

*Figura 37 confiabilidad de la vía en función de tráfico impuesto*

▪ **Desviación estándar normal (Zr):** Representa la variabilidad esperada de la predicción del tránsito y de factores ambientales y de construcción que afectan el comportamiento del pavimento. La guía AASHTO recomienda adoptar valores entre 0.40 y 0.50 o un promedio de 0.45. Los valores se observan.

DESVIACIÓN ESTÁNAR NORMAL Y ERROR DE COMBINACIÓN ESTÁNDAR			
CONFIABILIDAD R (%)	(ZR)	(S0)	
50	0	0.35	
60	-0.253	0.35	
70	-0.524	0.34	
75	-0.647	0.34	
80	-0.841	0.32	
<b>85</b>	<b>-1.037</b>	<b>0.32</b>	Tr= 10 años
<b>90</b>	<b>-1.282</b>	<b>0.31</b>	Tr= 20 años

*Figura 38 desviación estándar normal y error de combinación estándar*

▪ **Error de combinación estándar:** Valor significativo que indica la variabilidad de la predicción durante el diseño.

▪ **Serviciabilidad inicial de la vía (Pi):** Refleja la comodidad de circulación ofrecida al usuario, varía de 0 a 5, donde 5 refleja una comodidad teórica muy buena y 0 la peor

condición. Esto se observa.

### COEFICIENTES DE DRENAJE EN FUNCIÓN AL PORCENTAJE DE EXPOSICIÓN DE LA VÍA

Calidad de Drenaje	Porcentaje de tiempo anual en que la estructura del pavimento está expuesta a niveles cercanos a saturación							
	Desde	Hasta	Desde	Hasta	Desde	Hasta	Desde	Hasta
	0%	1%	1%	5%	5%	25%	25%	Más
Excelente	1.4	1.35	1.35	1.3	1.3	1.2	1.2	1.2
Bueno	1.35	1.25	1.25	1.15	1.15	1	1	1
Regular	1.25	1.15	1.15	1.05	1	0.8	0.8	0.8
Pobre	1.15	1.05	1.05	0.8	0.8	0.6	0.6	0.6
Malo	1.05	0.95	0.95	0.75	0.75	0.4	0.4	0.4

*Nota:* En la tabla se indican valores de coeficientes de drenaje para condiciones de saturación entre 5% y 25% expuestas de la vía. Adaptado de Diseño Mecánico Empírico- AASHTO (2008).

*Figura 39* coeficiencia de drenaje en función al porcentaje exposición de la vi

- **Serviciabilidad final (Pt):** Es la condición de una vía que requiere de algún tipo de rehabilitación. Los valores se observan en la siguiente figura.

### COEFICIENTES DE DRENAJE EN FUNCIÓN AL PORCENTAJE DE EXPOSICIÓN DE LA VÍA

Calidad de Drenaje	Porcentaje de tiempo anual en que la estructura del pavimento está expuesta a niveles cercanos a saturación							
	Desde	Hasta	Desde	Hasta	Desde	Hasta	Desde	Hasta
	0%	1%	1%	5%	5%	25%	25%	Más
Excelente	1.4	1.35	1.35	1.3	1.3	1.2	1.2	1.2
Bueno	1.35	1.25	1.25	1.15	1.15	1	1	1
Regular	1.25	1.15	1.15	1.05	1	0.8	0.8	0.8
Pobre	1.15	1.05	1.05	0.8	0.8	0.6	0.6	0.6
Malo	1.05	0.95	0.95	0.75	0.75	0.4	0.4	0.4

*Nota:* En la tabla se indican valores de coeficientes de drenaje para condiciones de saturación entre 5% y 25% expuestas de la vía. Adaptado de Diseño Mecánico Empírico- AASHTO (2008).

*Figura 40* porcentaje de tiempo en que la estructura de pavimento está expuesto a niveles cercanos a saturación

- Variación de serviciabilidad ( $\Delta$ PSI): Diferencia entre la serviciabilidad inicial y terminal asumida para el proyecto en desarrollo.
- **Módulo resiliente de la subrasante (Mr.):** Capacidad portante del terreno de fundación

según el tipo de CBR que posee. Los valores se observan en la siguiente figura.

### CONSIDERACIONES DE ESPESORES MÍNIMOS

Tráfico, ESAL'S	Carpeta asfáltica (pul)	Base granular (pul)
menos de 50.000	1,0 (o tratamiento superficial)	4
50.000 - 150.000	2	4
150.001-500.000	2,5	4
500.001-2.000.000	3	6
2.000.001-7.000.000	3,5	6
más de 7.000.000	4	6

*Nota:* En la tabla se indican valores de espesores en pulgadas para cada capa del pavimento. Adaptado de Diseño Empírico- AASHTO (1993)

**Figura 41** consideraciones de espesores mínimos

▪ **Número estructural (SN):** Representa un valor numérico de la capacidad del pavimento en conjunto y permite determinar el conjunto de espesores de capas de la estructura del pavimento.

$$SN = a_1 D_1 + a_2 D_2 m_2 + a_3 D_3 m_3$$

*Ecuación 3:* Número estructural del pavimento, por AASHTO, 1993.



*Donde:*

*a1, a2, a3:* Coeficientes estructurales de la carpeta asfáltica, base y subbase

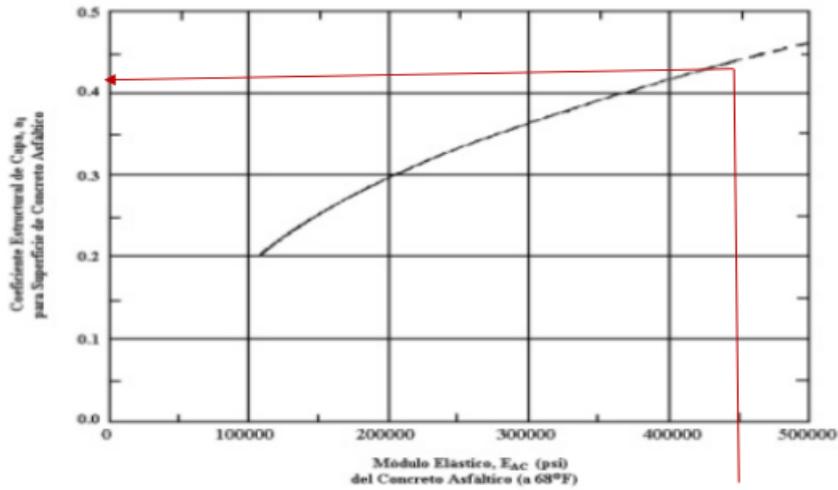
*D1, D2, D3:* Números estructurales de la carpeta asfáltica, base y subbase

*m2, m3:* Coeficientes de drenaje para capas de base y subbase

**Figura 42** ecuación número estructural de pavimento por AASHTO

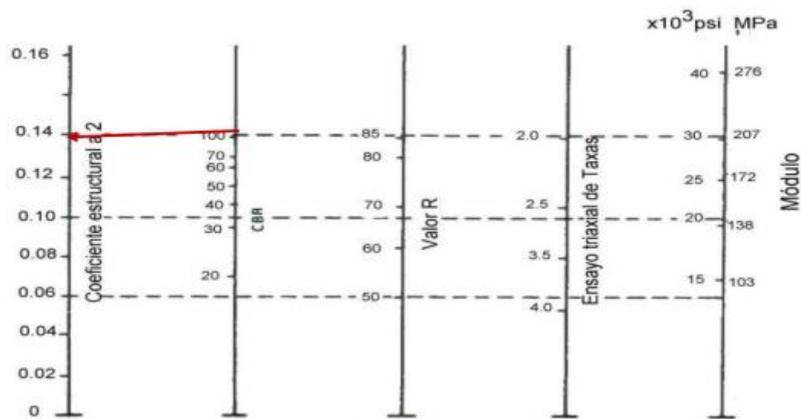
Por otro lado, para el cálculo de número estructurales de cada capa se utilizan las siguientes fórmulas. Asimismo, los coeficientes de drenaje de capas granulares se obtienen a partir del uso de nomogramas evidenciados en siguientes tablas.

**TABLA PARA DETERMINAR EL COEFICIENTE ESTRUCTURAL DE CARPETA ASPÁLTICA**



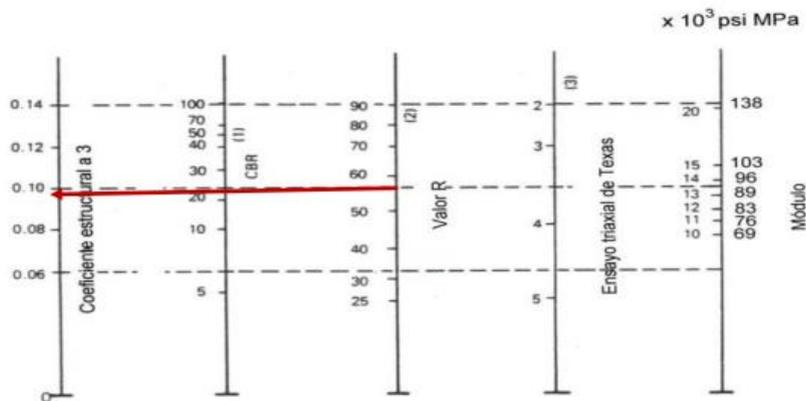
Fuente: Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos, 2018.

**TABLA PARA DETERMINAR EL COEFICIENTE ESTRUCTURAL DE BASE**



Fuente: Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos, 2018.

**TABLA PARA DETERMINAR EL COEFICIENTE ESTRUCTURAL DE SUB - BASE**



Fuente: Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos, 2018.

▪ **Cálculo del espesor de Carpeta asfáltica**

$$D1 = \frac{SN1}{a1}$$

$$SN1 = a1 * D1$$

*Ecuación 4:* Valores de espesor y numero estructural de carpeta asfáltica, por AASHTO, 1993.

▪ **Cálculo del espesor de la Base**

$$D2 = \frac{SN2 - SN1}{a2 * m2}$$

$$SN2 = D2 * a2 * m2$$

*Ecuación 5:* Valores de espesor y número estructural de base, por AASHTO, 1993.

▪ **Cálculo del espesor de la Sub base**

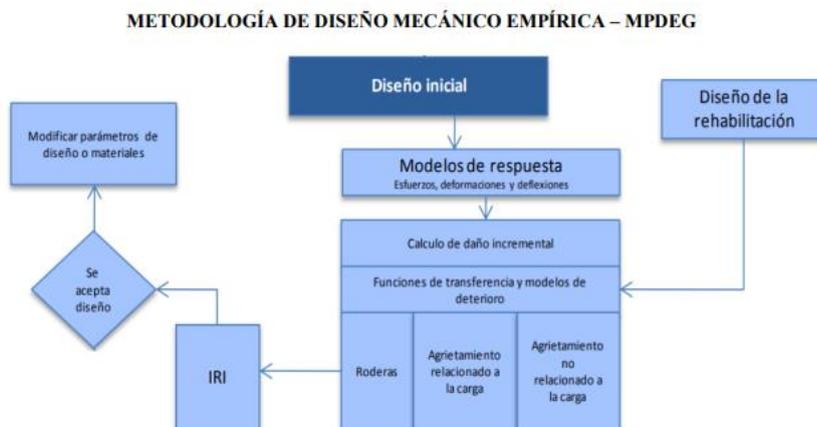
$$D3 = \frac{SN3 - SN2}{a3 * m3}$$

$$SN3 = D3 * a3 * m3$$

*Ecuación 6:* Valores de espesor y número estructural de subbase, por AASHTO, 1993.

**Metodología de Diseño AASHTO 2008.**

Es la metodología más actualizada para el diseño de pavimentos basada en principios Mecánicos y Empíricos mediante el uso de modelos matemáticos y de regresión determinar tensiones, deformaciones y desplazamientos de la estructura del pavimento. Asimismo, considera diferentes escenarios de suelo, tráfico y clima, parámetros que correlaciona para predecir el daño que sufre la estructura del pavimento bajo en un periodo de tiempo. El procedimiento de análisis de la Guía Mecánico Empírica mencionado, se muestra en la siguiente figura.



*Fuente:* AASHTO, 2008.

• **Indicadores de desempeño predictivo**

Los indicadores de desempeño están relacionados a predecir deformaciones y agrietamientos en capas del pavimento según las características atribuibles a las condiciones ambientales. A continuación, se detallan consideraciones para cada indicador.

- Deformaciones en capas: Representan depresiones longitudinales resultantes de la deformación plástica o permanente en cada capa del pavimento.
- Agrietamiento: Los tipos de agrietamiento proyectado son de tipo piel de cocodrilo producido por falla de fatiga y longitudinal producido por una falla de ahuellamiento.
- Materiales: Considera simulaciones del módulo de reacción del suelo en las diferentes capas, bajo el valor de CBR.
- Clima: Considera el valor de temperatura de la carpeta asfáltica y condiciones de precipitaciones.
- Tránsito: Considera valores de Ejes Equivalentes y periodo de diseño de la vía, generando espectros de carga.

- **Análisis de predicción de la falla.**

La forma en la que predice estos deterioros es mediante el enfoque de acumulación de daño en función del tiempo, tránsito y condiciones ambientales de suelo y clima. Los modelos de deterioro de la guía fueron calibrados basándose en los tramos de prueba del LTPP (AASHTO 2002).

### **2.3. Definición de términos básicos**

- a. Pavimento Flexible: “La estructura de pavimento del tipo flexible pueden ser definidas como estructuras viales conformadas por una capa asfáltica apoyada sobre capas de menor rigidez, compuestas por materiales granulares no tratados o ligados (base, sub base, afirmado y en algunos casos sub rasante mejorada o material de conformación”. Rondón Quintana & Reyes Lizcano, (2015).
- b. Capa de rodamiento: “La que se coloca sobre la base y que está formada por una mezcla bituminosa. Su función es primordial es proteger la base impermeabilizando la superficie, para evitar así posibles infiltraciones del agua de lluvia que podría saturar parcial o totalmente las capas inferiores”. Rondón Quintana & Reyes Lizcano, (2015).
- c. Base granular: “La base granular es la capa de la estructura de pavimento que por lo general subyace a la carpeta asfáltica en un pavimento flexible, a la losa de concreto en uno de tipo rígido y a la capa estabilizada con cementante hidráulico en uno

- semirrígido”. Rondón Quintana & Reyes Lizcano, (2015).
- d. Sub base granular: “La sub base granular es la capa de la estructura de pavimento que subyace a la base granular, compuesta por materiales granulares no tratados colocadas generalmente sobre la sub rasante, la sub rasante mejorada, el afirmado o el terraplén”. Rondón Quintana & Reyes Lizcano, (2015).
  - e. Suelos estabilizados: “Son suelos pobres o inadecuados de baja estabilidad a los cuales es necesario adicionales un estabilizador comocal, cemento o un aditivo químico o iónico”. Manual de Carreteras: “Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos”, (2015).
  - f. Granulometría: “El análisis granulométrico de un suelo tiene por finalidad determinar la proporción de sus diferentes elementos constituyentes, clasificados en función de su tamaño”. Manual de Carreteras: “Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos”, (2015).
  - g. La plasticidad: “Es la propiedad de estabilidad que representa los suelos hasta cierto límite de humedad sin disgregarse, por tanto la plasticidad de un suelo depende, no de los elementos gruesos que contiene, sino únicamente de sus elementos finos”. Manual de Carreteras: “Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos”, (2015).
  - h. Limite Liquido (LL): “Cuando el suelo pasa del estado semilíquido a un estado plástico y puede moldearse”. Manual de Carreteras: “Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos”, (2015)
  - i. Limite Plástico (LP): “Cuando el suelo pasa de un estado plástico a un estado semisólido y se rompe” Manual de Carreteras: “Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos”, (2015).
  - j. PCI: Índice de Condición del pavimento. Rondón Quintana & Reyes Lizcano, (2015).
  - k. IMDA: “Índice Medio Diario Anual”. Manual de Carreteras: Diseño Geométrico , (2018)

### III. MÉTODOS Y MATERIALES

#### 3.1. Hipótesis de la investigación

##### 3.1.1. Hipótesis general

Análisis del mejoramiento del pavimento flexible aplicando polvo de fibra de vidrio para estabilizar los suelos en la carretera Tanto mayo – Carpa (KM. 00+000 AL 24+487), Departamento De Huánuco, 2023..

##### 3.1.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS

**H1.** Análisis de la transitabilidad de los vehículos, en el mejoramiento del pavimento flexible aplicando fibra de vidrio para estabilizar suelos, en la carretera Tanto mayo – Carpa (KM. 00+000 AL 24+487), Departamento De Huánuco, 2023

**H2.** Evaluación del índice de condición del pavimento flexible si influye en la carretera Tanto mayo – Carpa (KM. 00+000 AL 24+487), Departamento De Huánuco, 2023...

#### 3.2. Variables de estudio

##### 3.2.1. Definición conceptual Variable independiente

###### A) PAVIMENTOS FLEXIBLES

Según rondón, h. Y reyes, f. (2015) “la estructura de pavimento del tipo flexible puede ser definidas como estructuras viales conformadas por una capa asfáltica apoyada sobre capas de menor rigidez, compuestas por materiales granulares no tratados o ligados (base, sub base, afirmado y en algunos casos sub rasantes mejorada o material de conformación), que a su vez se soportan sobre el terreno natural o sub rasante”.

Variable dependiente:

###### B) Fibra de vidrio

• **Definición conceptual:** según Muñoz (2007) la fibra de vidrio es un material compuesto consistente en fibras continuas o discontinuas de vidrio embebidas en una matriz plástica, este compuesto es utilizado y producido en gran cantidad por las siguientes propiedades (p. 29):

- es fácilmente helable en fibras de alta resistencia.

- es fácilmente disponible y se puede aplicar económicamente para producir plástico reforzado con vidrio utilizando una gran variedad de técnicas de fabricación de materiales compuestos.

- cuando está embebida en una matriz plástica produce un compuesto con muy alta RESISTENCIA ESPECÍFICA.

- cuando está unida a varios plásticos se obtienen materiales compuestos químicamente inertes muy útiles en una gran variedad de ambientes corrosivos.

### 3.2.2. Operacionalización de Variables

**Tabla 1**  
**Operacionalización de variable**

Matriz de operacionalización de variables

MEJORAMIENTO DEL PAVIMENTO FLEXIBLE MEDIANTE LA APLICACION DE POLVO DE FIBRA DE VIDRIO SOBRE SUBRASANTE DE LA CARRETERA TANTA MAYO – CARPA (KM. 00+000 AL 24+487), DEPARTAMENTO DE HUANUCO, 2023.

VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA DE MEDICION
VI: PAVIMENTO FLEXIBLE	ESTUDIO DE SUELOS	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Contenido de Humedad.</li> <li>•Análisis Granulométrico.</li> <li>•Límite Líquido.</li> <li>•Límite Plástico.</li> <li>•Análisis Granulométrico.</li> <li>•Compactación.</li> <li>•CBR.</li> </ul>	ORDINAL
	ESTUDIO DE TRAFICO	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Período de Diseño.</li> <li>•Tráfico de Diseño.</li> </ul>	ORDINAL
	PCI	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Unidades de Muestreo.</li> <li>•Tipos de Fallas.</li> </ul>	ORDINAL
VD: POLVO DE FIBRA DE VIDRIO	ESTABILIDAD DE SUELOS	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Compactación.</li> <li>•Densidad.</li> </ul>	ORDINAL
	IMPERMEABILIDAD	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Volumen del Suelo.</li> <li>•Vacío de Suelos Saturados.</li> </ul>	ORDINAL
	CAPACIDAD DE SOPORTE (CBR)	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Humedad de Compactación.</li> <li>•Expansión.</li> <li>•Valor de relación de Soporte.</li> </ul>	ORDINAL

Fuente: Elaboración propia del autor

### **3.3. Diseño de la investigación**

#### **3.3.1. Tipo y nivel de la investigación**

Tal como lo afirma Hernández (2010), quien refiere que la investigación se puede clasificar de diversas maneras pudiendo ser experimental o no experimental. Para la presente investigación de estudio es del tipo no experimental porque las variables no han sido manipuladas intencionalmente por el investigador, siendo de corte transversal porque se realizó la recolección de datos en un tiempo determinado con la intención de estudiar las variables y analizar su incidencia en los procesos; del nivel explicativo porque sirve para analizar y explicar el comportamiento de una variable en función de otra..” (p. 14).

#### **3.3.2. Investigación tecnológica**

Según Borja Suarez (2012), nos dice “que tiene como objetivo la solución de problemas prácticos, lo cual implica la intervención o transformación de la propia realidad, que se manifiesta en el diseño de nuevos productos, nuevos procedimientos, nuevos métodos, etc.” (p. 11).

#### **3.3.3. Método de Investigación.**

Cuantitativo Según Borja Suarez (2012), sostiene que “una forma confiable para conocer la realidad es a través de la recolección y análisis de datos, con lo que se podría contestar las preguntas de la investigación y probar las hipótesis. Este tipo de investigación confía en la medición numérica, el conteo y frecuentemente en el uso de la estadística para establecer con exactitud padrones de comportamiento en una población.” (p. 11-12).

#### **3.3.4. Diseño de investigación**

Tal como lo afirma Borja Suarez (2012), sostiene que “Los diseños no experimentales se basan en la obtención de información sin manipular los valores de la variable, es decir tal y como se manifiestan las variables en la realidad.” (p. 29).

### **3.4. Población y muestra de estudio**

#### **3.4.1. Población**

Según Borja Suarez (2012), nos define “desde un punto de vista estadístico, se denomina población o universo al conjunto de elementos o sujetos que serán motivo de estudio. Si queremos estudiar, por ejemplo, el coeficiente de inteligencia de estudiante universitario en el Perú, el universo serán todos los estudiantes universitarios a nivel Nacional. Si quisiéramos estudiar los problemas estructurales será todas las viviendas ubicadas en esta ciudad.” (p.30)

Para la presente investigación la población, está conformado por 20 trabajadores (residentes de

obra, asistente de obra, ingenieros de producción, maestro de obra y capataces) del proyecto “MEJORAMIENTO DEL PAVIMENTO FLEXIBLE MEDIANTE LA APLICACION DE POLVO DE FIBRA DE VIDRIO SOBRE SUBRASANTE DE LA DE LA CARRETERA TANTAMAYO – CARPA (KM. 00+000 AL 24+487)”, el cual es una habilitación urbana, perteneciente a la provincia de Huánuco.

### **3.4.2. Muestra**

Como la población estaba comprendida por un bajo número de edificios de concreto armado, lo cual se traduce en accesibilidad para recabar la información, no estimo la necesidad de realizar ninguna técnica de muestreo.

Se tomará una muestra en la cual:  $M= O (x, y)$  Dónde:

M = Muestra del Estudio.

O = Constituye la mediación observación de la muestra del estudio.

X = Pavimento Flexible

Y = Polvo de Fibra de Vidrio.

Para esta investigación se tomará como muestra al proyecto “MEJORAMIENTO DEL PAVIMENTO FLEXIBLE MEDIANTE LA APLICACION DE POLVO DE FIBRA DE VIDRIO SOBRE SUBRASANTE DE LA DE LA CARRETERA TANTAMAYO – CARPA (KM. 00+000 AL 24+487)”, el cual es una habilitación urbana, perteneciente a la provincia de Huánuco.

Con el objetivo de proponer una gestión de proyectos a través de la implementación de la filosofía Lean en la construcción de la pavimentación rígida, se ha considerado el muestreo de tipo no probabilístico, intencional o dirigido, por lo tanto, la muestra es la misma población conformado por dos grupos intactos los cuales ya están definidos, conformado por 20 trabajadores...

### **3.4.3. Técnicas de recolección de datos**

Según Borja Hernández (2010), expone que “De acuerdo con nuestro problema de estudio e hipótesis [...], la siguiente etapa consiste en recolectar los datos pertinentes sobre las atribuciones, conceptos o variables de las unidades de análisis o casos” (p. 198).

### **3.4.4. Instrumentos de recolección de datos**

Para la presente investigación se utilizará el instrumento de ficha de observación Borja Suarez (2012), manifiesta que “para los proyectos de investigación en ingeniería, todos los datos observados se deben plasmar en formatos adecuados de recolección de información.” Para el estudio de investigación se utilizó como instrumento el cuestionario conformado por 20 ítem

distribuidas en sus variables y dimensiones, que se aplicara a la muestra indicada; instrumentos de recolección para la información de campo se utilizó las fichas de campo o formatos de control, cámara fotográfica, cronometro y análisis de documentos.

### 3.5. Validación y confiabilidad del instrumento

#### 3.5.1. Validez del Instrumento

*Tabla 2*  
*Validez del instrumento*

MGTR. ING. CHANG HEREDIA MIGUEL ANGEL	EXPERTO TEMÁTICO
MGTR. ING. CHRISTIAN OVALLE PAULINO	EXPERTO METODÓLOGO

Fuente: Elaboración propia del autor

- **MGTR. ING. CHANG HEREDIA MIGUEL ÁNGEL: NOS ORIENTÓ EN DAR FORMA AL TÍTULO DE LA TESIS, TAMBIÉN EN LA MATRIZ DE CONSISTENCIA ENTRELAZAR LOS PROBLEMAS ESPECÍFICOS, OBJETIVOS ESPECÍFICOS E HIPÓTESIS.**
- **MGTR. ING. CHRISTIAN OVALLE PAULINO: NOS ORIENTÓ EN EL CAPITULO I EN LA JUSTIFICACIÓN Y CAPITULO III EN EL DISEÑO LA INVESTIGACIÓN.**

### 3.6. Métodos de análisis de datos

Para el proceso analítico de los datos por las fichas de registro sobre los factores que limitan el oportuno diseño de una edificación en cimentaciones superficiales, las cuales se realizaron de acuerdo a la muestra, los resultados fueron tabulados en el programa Microsoft Office Excel 2013. Se realizará un análisis estadístico con el apoyo del software spss con el cual se realizará el procesamiento y análisis de datos para la evaluación de comportamientos de las medidas como son la media y la desviación estándar a por lo que permitió la contrastación de las hipótesis.

Se utilizo los siguientes estadígrafos.

- La estadística Descriptiva: Media, mediana, moda y media aritmética.
- Los análisis se realizaron con un nivel de significancia estadística del 95%.

### 3.7. Aspectos éticos

Como profesional, al elaborar esta investigación de mejoramiento, desarrollo y estabilidad, se espera una buena calidad de vida para la población y una buena transitabilidad de los vehículos de la zona, así mismo cabe resaltar que se cumplió las normas de ética para el fortalecimiento y organización profesionales de la carrera de Ingeniería Civil...

## IV. RESULTADOS

### 4.1. La Contrastación de la Hipótesis

#### **4.1.1. Método Estadístico para la Contrastación de la Hipótesis**

Para la validez del presente trabajo de investigación se realizó mediante la técnica estadística NO paramétricas de escala ordinal en este caso se utilizó la rho de Spearman para observar el grado de correlación entre la variable independiente gestión de proyectos y la variable dependiente productividad y así contrastar la Hipótesis general y las Hipótesis específicas

#### **4.1.2. La Contrastación de la Hipótesis General**

La hipótesis general se contrastará mediante la prueba estadística no paramétrica de escala Ordinal, por la prueba de rho de Spearman determinará que la gestión de proyectos incide en el mejoramiento del pavimento flexible mediante la aplicación de polvo de fibra de vidrio sobre subrasante de la de la carretera Tanto mayo – Carpa (Km. 00+000 Al 24+487), Departamento De Huánuco, 2023.

**Tabla 3**  
**Cuadro comparativo de las variables pavimento flexible y polvo de fibra de vidrio**

**Cuadro comparativo de las variables pavimento flexible y polvo de fibra de vidrio.**

N° de total	VARIABLE INDEPENDIENTE: PAVIMENTO FLEXIBLE															VARIABLE DEPENDIENTE: POLVO DE FIBRA DE VIDRIO														
	DIMENSIÓN 1: ESTUDIO DE SUELOS					DIMENSION 2: ESTUDIO DE TRAFICO					DIMENSION 3: PCI					DIMENSION 1: ESTABILIDAD DE SUELOS					DIMENSION 2: IMPERMEABILIDAD					DIMENSION 3: CAPACIDAD DE SOPORTE (CBR)				
	p1	p2	p3	p4	p5	p6	p7	p8	p9	p10	p11	p12	p13	p14	p15	p16	p17	p18	p19	p20	p21	p22	p23	p24	p25	p26	p27	p28	p29	p30
Totalmente en desacuerdo	2	1	1	2	1	4	0	4	2	4	0	2	2	4	3	3	0	3	2	3	3	0	1	2	2	3	7	1	0	3
desacuerdo	1	1	2	0	3	1	2	2	1	3	1	2	1	2	1	0	0	2	1	0	1	3	4	2	1	2	0	5	2	2
indiferente	0	4	2	6	2	4	7	4	2	1	4	4	2	5	1	2	0	1	0	4	3	5	3	0	5	4	2	1	2	5
de acuerdo	8	7	13	3	7	5	5	7	4	3	4	6	5	4	5	2	9	11	7	7	9	7	5	9	8	9	10	9	11	10
totalmente de acuerdo	9	7	2	9	7	6	6	3	11	9	11	6	10	5	10	13	11	3	10	6	4	5	7	7	4	2	1	4	5	0
total	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20

Fuente: Elaboración propia con Excel

## 4.2. Aplicación De La Estadística Inferencial De Las Variables

### 4.2.1. Normalización de la Influencia de las Variables 1 y 2.

A)  $H_0$ : "la variable independiente gestión de proyectos y la variable dependiente productividad se distribuyen en forma normal"

$H_1$ : "la variable independiente gestión de proyectos y la variable dependiente productividad no se distribuyen en forma normal"

B)  $N.S= 0.05$

*Tabla 4*  
*Pruebas de normalización*

	Kolmogórov-Smirnov		
	Estadístico	gl	Sig.
V1: PAVIMENTO FLEXIBLE	0,220	40	0,005
V2: POLVO DE FIBRA DE VIDRIO	0,185	40	0,004

*Fuente: Elaboración propia en SPSS*

C) se observa en la columna sig. Kolmogórov-Smirnov de todos son menores que 0.05, lo cual se rechaza la hipótesis nula.

D) concluimos que la variable independiente pavimento flexible y la variable polvo de fibra de vidrio no se distribuyen en forma normal. Por tanto, aplicaremos la prueba estadística no paramétrica de escala ordinal de rho de spearman.

### 4.2.2. El planteo de la hipótesis general

$H_0$ : "análisis del mejoramiento del pavimento flexible no influye aplicando polvo de fibra de vidrio para estabilizar los suelos en la carretera tanto mayo – carpa (km. 00+000 al 24+487), departamento de Huánuco, 2023".

$H_1$ : "análisis del mejoramiento del pavimento flexible si influye aplicando polvo de fibra de vidrio para estabilizar los suelos en la carretera tanto mayo – carpa (km. 00+000 al 24+487), departamento de Huánuco, 2023..."

A.  $N.s: 0.05$

B. La contrastación de la hipótesis:

Pruebas estadísticas no paramétricas de escala ordinal. Utilizaremos la prueba de rho de spearman.

**Tabla 5**  
**Correlaciones de hipótesis general**

**MATRIZ DE CORRELACIONES**

Matriz de Correlaciones			V1: PAVIMENTO FLEXIBLE	V2: POLVO DE FIBRA DE VIDRIO
Rho de Spearman	V1: PAVIMENTO FLEXIBLE	Coeficiente de correlación	1,000	0,895
		Sig. (bilateral)	.	0,017
		N	20	20
	V2: POLVO DE FIBRA DE VIDRIO	Coeficiente de correlación	0,895	1,000
		Sig. (bilateral)	0,017	.
		N	20	20

**Fuente: Elaboración propia en SPSS**

finalmente se observa que hay una marcada relación entre las variables gestión de proyectos y productividad del 89.5%

c. conclusión:

se puede concluir que, la gestión de proyectos si mejorara significativamente en el mejoramiento del pavimento flexible mediante la aplicación de polvo de fibra de vidrio sobre subrasante de la de la carretera tanto mayo – carpa (km. 00+000 al 24+487), departamento de huánuco,2023, a un nivel de significancia del 5% bilateral.

a) el planteo de las hipótesis especifica 1

ho: “análisis de la transitabilidad de los vehículos no influye en el mejoramiento del pavimento flexible aplicando fibra de vidrio para estabilizar suelos, en la carretera tanto mayo – carpa (km. 00+000 al 24+487), departamento de Huánuco, 2023...”

h1: “análisis de la transitabilidad de los vehículos si influye en el mejoramiento del pavimento flexible aplicando fibra de vidrio para estabilizar suelos, en la carretera tanto mayo – carpa (km. 00+000 al 24+487), departamento de Huánuco, 2023.”

a. n.s: 0.05

b. la contrastación de la hipótesis:

pruebas estadísticas no paramétricas de escala ordinal. utilizaremos la prueba de rho de spearman.

**Tabla 6**  
**Correlaciones de hipótesis general**

<b>Matriz de Correlaciones</b>			V1: PAVIMENTO FLEXIBLE	V2: POLVO DE FIBRA DE VIDRIO
Rho de Spearman	V1: PAVIMENTO FLEXIBLE	Coeficiente de correlación	1,000	0,895
		Sig. (bilateral)	.	0,017
		N	20	20
	V2: D1 ANALISIS DE TRANSITABILIDAD	Coeficiente de correlación	0,896	1,000
		Sig. (bilateral)	0,017	.
		N	20	20

**Fuente: Elaboración propia en SPSS**

finalmente se observa que hay una marcada relación entre pavimento flexible y análisis de transitabilidad del 89.6%

c. conclusión:

se puede concluir que, la gestión de proyectos si mejorara significativamente en el mejoramiento del pavimento flexible mediante la aplicación de polvo de fibra de vidrio sobre subrasante de la de la carretera tanto mayo – carpa (km. 00+000 al 24+487), departamento de huánuco,2023, a un nivel de significancia del 5% bilateral.

a) el planteo de las hipótesis especifica 2

ho: “evaluación del índice de condición del pavimento flexible no influye en la carretera tanto mayo – carpa (km. 00+000 al 24+487), departamento de Huánuco, 2023.

h1: “evaluación del índice de condición del pavimento flexible no influye en la carretera tanto mayo – carpa (km. 00+000 al 24+487), departamento de Huánuco, 2023..”

a. n.s: 0.05

b. la contrastación de la hipótesis:

pruebas estadísticas no paramétricas de escala ordinal. utilizaremos la prueba de rho de spearman.

**Tabla 7**  
**Correlaciones de Hipótesis Específica 2**

MATRIZ DE CORRELACIONES			V1: PAVIMENTO FLEXIBLE	V2: INCIDENCIA DE CONDICION
RHO DE SPEARMAN	V1: PAVIMENTO FLEXIBLE	COEFICIENTE DE CORRELACIÓN	1,000	0,875
		SIG. (BILATERAL)	.	0,017
		N	20	20
	V2: D2: INCIDENCIA DE CONDICION	COEFICIENTE DE CORRELACIÓN	0,875	1,000
		SIG. (BILATERAL)	0,017	.
		N	20	20

**FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA EN SPSS**

finalmente se observa que hay una marcada relación entre las variables pavimento flexible e incidencia de condición del 87.5%

c. conclusión:

se puede concluir que, la gestión de proyectos si mejorara significativamente en el mejoramiento del pavimento flexible mediante la aplicación de polvo de fibra de vidrio sobre subrasante de la de la carretera tanto mayo – carpa (km. 00+000 al 24+487), departamento de huánuco,2023, a un nivel de significancia del 5% bilateral.

#### 4.3. Aplicación de la estadística descriptiva de las variables

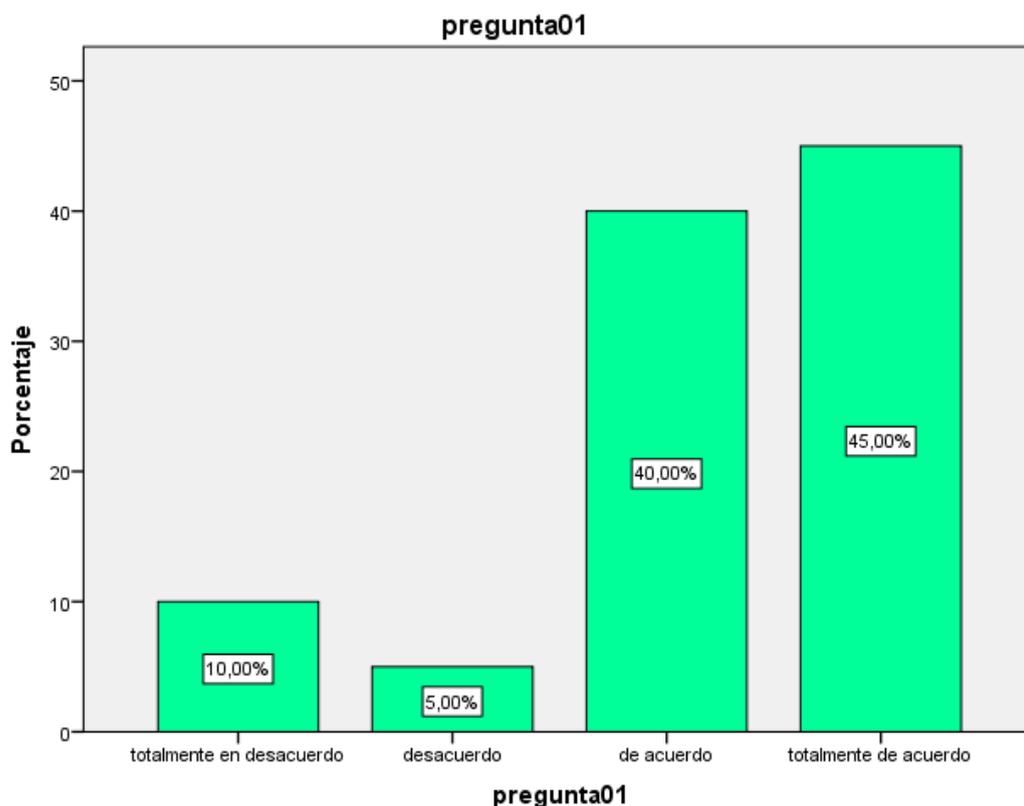
##### 4.3.1. Variable independiente: pavimento flexible.

**Tabla 8**  
**determinar un óptimo control en los recursos, mano de obra y maquinaria en obras de pavimentación es importante para aumentar la productividad? y el 5% dijeron desacuerdo**

pregunta01					
		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	totalmente en desacuerdo	2	10,0	10,0	10,0
	desacuerdo	1	5,0	5,0	15,0
	de acuerdo	8	40,0	40,0	55,0
	totalmente de acuerdo	9	45,0	45,0	100,0
	Total	20	100,0	100,0	

*Tabla 1: Pregunta 01*

**Fuente: Elaboración propia de autor**



*Figura 43 determinar un óptimo control en los recursos, mano de obra y maquinaria en obras de pavimentación es importante para aumentar la productividad? y el 5% dijeron desacuerdo*

*Fuente: Elaboración propia de autor*

**INTERPRETACION:**

De los 20 encuestados el 45% dijeron totalmente de acuerdo sobre la pregunta: ¿determinar un óptimo control en los recursos, mano de obra y maquinaria en obras de pavimentación es importante para aumentar la productividad? y el 5% dijeron desacuerdo.

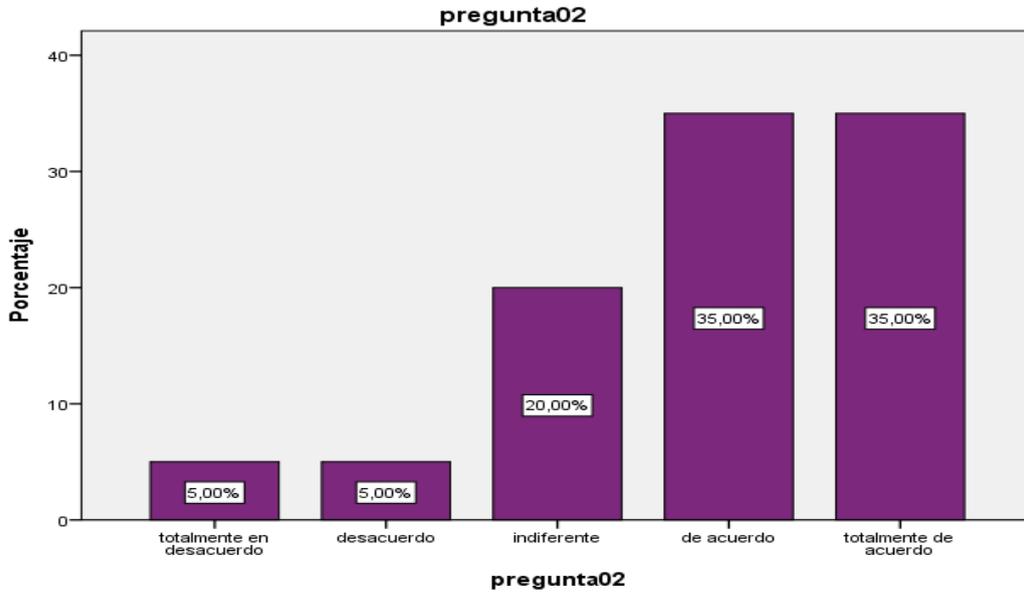
*Tabla 9*

*es importante establecer procesos eficientes y actividades que generen valor en la construcción de una pavimentación flexible? y el 5% dijeron totalmente en desacuerdo*

**pregunta02**

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	totalmente en desacuerdo	1	5,0	5,0	5,0
	desacuerdo	1	5,0	5,0	10,0
	indiferente	4	20,0	20,0	30,0
	de acuerdo	7	35,0	35,0	65,0
	totalmente de acuerdo	7	35,0	35,0	100,0
	Total	20	100,0	100,0	

*Fuente: Elaboración propia de autor*



**Figura 44** ¿ es importante establecer procesos eficientes y actividades que generen valor en la construcción de una pavimentación flexible? y el 5% dijeron totalmente en desacuerdo  
**Fuente: Elaboración propia de autor**

**INTERPRETACION:**

De los 20 encuestados el 35% dijeron totalmente de acuerdo a la pregunta: ¿ es importante establecer procesos eficientes y actividades que generen valor en la construcción de una pavimentación flexible? y el 5% dijeron totalmente en desacuerdo.

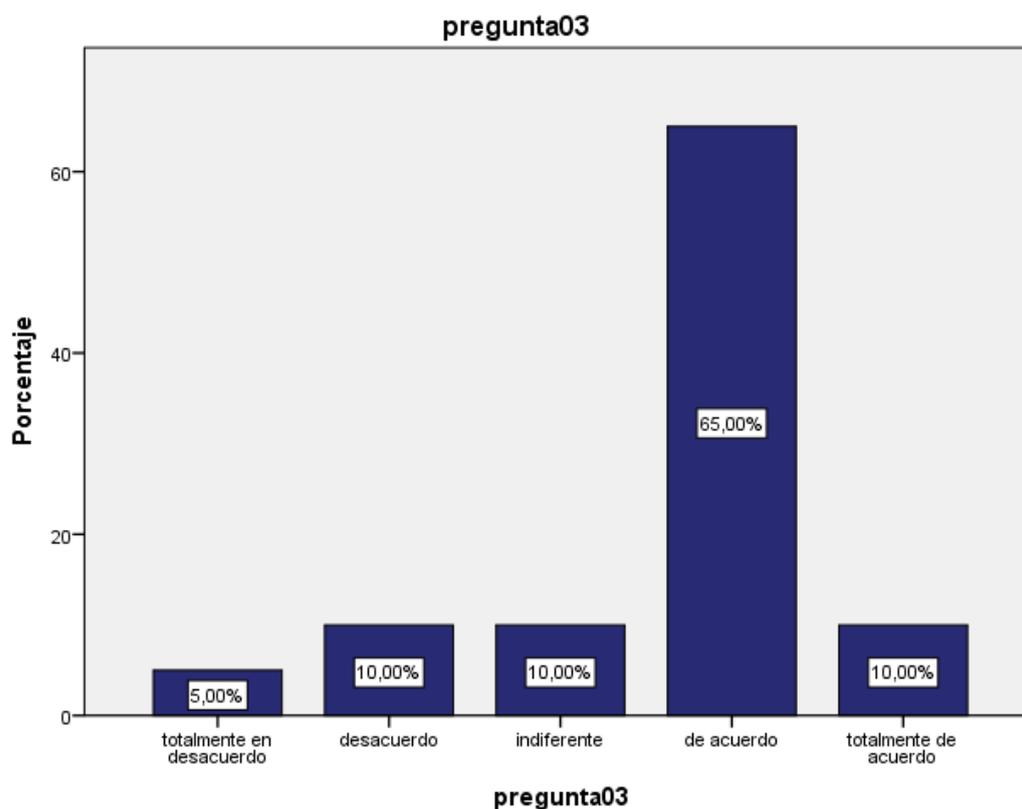
**Tabla 10**

*Es importante realizar reportes diarios con el fin de analizar las fluctuaciones a través de las semanas para verificar los planes de acciones correctivas para asegurar la mejora continua*

**pregunta03**

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	totalmente en desacuerdo	1	5,0	5,0	5,0
	desacuerdo	2	10,0	10,0	15,0
	indiferente	2	10,0	10,0	25,0
	de acuerdo	13	65,0	65,0	90,0
	totalmente de acuerdo	2	10,0	10,0	100,0
	Total	20	100,0	100,0	

**Fuente: Elaboración propia de autor**



**Figura 45** Es importante realizar reportes diarios con el fin de analizar las fluctuaciones a través de las semanas para verificar los planes de acciones correctivas para asegurar la mejora continua

*Fuente: Elaboración propia de autor*

**INTERPRETACION:**

De los 20 encuestados se observa que el 65% afirmaron de acuerdo a la pregunta: ¿Es importante realizar reportes diarios con el fin de analizar las fluctuaciones a través de las semanas para verificar los planes de acciones correctivas para asegurar la mejora continua? y el 5% dijeron totalmente en desacuerdo.

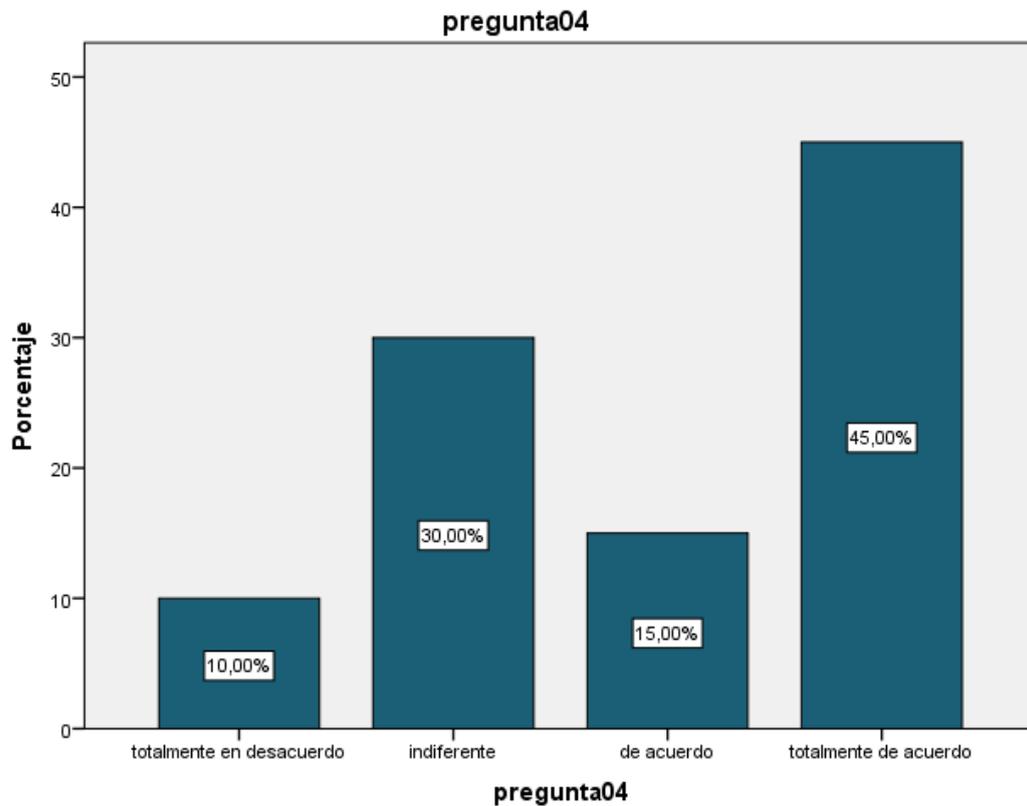
**Tabla 11**

*Con qué frecuencia analiza las actividades que debieron ejecutarse y las que realmente se ejecutaron para identificar las causas de no cumplimiento en la construcción de pavimento flexible*

**pregunta04**

	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido totalmente en desacuerdo	2	10,0	10,0	10,0
indiferente	6	30,0	30,0	40,0
de acuerdo	3	15,0	15,0	55,0
totalmente de acuerdo	9	45,0	45,0	100,0
Total	20	100,0	100,0	

*Fuente: Elaboración propia de autor*



**Figura 46** Con qué frecuencia analiza las actividades que debieron ejecutarse y las que realmente se ejecutaron para identificar las causas de no cumplimiento en la construcción de pavimento flexible

Fuente: Elaboración propia de autor

**INTERPRETACION:**

De los 20 encuestados se observa que el 45% dijeron totalmente de acuerdo a la pregunta: ¿Con qué frecuencia analiza las actividades que debieron ejecutarse y las que realmente se ejecutaron para identificar las causas de no cumplimiento en la construcción de pavimento flexible? Y el 10% dijeron totalmente en desacuerdo.

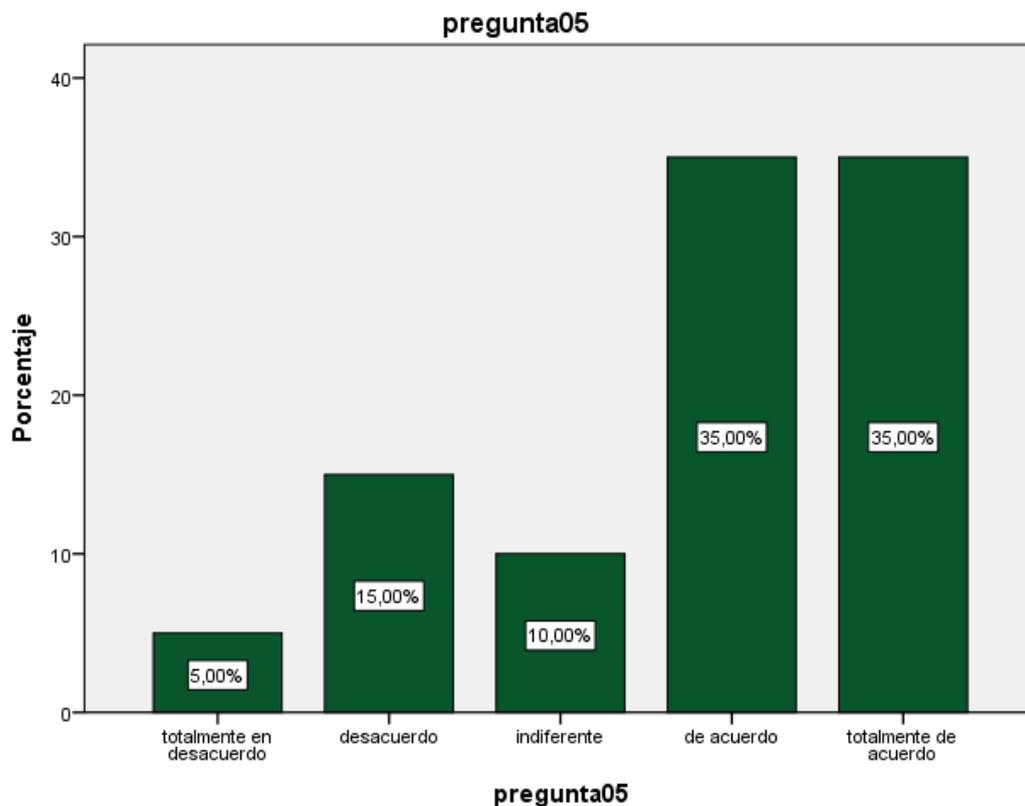
**Tabla 12**

Identifica cuáles son los factores que afectan en la construcción de pavimentos flexibles

**pregunta05**

	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido totalmente en desacuerdo	1	5,0	5,0	5,0
desacuerdo	3	15,0	15,0	20,0
indiferente	2	10,0	10,0	30,0
de acuerdo	7	35,0	35,0	65,0
totalmente de acuerdo	7	35,0	35,0	100,0
Total	20	100,0	100,0	

Fuente: Elaboración propia de autor



*Figura 47 Identifica cuáles son los factores que afectan en la construcción de pavimentos flexibles*  
*Fuente: Elaboración propia de autor*

**INTERPRETACION:**

De los 20 encuestados el 35% dijeron de acuerdo a la pregunta: ¿Identifica cuáles son los factores que afectan en la construcción de pavimentos flexibles? y el 5% dijeron totalmente en desacuerdo.

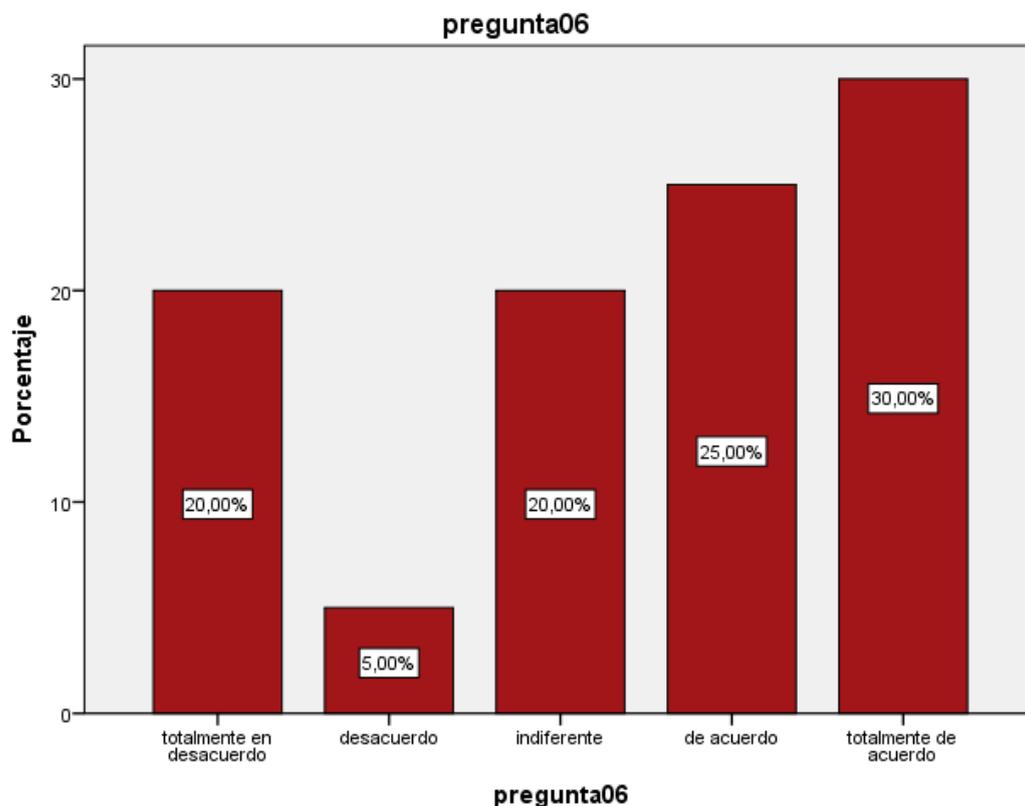
*Tabla 13*

*Con qué frecuencia identifica las partidas que presentan mayores restricciones o retrasos en la construcción de obras de pavimentación*

**pregunta06**

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	totalmente en desacuerdo	4	20,0	20,0	20,0
	desacuerdo	1	5,0	5,0	25,0
	indiferente	4	20,0	20,0	45,0
	de acuerdo	5	25,0	25,0	70,0
	totalmente de acuerdo	6	30,0	30,0	100,0
	Total	20	100,0	100,0	

*Fuente: Elaboración propia de autor*



**Figura 48** Con qué frecuencia identifica las partidas que presentan mayores restricciones o retrasos en la construcción de obras de pavimentación

Fuente: Elaboración propia de autor

**INTERPRETACION:**

De los 20 encuestados el 30% dijeron totalmente de acuerdo a la pregunta: muy conforme sobre la pregunta: ¿Con que frecuencia identifica las partidas que presentan mayores restricciones o retrasos en la construcción de obras de pavimentación? y el 5% dijeron desacuerdo.

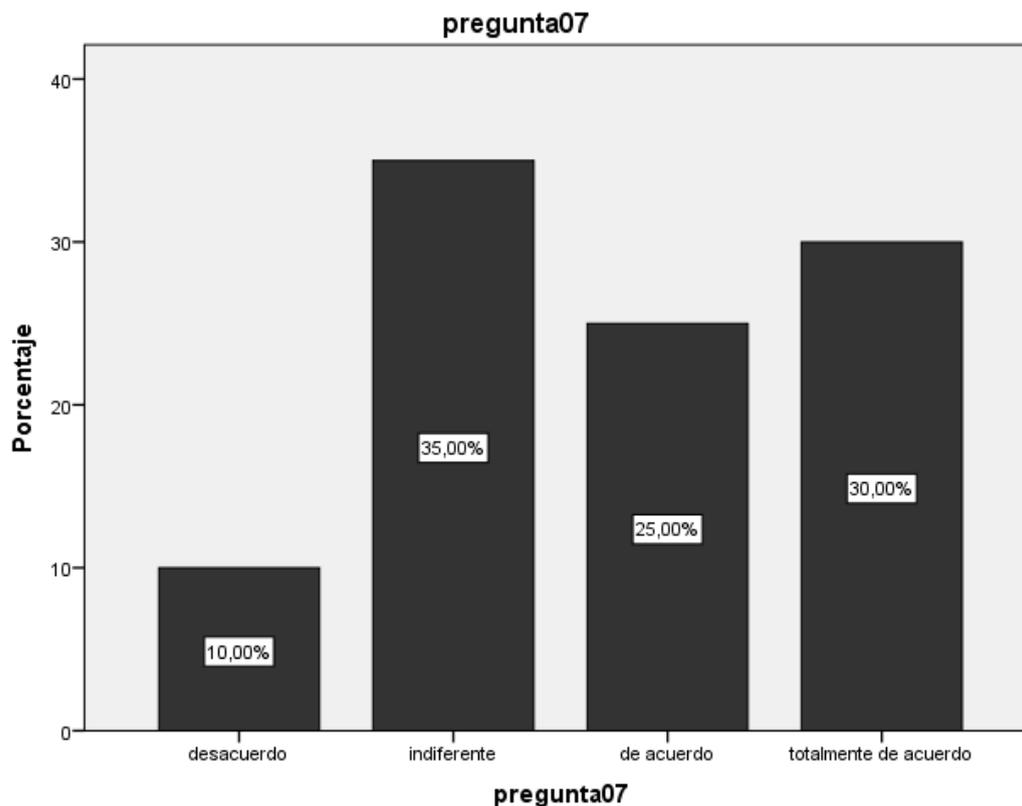
**Tabla 14**

Para usted, cree que es importante la aplicación de la programación rítmica y trenes de trabajo para mejorar el control de los proyectos

**pregunta07**

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	desacuerdo	2	10,0	10,0	10,0
	indiferente	7	35,0	35,0	45,0
	de acuerdo	5	25,0	25,0	70,0
	totalmente de acuerdo	6	30,0	30,0	100,0
	Total	20	100,0	100,0	

Fuente: Elaboración propia de autor



**Figura 49** Para usted, cree que es importante la aplicación de la programación rítmica y trenes de trabajo para mejorar el control de los proyectos

*Fuente: Elaboración propia de autor*

**INTERPRETACION**

De los 20 encuestados el 35% dijeron indiferente a la pregunta: ¿Para usted, cree que es importante la aplicación de la programación rítmica y trenes de trabajo para mejorar el control de los proyectos? y el 10% dijeron desacuerdo.

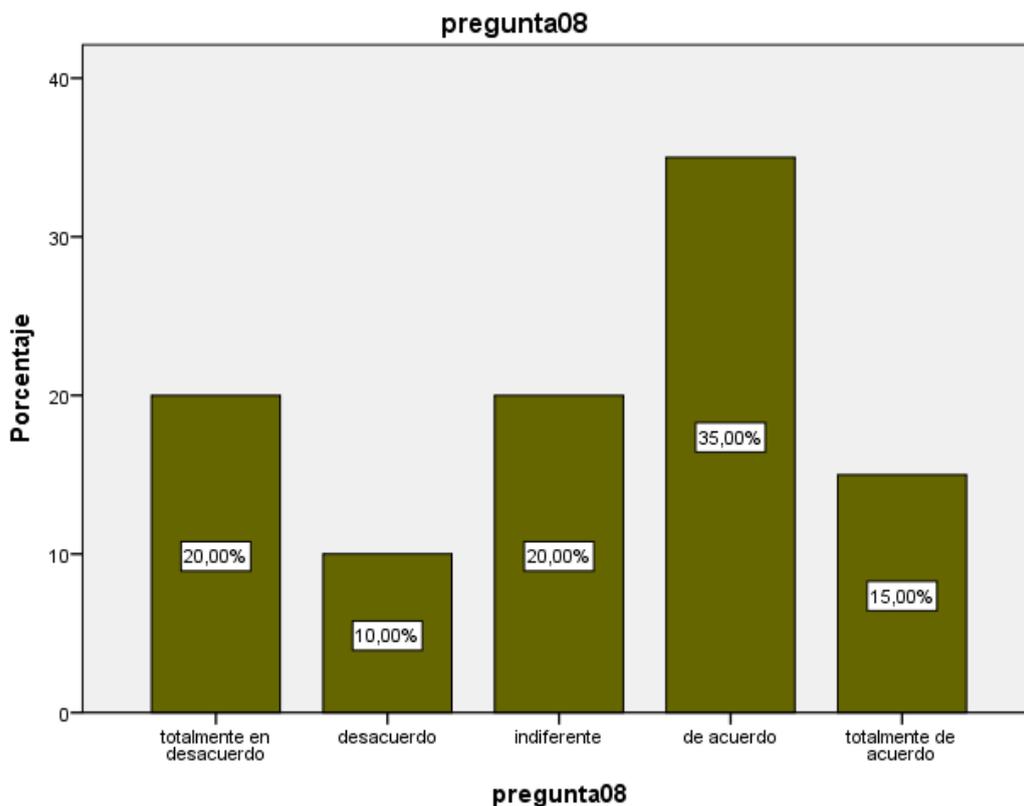
**Tabla 15**

*Cuáles son las normas y reglamentos peruanos para el diseño de pavimentos*

**pregunta08**

	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido totalmente en desacuerdo	4	20,0	20,0	20,0
desacuerdo	2	10,0	10,0	30,0
indiferente	4	20,0	20,0	50,0
de acuerdo	7	35,0	35,0	85,0
totalmente de acuerdo	3	15,0	15,0	100,0
Total	20	100,0	100,0	

*Fuente: Elaboración propia de autor*



*Figura 50 Cuáles son las normas y reglamentos peruanos para el diseño de pavimentos*

*Fuente: Elaboración propia de autor*

#### **INTERPRETACION**

De los 20 encuestados el 35% dijeron de acuerdo a la pregunta: ¿Cuáles son las normas y reglamentos peruanos para el diseño de pavimentos? y el 10% dijeron desacuerdo.

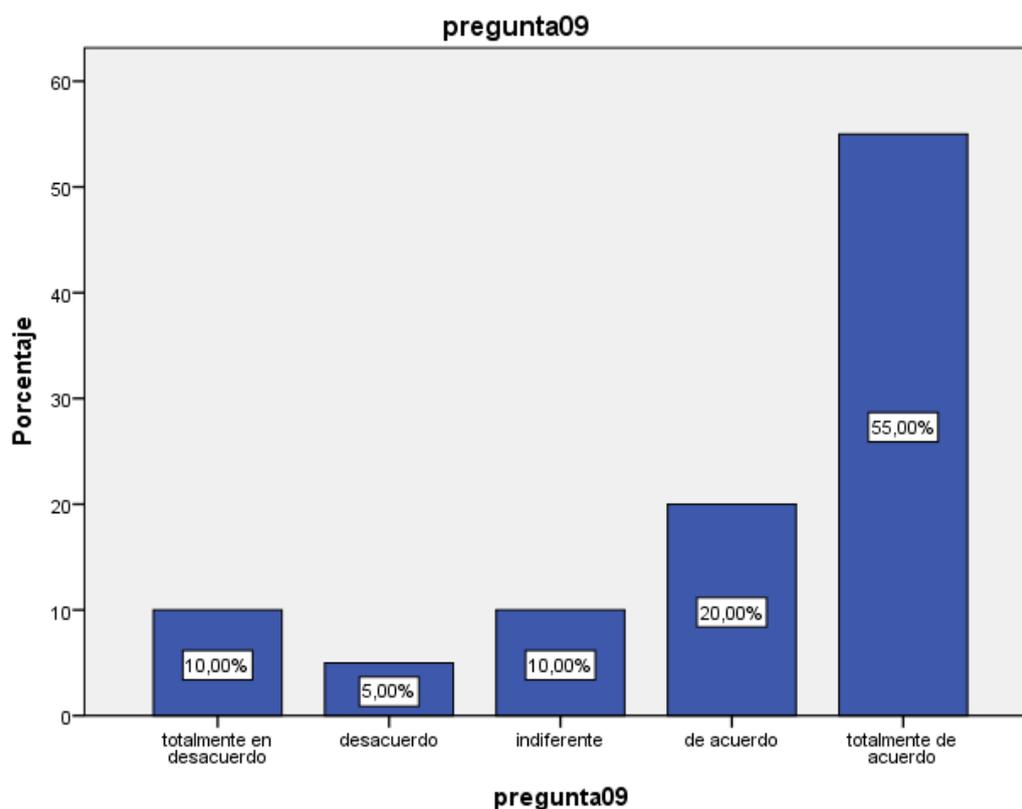
*Tabla 16*

*Qué es el CBR y cuál es el mínimo valor para estructura de sub rasante y base en una vía de alto tránsito*

**pregunta09**

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	totalmente en desacuerdo	2	10,0	10,0	10,0
	desacuerdo	1	5,0	5,0	15,0
	indiferente	2	10,0	10,0	25,0
	de acuerdo	4	20,0	20,0	45,0
	totalmente de acuerdo	11	55,0	55,0	100,0
	Total	20	100,0	100,0	

*Fuente: Elaboración propia de autor*



**Figura 51** *Qué es el CBR y cuál es el mínimo valor para estructura de sub rasante y base en una vía de alto tránsito*

*Fuente: Elaboración propia de autor*

### INTERPRETACION

De los 20 encuestados el 55% dijeron totalmente de acuerdo a la pregunta: ¿Qué es el CBR y cuál es el mínimo valor para estructura de sub rasante y base en una vía de alto tránsito? y el 5% dijeron desacuerdo.

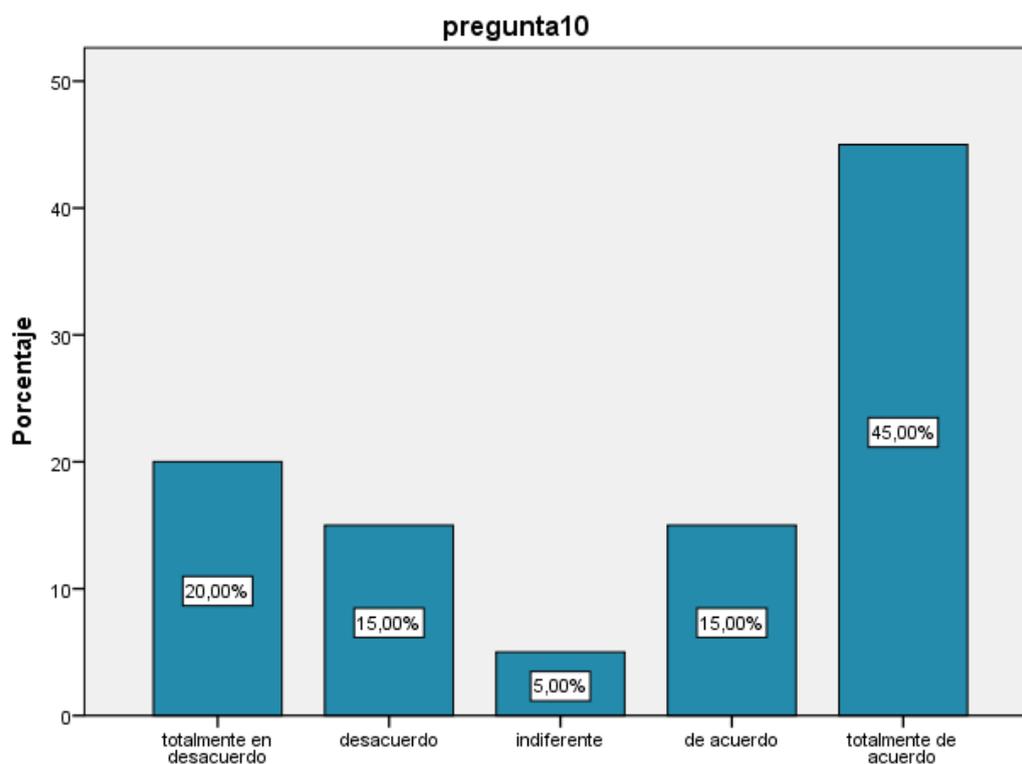
**Tabla 17**

*Cuáles son los ensayos que se debe de realizar a los agregados para la preparación del Pavimento Flexible*

**pregunta10**

	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido totalmente en desacuerdo	4	20,0	20,0	20,0
desacuerdo	3	15,0	15,0	35,0
indiferente	1	5,0	5,0	40,0
de acuerdo	3	15,0	15,0	55,0
totalmente de acuerdo	9	45,0	45,0	100,0
Total	20	100,0	100,0	

*Fuente: Elaboración propia de autor*



**pregunta10**  
**Figura 52** Cuáles son los ensayos que se debe de realizar a los agregados para la preparación del Pavimento Flexible

*Fuente: Elaboración propia de autor*

### INTERPRETACION

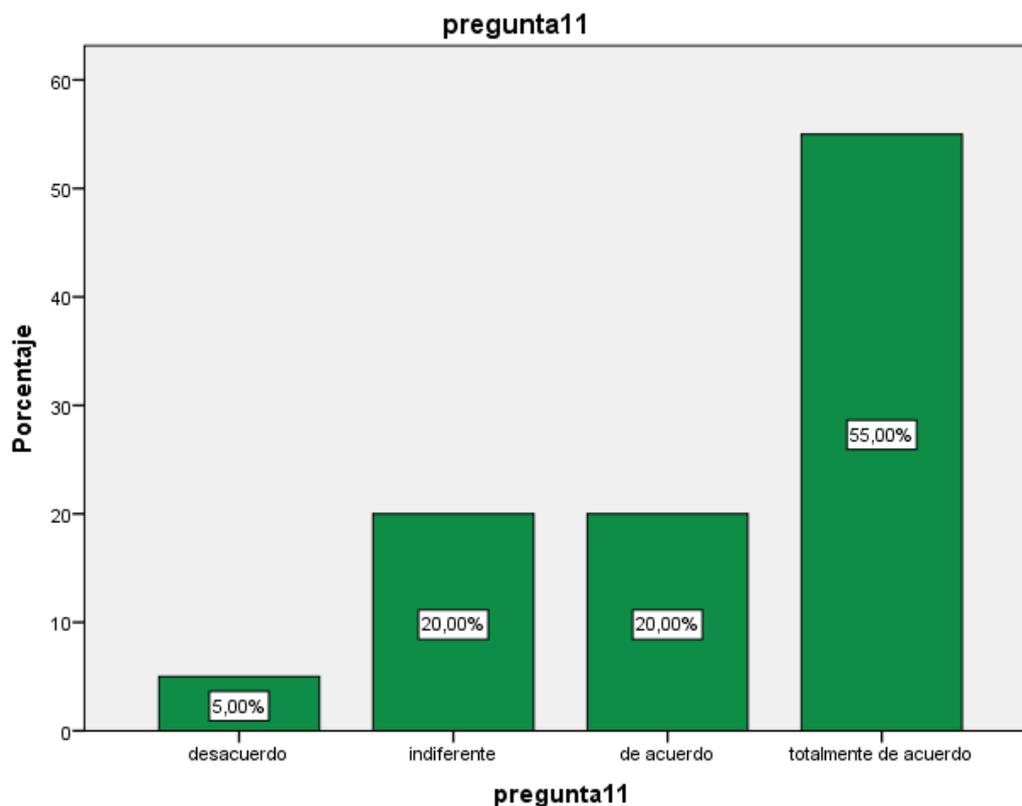
De los 20 encuestados el 45% dijeron totalmente de acuerdo a la pregunta: ¿Cuáles son los ensayos que se debe de realizar a los agregados para la preparación del Pavimento Flexible? y el 5% dijeron indiferente.

**Tabla 18**  
 cuáles son las recomendaciones de acuerdo al lugar de uso para la preparación de mezcla asfáltica con cementos asfálticos

**pregunta11**

	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido    desacuerdo	1	5,0	5,0	5,0
indiferente	4	20,0	20,0	25,0
de acuerdo	4	20,0	20,0	45,0
totalmente de acuerdo	11	55,0	55,0	100,0
Total	20	100,0	100,0	

*Fuente: Elaboración propia de autor*



*Figura 53 cuáles son las recomendaciones de acuerdo al lugar de uso para la preparación de mezcla asfáltica con cementos asfálticos*

*Fuente: Elaboración propia de autor*

#### INTERPRETACION

De los 20 encuestados el 55% dijeron totalmente de acuerdo a la pregunta: ¿cuáles son las recomendaciones de acuerdo al lugar de uso para la preparación de mezcla asfáltica con cementos asfálticos? y el 5% dijeron desacuerdo.

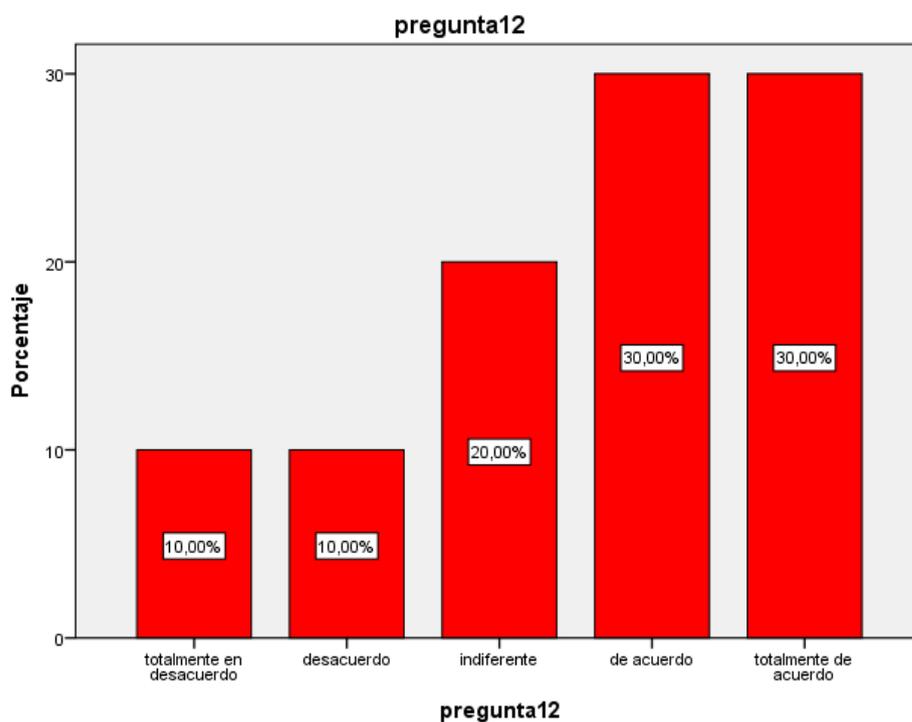
*Tabla 19*

*Qué es la imprimación y que productos se utiliza para este trabajo*

**pregunta12**

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	totalmente en desacuerdo	2	10,0	10,0	10,0
	desacuerdo	2	10,0	10,0	20,0
	indiferente	4	20,0	20,0	40,0
	de acuerdo	6	30,0	30,0	70,0
	totalmente de acuerdo	6	30,0	30,0	100,0
	Total	20	100,0	100,0	

*Fuente: Elaboración propia de autor*



**Figura 54** *Qué es la imprimación y que productos se utiliza para este trabajo*  
*Fuente: Elaboración propia de autor*

**INTERPRETACION**

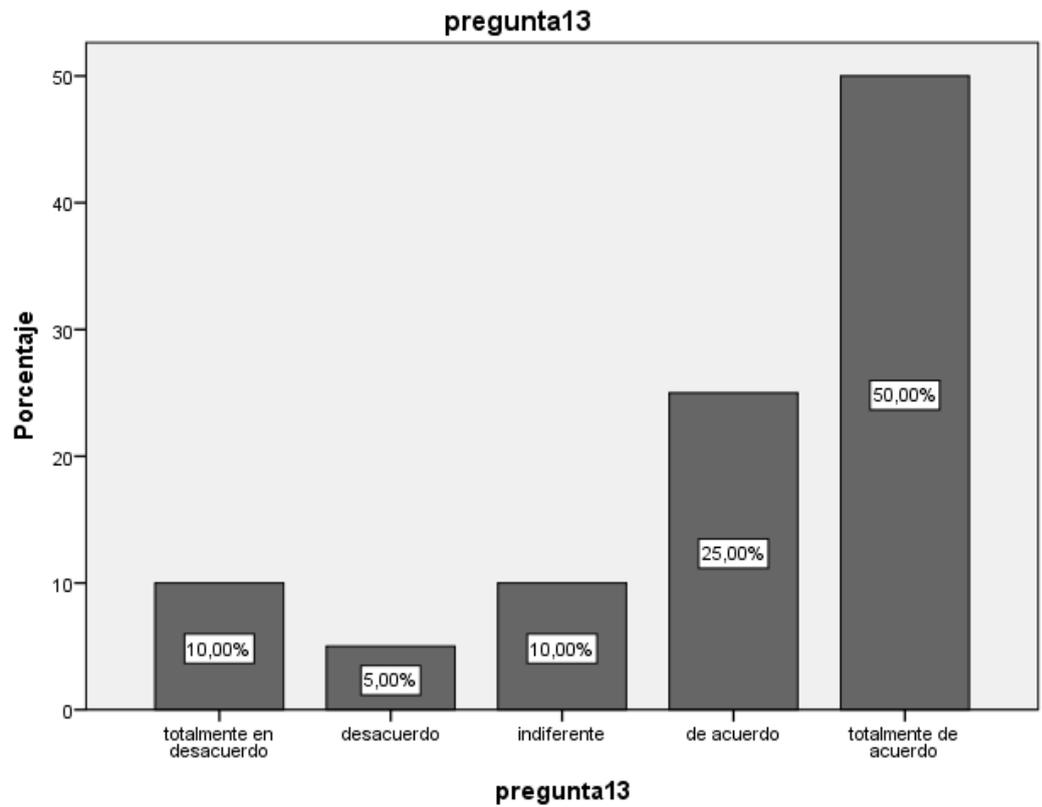
De los 20 encuestados el 30% dijeron totalmente de acuerdo a la pregunta: ¿Qué es la imprimación y que productos se utiliza para este trabajo? y el 10% dijeron desacuerdo.

**Tabla 20**  
*cual es el proceso de compactación de la mezcla asfáltica en caliente*

**pregunta13**

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	totalmente en desacuerdo	2	10,0	10,0	10,0
	desacuerdo	1	5,0	5,0	15,0
	indiferente	2	10,0	10,0	25,0
	de acuerdo	5	25,0	25,0	50,0
	totalmente de acuerdo	10	50,0	50,0	100,0
	Total	20	100,0	100,0	

*Fuente: Elaboración propia de autor*



*Figura 55 cual es el proceso de compactación de la mezcla asfáltica en caliente*  
*Fuente: Elaboración propia de autor*

**INTERPRETACION**

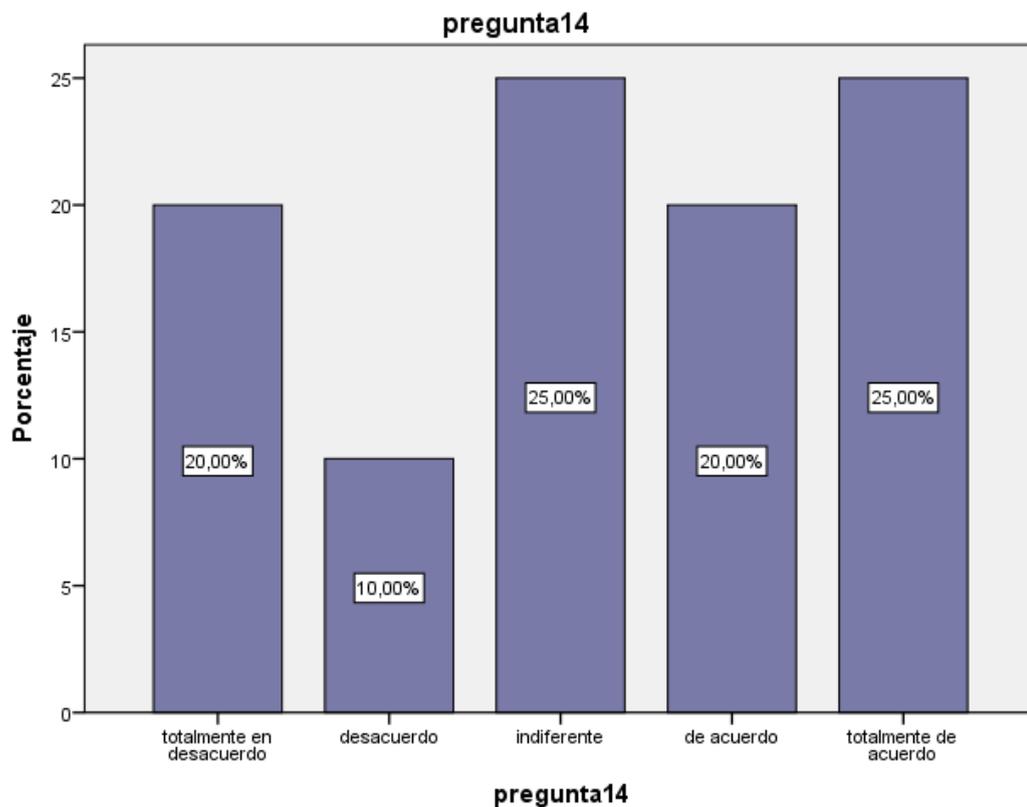
De los 20 encuestados el 50% dijeron totalmente de acuerdo a la pregunta: ¿ cuál es el proceso de compactación de la mezcla asfáltica en caliente? y el 5% dijeron desacuerdo.

*Tabla 21*  
*sabe cuáles son los valores mínimos de estabilidad y flujo de una mezcla asfáltica de acuerdo al reglamento peruano*

**pregunta14**

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	totalmente en desacuerdo	4	20,0	20,0	20,0
	desacuerdo	2	10,0	10,0	30,0
	indiferente	5	25,0	25,0	55,0
	de acuerdo	4	20,0	20,0	75,0
	totalmente de acuerdo	5	25,0	25,0	100,0
	Total	20	100,0	100,0	

*Fuente: Elaboración propia de autor*



*Figura 56 sabe cuáles son los valores mínimos de estabilidad y flujo de una mezcla asfáltica de acuerdo al reglamento peruano*

*Fuente: Elaboración propia de autor*

#### INTERPRETACION

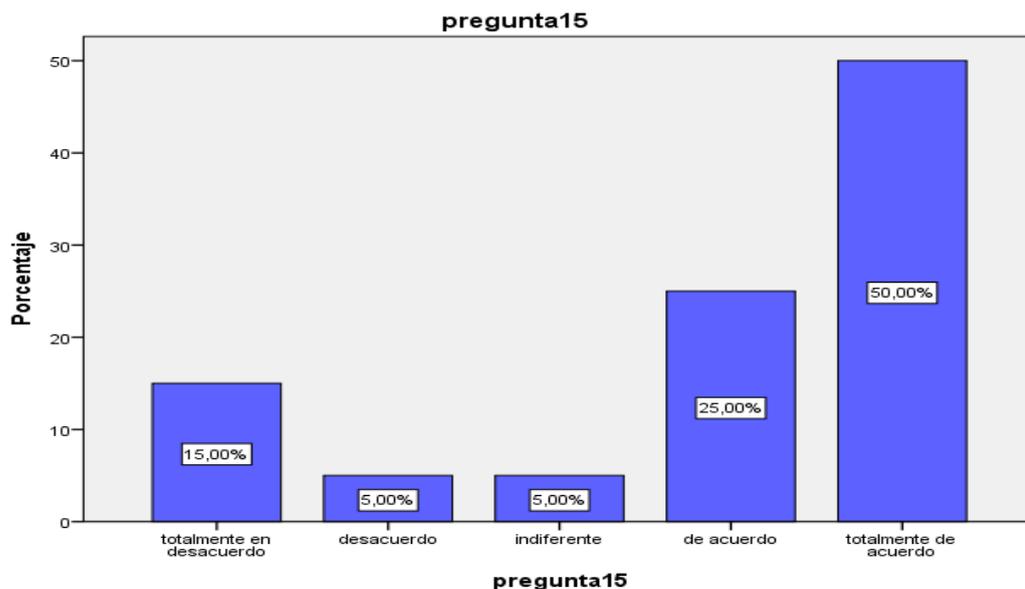
De los 20 encuestados el 25% dijeron totalmente de acuerdo a la pregunta: ¿sabe cuáles son los valores mínimos de estabilidad y flujo de una mezcla asfáltica de acuerdo al reglamento peruano? y el 10% dijeron desacuerdo.

*Tabla 22 sabe que ensayos debe efectuarse al material granular que se usa en la conformación de base para un pavimento flexible, que valores mínimos debe cumplir*

**pregunta15**

	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido totalmente en desacuerdo	3	15,0	15,0	15,0
desacuerdo	1	5,0	5,0	20,0
indiferente	1	5,0	5,0	25,0
de acuerdo	5	25,0	25,0	50,0
totalmente de acuerdo	10	50,0	50,0	100,0
Total	20	100,0	100,0	

*Fuente: Elaboración propia de autor*



*Figura 57 sabe que ensayos debe efectuarse al material granular que se usa en la conformación de base para un pavimento flexible, que valores mínimos debe cumplir*

*Fuente: Elaboración propia de autor*

#### INTERPRETACION

De los 20 encuestados el 50% dijeron totalmente de acuerdo a la pregunta: ¿ sabe que ensayos debe efectuarse al material granular que se usa en la conformación de base para un pavimento flexible, que valores mínimos debe cumplir? y el 5% dijeron desacuerdo.

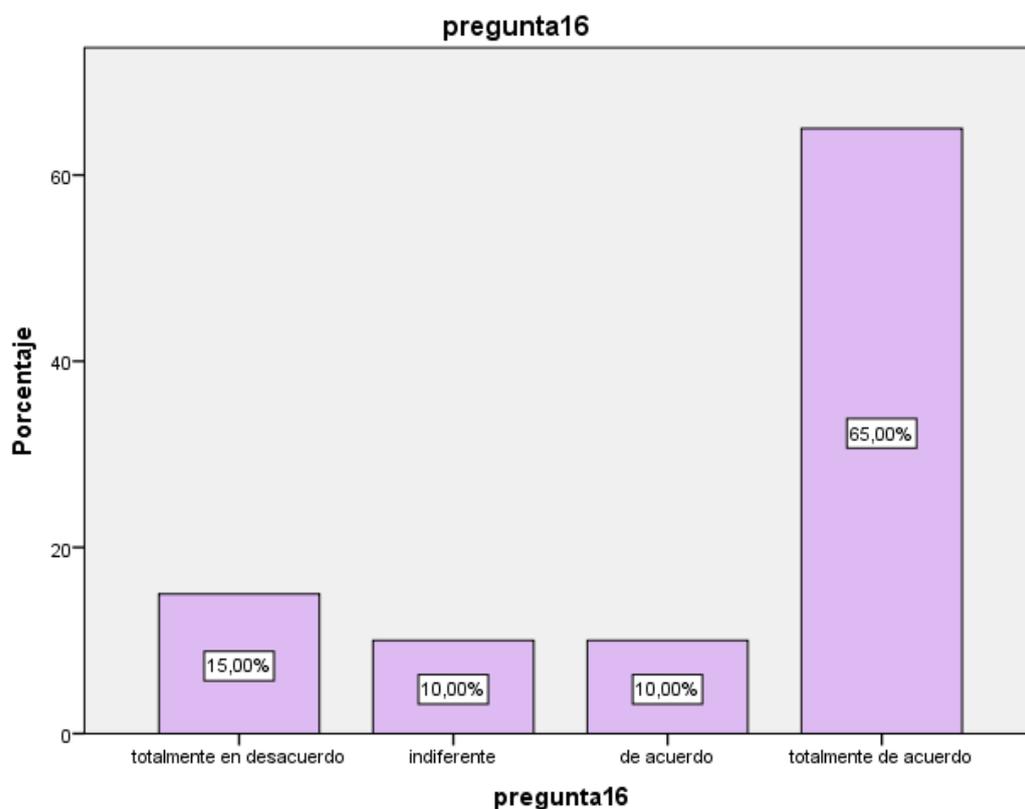
#### 4.3.2. Variable dependiente: polvo de fibra de vidrio.

*Tabla 23*

*Qué tan probable es que se determine la causa-efecto para predecir, mejorar y optimizar en la utilización del polvo de fibra de vidrio*

**pregunta16**

	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
totalmente en desacuerdo	3	15,0	15,0	15,0
indiferente	2	10,0	10,0	25,0
de acuerdo	2	10,0	10,0	35,0
totalmente de acuerdo	13	65,0	65,0	100,0
Total	20	100,0	100,0	



*Figura 58 Qué tan probable es que se determine la causa-efecto para predecir, mejorar y optimizar en la utilización del polvo de fibra de vidrio*

*Fuente: Elaboración propia de autor*

### INTERPRETACION

De los 20 encuestados el 65% dijeron totalmente de acuerdo a la pregunta: ¿ Qué tan probable es que se determine la causa-efecto para predecir, mejorar y optimizar en la utilización del polvo de fibra de vidrio? y el 10% dijeron indiferente.

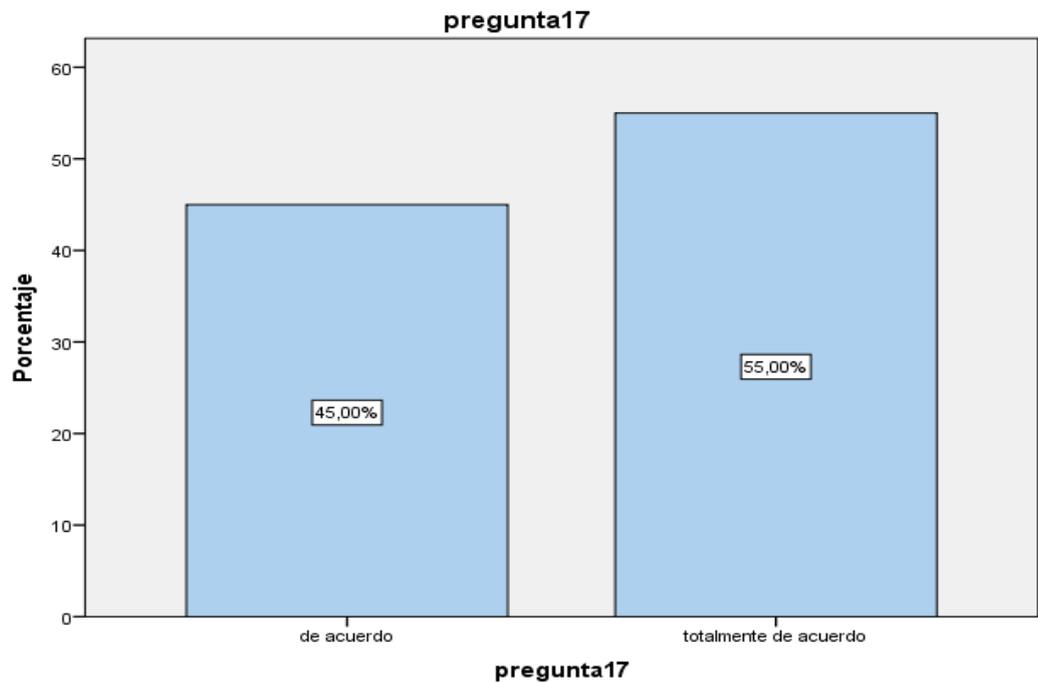
*Tabla 24*

*Cree usted que se debe proponer herramientas de gestión que son aplicados en la utilización del polvo de fibra de vidrio*

**pregunta17**

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	de acuerdo	9	45,0	45,0	45,0
	totalmente de acuerdo	11	55,0	55,0	100,0
	Total	20	100,0	100,0	

*Fuente: Elaboración propia de autor*



*Figura 59 Cree usted que se debe proponer herramientas de gestión que son aplicados en la utilización del polvo de fibra de vidrio Fuente: Elaboración propia de autor*

### INTERPRETACION

De los 20 encuestados el 55% dijeron totalmente de acuerdo a la pregunta: ¿ Cree usted que se debe proponer herramientas de gestión que son aplicados en la utilización del polvo de fibra de vidrio? y el 45% dijeron de acuerdo.

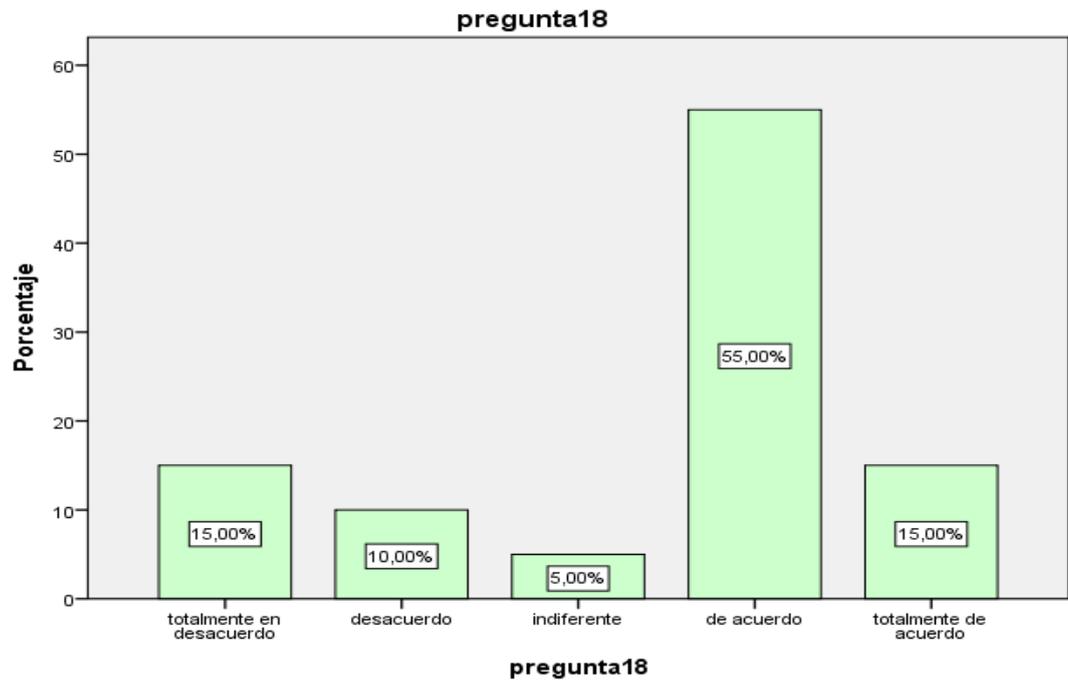
*Tabla 25*

*Considera que se debe utilizar las herramientas de la Filosofía Lean Construcción que más se adecuen al tipo de obra de pavimentación*

**pregunta18**

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	totalmente en desacuerdo	3	15,0	15,0	15,0
	desacuerdo	2	10,0	10,0	25,0
	indiferente	1	5,0	5,0	30,0
	de acuerdo	11	55,0	55,0	85,0
	totalmente de acuerdo	3	15,0	15,0	100,0
	Total	20	100,0	100,0	

*Fuente: Elaboración propia de autor*



*Figura 60 Considera que se debe utilizar las herramientas de la Filosofía Lean Construcción que más se adecuen al tipo de obra de pavimentación*

*Fuente: Elaboración propia de autor*

#### INTERPRETACION

De los 20 encuestados el 55% dijeron de acuerdo a la pregunta: ¿ Considera que se debe utilizar las herramientas de la Filosofía Lean Construcción que más se adecuen al tipo de obra de pavimentación? y el 5% dijeron indiferente.

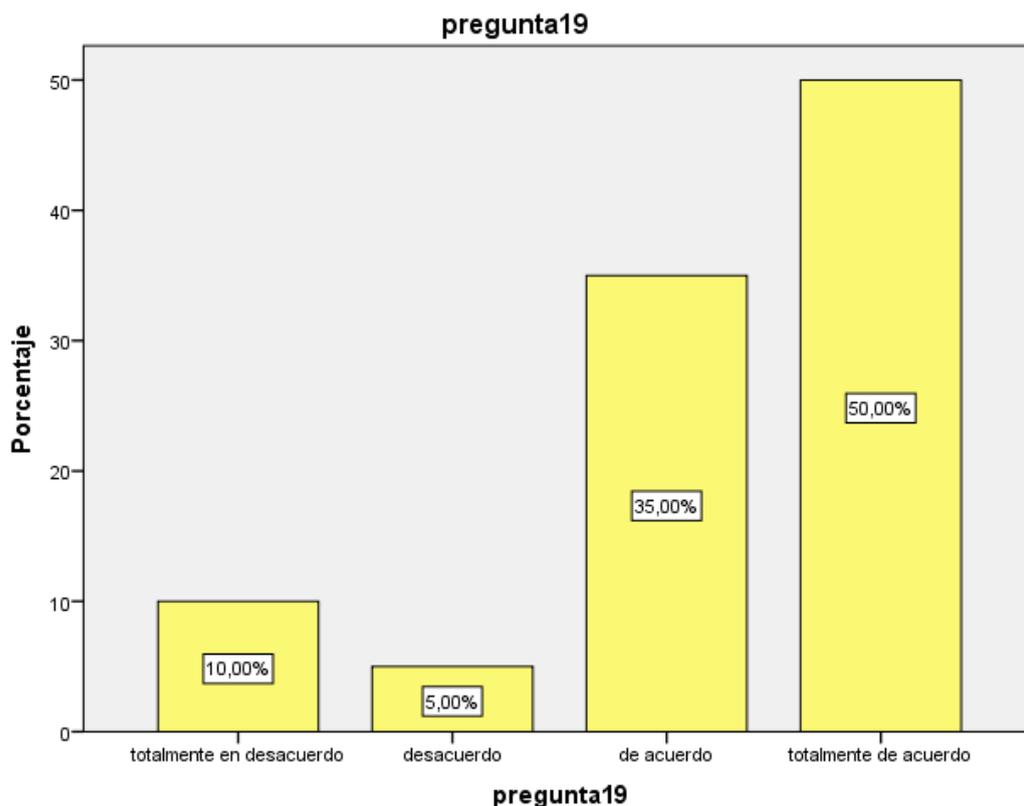
*Tabla 26*

*Considera que es bueno identificar y controlar el estado de los flujos de trabajo con el fin de extraer distintas conclusiones y medidas correctivas*

**pregunta19**

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	totalmente en desacuerdo	2	10,0	10,0	10,0
	desacuerdo	1	5,0	5,0	15,0
	de acuerdo	7	35,0	35,0	50,0
	totalmente de acuerdo	10	50,0	50,0	100,0
	Total	20	100,0	100,0	

*Fuente: Elaboración propia de autor*



*Figura 61 Considera que es bueno identificar y controlar el estado de los flujos de trabajo con el fin de extraer distintas conclusiones y medidas correctivas*

*Fuente: Elaboración propia de autor*

### INTERPRETACION

De los 20 encuestados el 50% dijeron totalmente de acuerdo a la pregunta: ¿Considera que es bueno identificar y controlar el estado de los flujos de trabajo con el fin de extraer distintas conclusiones y medidas correctivas? y el 5% dijeron desacuerdo.

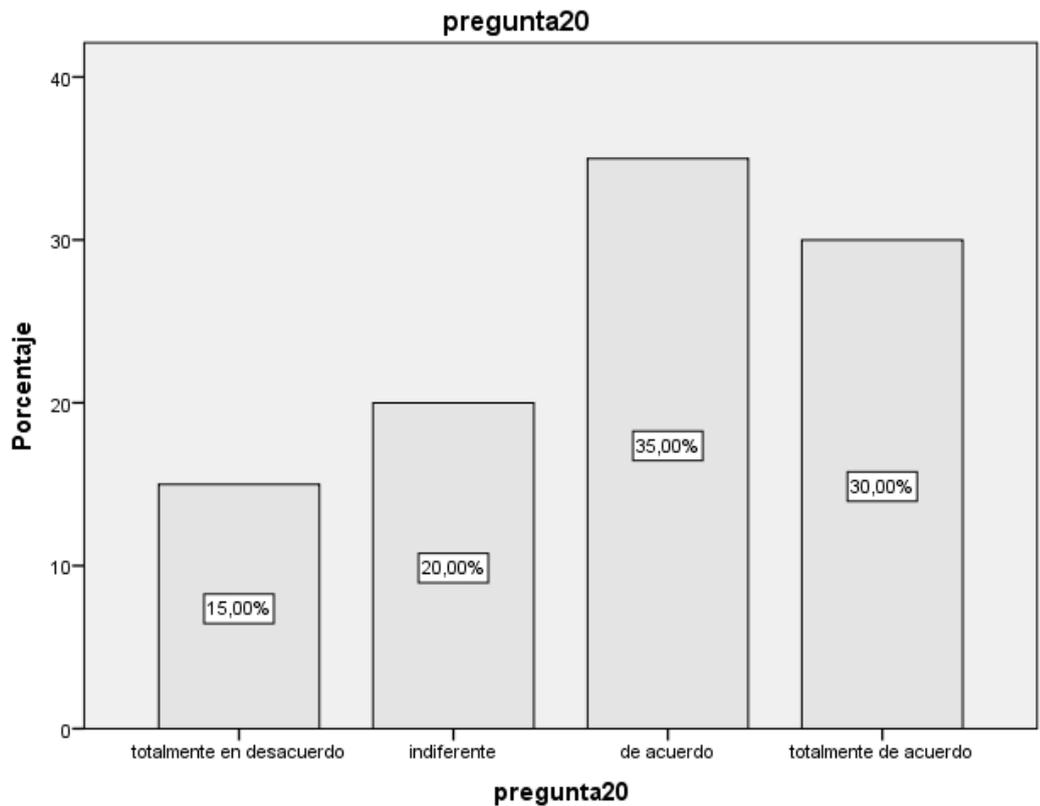
*Tabla 27*

*que al implementar el polvo de fibra de vidrio se obtendrá el aumento de la productividad en la obra*

**pregunta20**

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	totalmente en desacuerdo	3	15,0	15,0	15,0
	indiferente	4	20,0	20,0	35,0
	de acuerdo	7	35,0	35,0	70,0
	totalmente de acuerdo	6	30,0	30,0	100,0
	Total	20	100,0	100,0	

*Fuente: Elaboración propia de autor*



*Figura 62 que al implementar el polvo de fibra de vidrio se obtendrá el aumento de la productividad en la obra*

*Fuente: Elaboración propia de autor*

### INTERPRETACION

De los 20 encuestados el 35% dijeron de acuerdo a la pregunta: ¿ que al implementar el polvo de fibra de vidrio se obtendrá el aumento de la productividad en la obra? y el 15% dijeron totalmente en desacuerdo.

*Tabla 28*

*considera que el análisis de la milla medida es una herramienta efectiva para demostrar la perdida de costos de productividad en la construcción del pavimento flexible*

**pregunta21**

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	totalmente en desacuerdo	3	15,0	15,0	15,0
	desacuerdo	1	5,0	5,0	20,0
	indiferente	3	15,0	15,0	35,0
	de acuerdo	9	45,0	45,0	80,0
	totalmente de acuerdo	4	20,0	20,0	100,0
	Total	20	100,0	100,0	

*Fuente: Elaboración propia de auto*

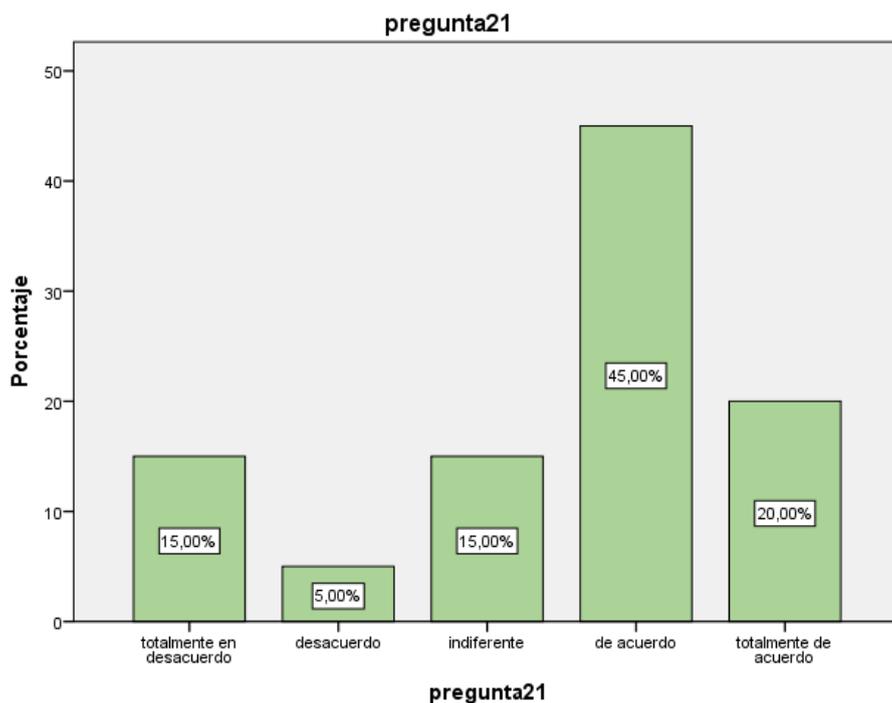


Figura 63 considera que el análisis de la milla medida es una herramienta efectiva para demostrar la pérdida de costos de productividad en la construcción del pavimento flexible

*Fuente: Elaboración propia de autor*

### INTERPRETACION

De los 20 encuestados el 45% dijeron de acuerdo a la pregunta: ¿considera que el análisis de la milla medida es una herramienta efectiva para demostrar la pérdida de costos de productividad en la construcción del pavimento flexible? y el 5% dijeron desacuerdo.

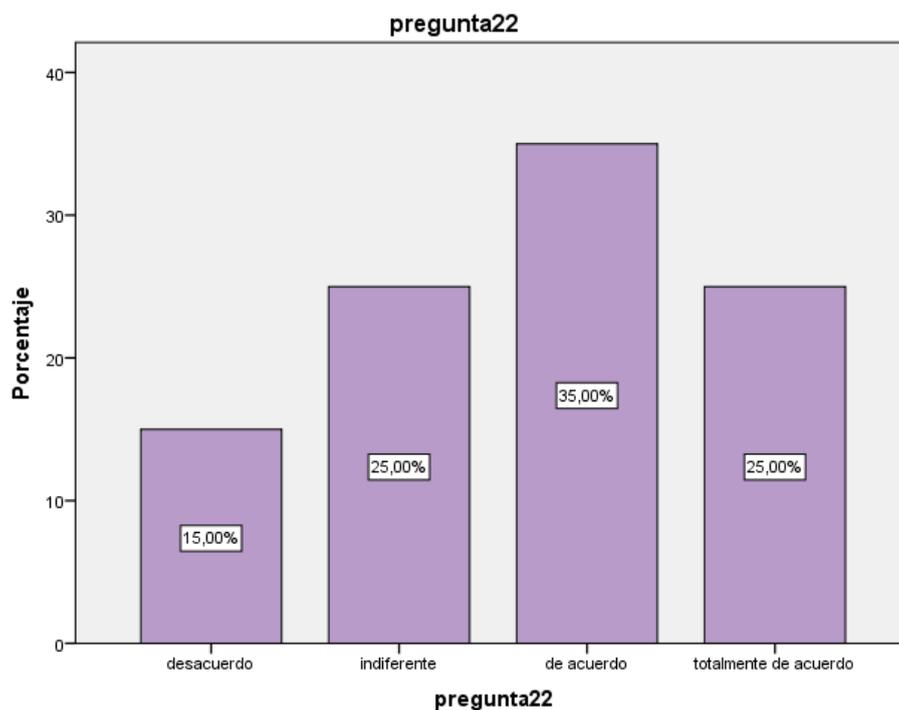
**Tabla 29**

*considera usted, que la ratio unitaria de productividad permite detectar deficiencias en la utilización del polvo de fibra de vidrio en el pavimento flexible*

**pregunta22**

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	desacuerdo	3	15,0	15,0	15,0
	indiferente	5	25,0	25,0	40,0
	de acuerdo	7	35,0	35,0	75,0
	totalmente de acuerdo	5	25,0	25,0	100,0
	Total	20	100,0	100,0	

*Fuente: Elaboración propia de autor*



*Figura 64 considera usted, que la ratio unitaria de productividad permite detectar deficiencias en la utilización del polvo de fibra de vidrio en el pavimento flexible*

*Fuente: Elaboración propia de autor*

### INTERPRETACION

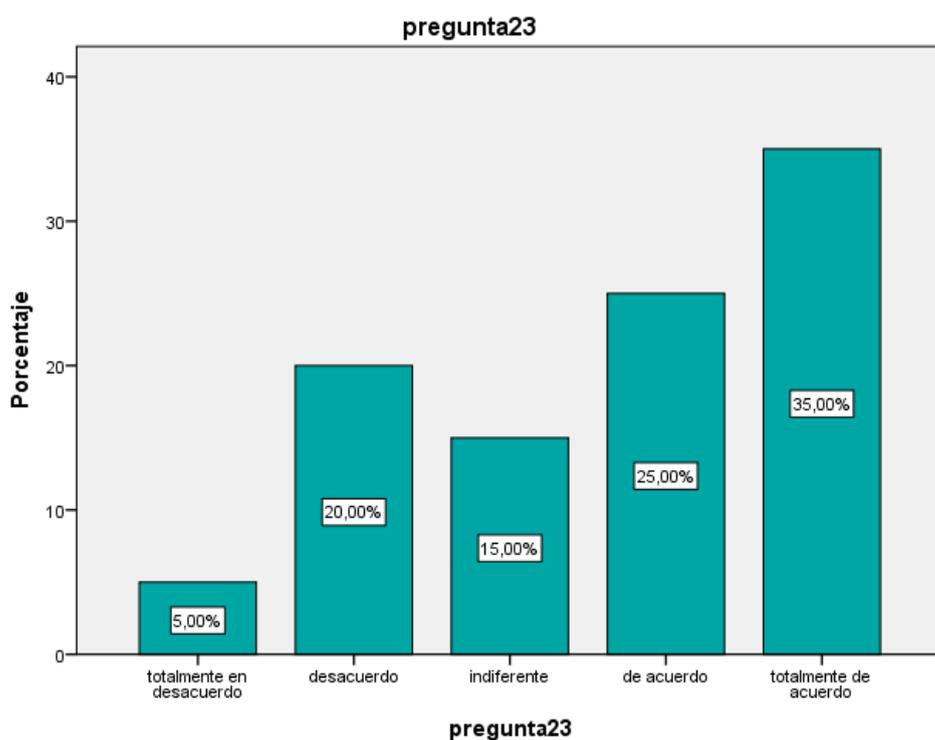
De los 20 encuestados el 35% dijeron de acuerdo a la pregunta: ¿considera usted, que la ratio unitaria de productividad permite detectar deficiencias en la utilización del polvo de fibra de vidrio en el pavimento flexible? y el 15% dijeron desacuerdo.

*Tabla 30 considera usted, que es importante analizar todas las actividades del proyecto a fin de identificar la variabilidad que presentan*

**pregunta23**

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	totalmente en desacuerdo	1	5,0	5,0	5,0
	desacuerdo	4	20,0	20,0	25,0
	indiferente	3	15,0	15,0	40,0
	de acuerdo	5	25,0	25,0	65,0
	totalmente de acuerdo	7	35,0	35,0	100,0
	Total	20	100,0	100,0	

*Fuente: Elaboración propia de autor*



**Figura 65** considera usted, que es importante analizar todas las actividades del proyecto a fin de identificar la variabilidad que presentan

*Fuente: Elaboración propia de autor*

### INTERPRETACION

De los 20 encuestados el 35% dijeron totalmente de acuerdo a la pregunta: ¿considera usted, que es importante analizar todas las actividades del proyecto a fin de identificar la variabilidad que presentan? y el 5% dijeron totalmente en desacuerdo.

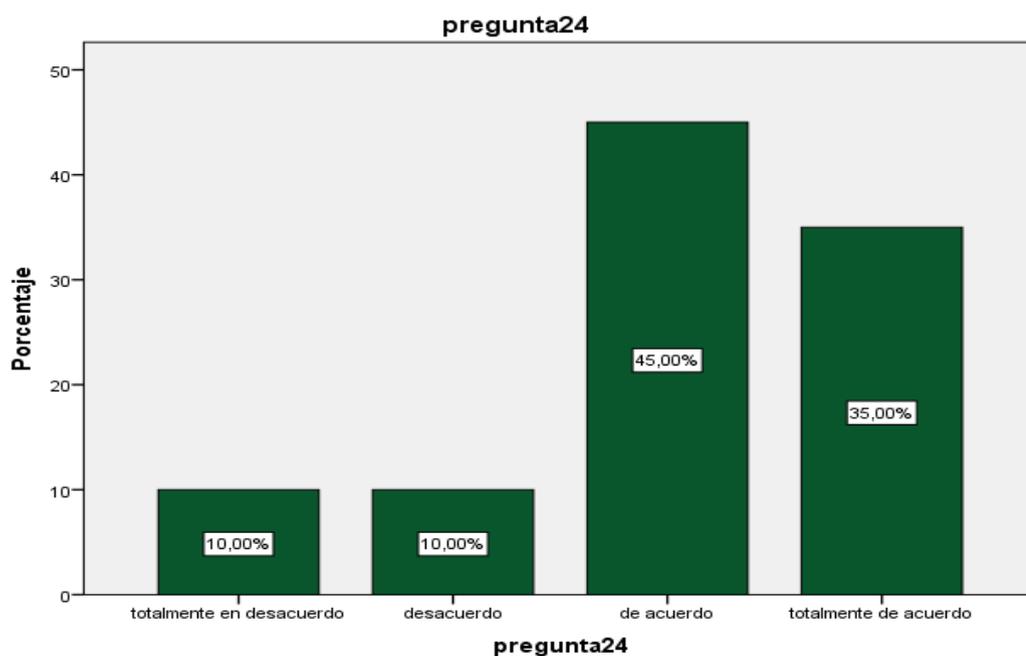
**Figura 66**

*Está conforme con el diseño preliminar de miembros para el desarrollo del proyecto*

**pregunta24**

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	totalmente en desacuerdo	2	10,0	10,0	10,0
	desacuerdo	2	10,0	10,0	20,0
	de acuerdo	9	45,0	45,0	65,0
	totalmente de acuerdo	7	35,0	35,0	100,0
	Total	20	100,0	100,0	

*Fuente: Elaboración propia de autor*



**Tabla 31** *Está conforme con el diseño preliminar de miembros para el desarrollo del proyecto*

*Fuente: Elaboración propia de autor*

### INTERPRETACION

De los 20 encuestados el 45% dijeron de acuerdo a la pregunta: ¿Está conforme con el diseño preliminar de miembros para el desarrollo del proyecto? y el 10% dijeron desacuerdo.

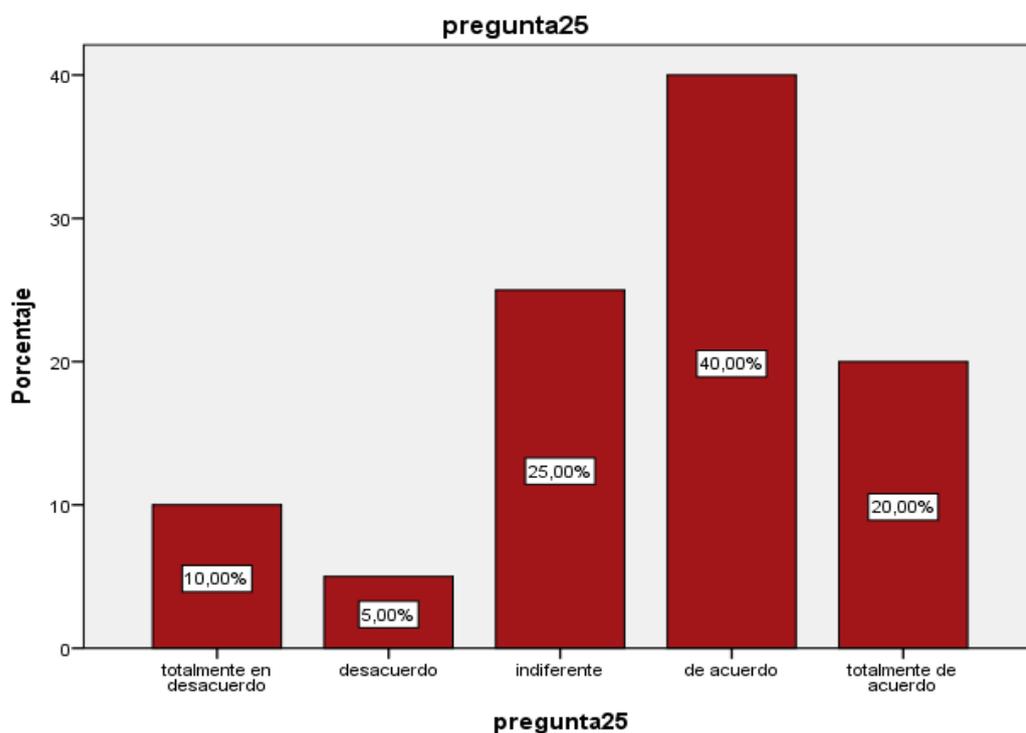
**Tabla 32**

*Considera usted definir los hitos del proyecto de manera detallada*

**pregunta25**

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	totalmente en desacuerdo	2	10,0	10,0	10,0
	desacuerdo	1	5,0	5,0	15,0
	indiferente	5	25,0	25,0	40,0
	de acuerdo	8	40,0	40,0	80,0
	totalmente de acuerdo	4	20,0	20,0	100,0
	Total	20	100,0	100,0	

*Fuente: Elaboración propia de autor*



*Figura 67 Considera usted definir los hitos del proyecto de manera detallada*

**Fuente: Elaboración propia de autor**

### INTERPRETACION

De los 20 encuestados el 40% dijeron de acuerdo a la pregunta: ¿ Considera usted definir los hitos del proyecto de manera detallada? y el 5% dijeron desacuerdo.

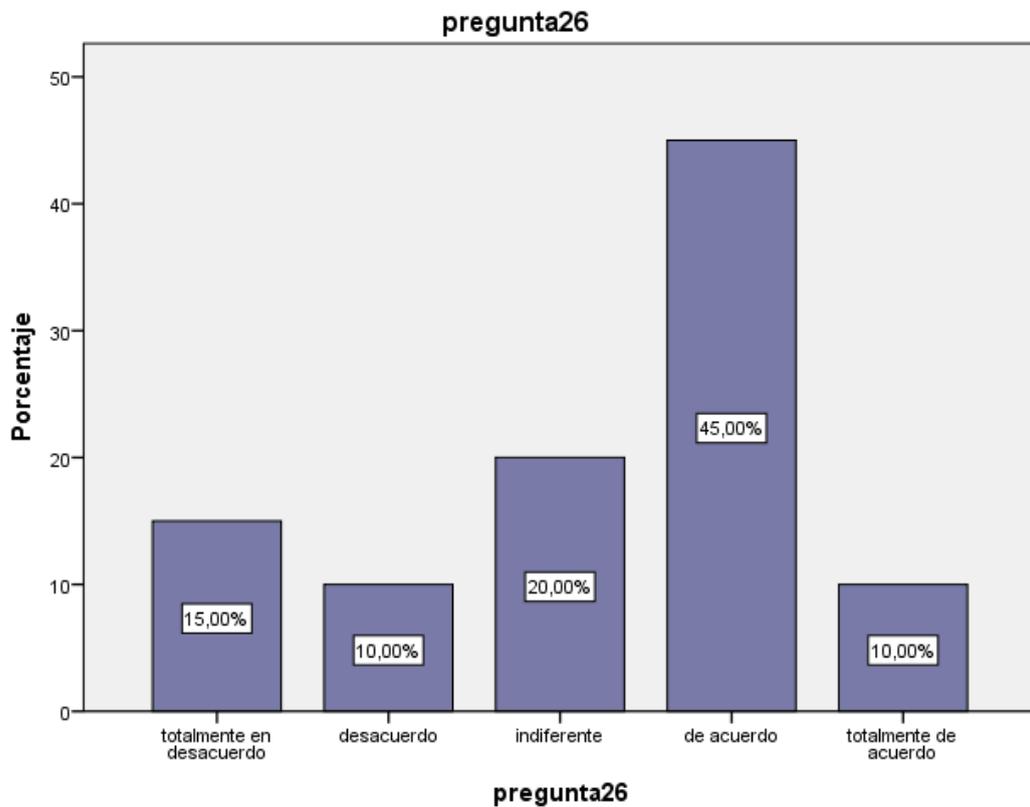
**Tabla 33**

*Considera realizar la sectorización del proyecto de acuerdo a la magnitud, recursos a utilizarse por cada actividad y los responsables*

**pregunta26**

	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido totalmente en desacuerdo	3	15,0	15,0	15,0
desacuerdo	2	10,0	10,0	25,0
indiferente	4	20,0	20,0	45,0
de acuerdo	9	45,0	45,0	90,0
totalmente de acuerdo	2	10,0	10,0	100,0
Total	20	100,0	100,0	

**Fuente: Elaboración propia de autor**



*Figura 68 Considera realizar la sectorización del proyecto de acuerdo a la magnitud, recursos a utilizarse por cada actividad y los responsables*

*Fuente: Elaboración propia de autor*

#### **INTERPRETACION**

De los 20 encuestados el 45% dijeron de acuerdo a la pregunta: ¿Considera realizar la sectorización del proyecto de acuerdo a la magnitud, recursos a utilizarse por cada actividad y los responsables? y el 10% dijeron desacuerdo.

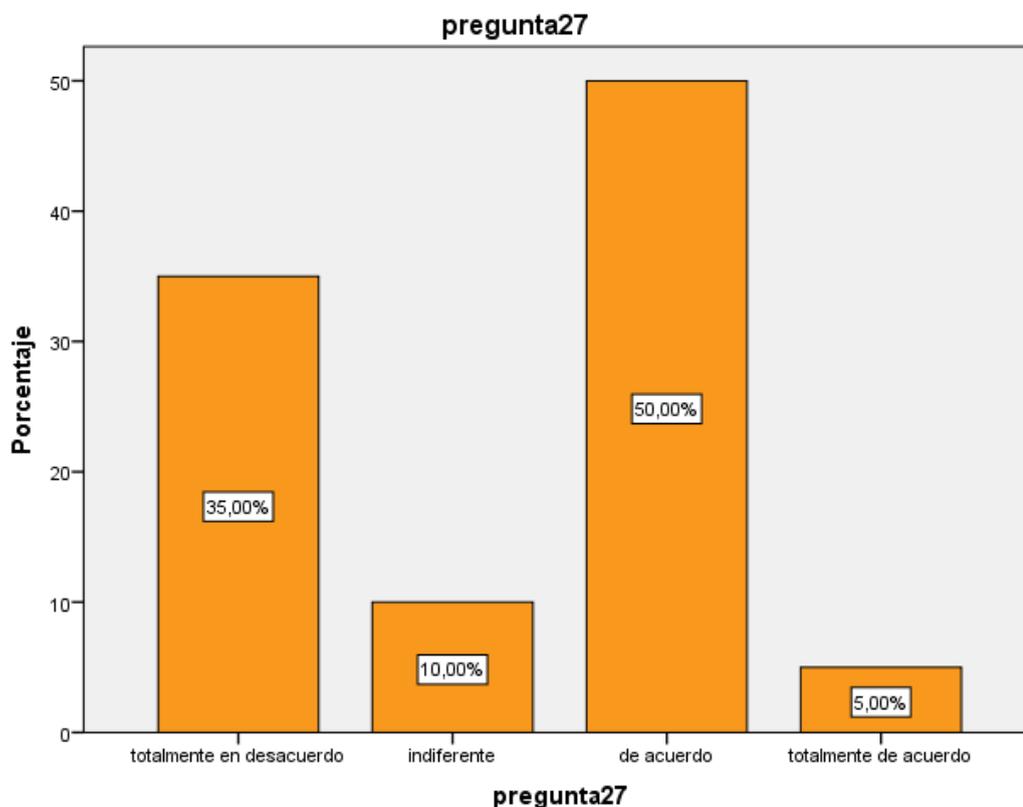
*Tabla 34*

*Considera la aplicación del polvo de fibra de vidrio en la utilización en los pavimentos flexibles*

**pregunta27**

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	totalmente en desacuerdo	7	35,0	35,0	35,0
	indiferente	2	10,0	10,0	45,0
	de acuerdo	10	50,0	50,0	95,0
	totalmente de acuerdo	1	5,0	5,0	100,0
	Total	20	100,0	100,0	

*Fuente: Elaboración propia de autor*



**Figura 69** Considera la aplicación del polvo de fibra de vidrio en la utilización en los pavimentos flexibles  
**Fuente:** Elaboración propia de autor

**INTERPRETACION**

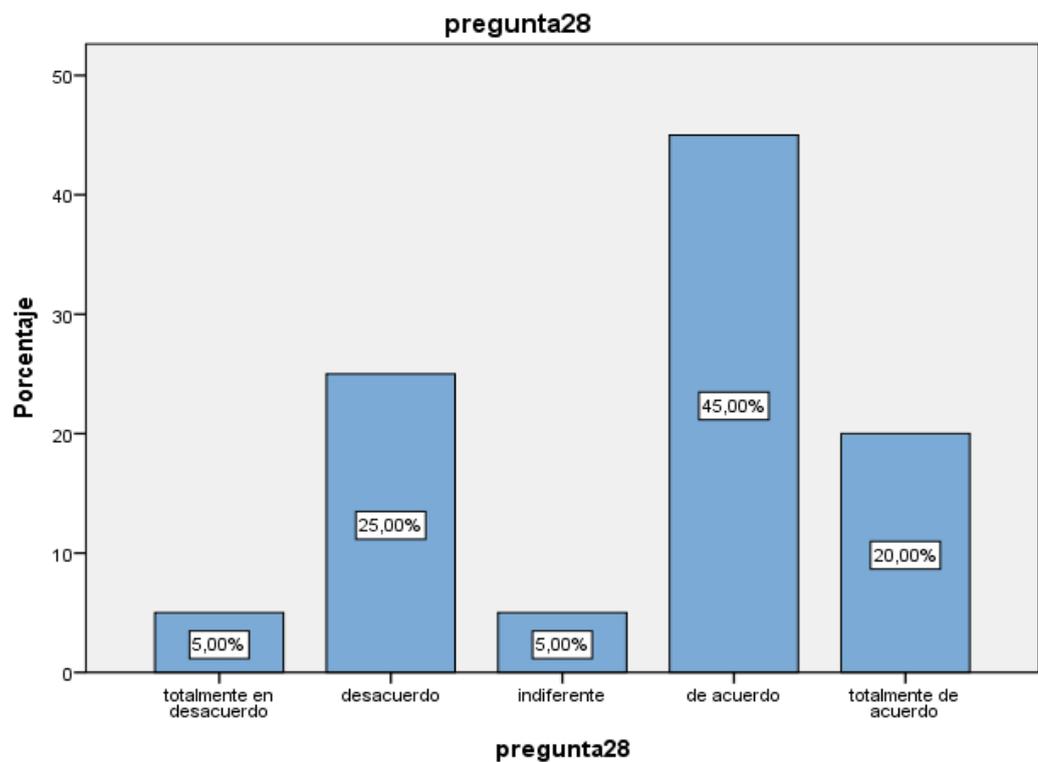
De los 20 encuestados el 50% dijeron de acuerdo a la pregunta: ¿ Considera la aplicación del polvo de fibra de vidrio en la utilización en los pavimentos flexibles? y el 5% dijeron totalmente de acuerdo.

**Tabla 35**  
**Cuánto influye el aumento de la productividad al diseñar de forma conjunta el proyecto y los procesos**

**pregunta28**

	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido totalmente en desacuerdo	1	5,0	5,0	5,0
desacuerdo	5	25,0	25,0	30,0
indiferente	1	5,0	5,0	35,0
de acuerdo	9	45,0	45,0	80,0
totalmente de acuerdo	4	20,0	20,0	100,0
Total	20	100,0	100,0	

**Fuente:** Elaboración propia de autor



*Figura 70 Cuánto influye el aumento de la productividad al diseñar de forma conjunta el proyecto y los procesos*

*Fuente: Elaboración propia de autor*

### INTERPRETACION

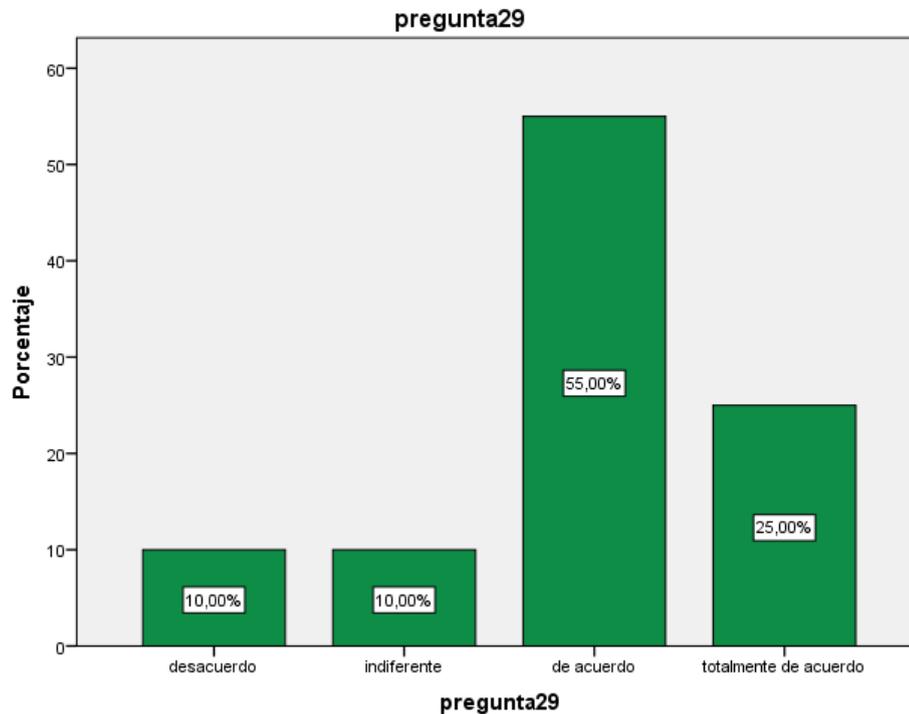
De los 20 encuestados el 45% dijeron de acuerdo a la pregunta: ¿ Cuánto influye el aumento de la productividad al diseñar de forma conjunta el proyecto y los procesos? y el 5% dijeron indiferente.

*Tabla 36 Se deben perfeccionar los procesos existentes antes a evaluar otros ya que se busca mantener un equilibrio entre el mejoramiento de los flujos y conversiones*

**pregunta29**

	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido    desacuerdo	2	10,0	10,0	10,0
indiferente	2	10,0	10,0	20,0
de acuerdo	11	55,0	55,0	75,0
totalmente de acuerdo	5	25,0	25,0	100,0
Total	20	100,0	100,0	

*Fuente: Elaboración propia de autor*



*Figura 71 Se deben perfeccionar los procesos existentes antes a evaluar otros ya que se busca mantener un equilibrio entre el mejoramiento de los flujos y conversiones*

*Fuente: Elaboración propia de autor*

### INTERPRETACION

De los 20 encuestados el 55% dijeron de acuerdo a la pregunta: ¿ Se deben perfeccionar los procesos existentes antes a evaluar otros ya que se busca mantener un equilibrio entre el mejoramiento de los flujos y conversiones? y el 10% dijeron desacuerdo.

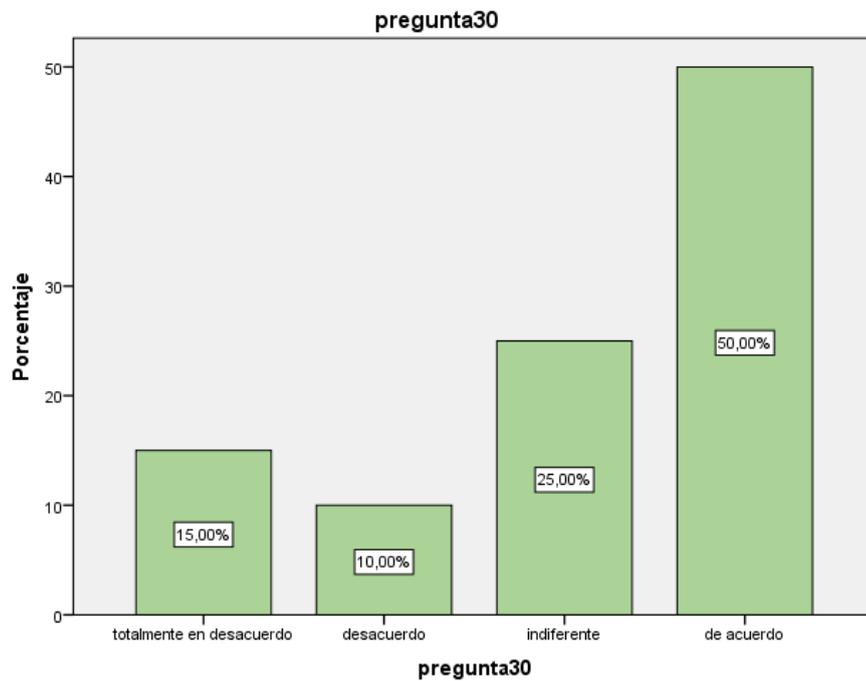
*Tabla 37*

*se debe simplificar los procesos con el fin de manejar adecuados lotes de producción y atender la demanda*

**pregunta30**

	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido totalmente en desacuerdo	3	15,0	15,0	15,0
desacuerdo	2	10,0	10,0	25,0
indiferente	5	25,0	25,0	50,0
de acuerdo	10	50,0	50,0	100,0
Total	20	100,0	100,0	

*Fuente: Elaboración propia de autor*



*Figura 72 se debe simplificar los procesos con el fin de manejar adecuados lotes de producción y atender la demanda*

*Fuente: Elaboración propia de autor*

#### **INTERPRETACION**

de los 20 encuestados el 50% dijeron de acuerdo a la pregunta: ¿se debe simplificar los procesos con el fin de manejar adecuados lotes de producción y atender la demanda? y el 10% dijeron desacuerdo.

## V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

- El resultado de la investigación, MEJORAMIENTO DEL PAVIMENTO FLEXIBLE MEDIANTE LA APLICACION DE POLVO DE FIBRA DE VIDRIO SOBRE SUBRASANTE DE LA CARRETERA TANTAMAYO – CARPA (KM. 00+000 AL 24+487), DEPARTAMENTO DE HUANUCO, 2023. Se llegó a lograr que aplicando el polvo de fibra de vidrio, mejora la resistencia y durabilidad del pavimento flexible. Según los resultados de los estudios de suelo, del C.B.R. con aditivo al 100% de M.D.S. (%) de 0.1” la resistencia es de 98.4, a diferencia del C.B.R. polvo de fibra de vidrio es de 43.2.
- El resultado de la investigación, DIFERENCIA DEL PRESUPUESTO DE OBRA APLICANDO POLVO DE FIBRA DE VIDRIO Y SIN POLVO DE FIBRA DE VIDRIO, DE LA CARRETERA TANTAMAYO – CARPA (KM. 00+000 AL 24+487), DEPARTAMENTO DE HUANUCO, 2023”. Se llegó a lograr de que existe una gran diferencia en el presupuesto con polvo de fibra de vidrio costo total de la obra es de S/ 867,320.94 (Ochocientos sesenta y siete mil trescientos veinte con 94/00 Soles) y sin polvo de fibra de vidrio el costo total de la obra es de S S/ 1,053,304.77 (Un millón cincuenta y tres mil trescientos cuatro con 77/00 Soles). Teniendo como resultado que la diferencia de los dos presupuestos de obra es de 17.66%, reduciendo totalmente el costo y tiempo de la obra.
- El resultado de la investigación, CUÁL SERÍA EL ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO FLEXIBLE EN LA CARRETERA TANTAMAYO – CARPA, EN EL DEPARTAMENTO DE HUANUCO. Se logró evaluar el pavimento flexible calculando el índice de condición del pavimento (PCI), se elaboró dos fichas cada 661 ml, analizando los tipos de fallas del pavimento, en donde se llegó a calcular que el primer tramo el PCI es de 16.00 y verificando la (Figura 8: Clasificación del PCI).
- La condición del pavimento es muy mala, en el segundo tramo el PCI es de 10.00 y verificando la (Figura 8: Clasificación del PCI). La condición del pavimento es muy mala

## VI. CONCLUSIONES

- El suelo estudiado en la presente investigación en su estado natural es una arcilla de baja plasticidad (CL) según la metodología de clasificación de suelos SUCS y de acuerdo a la clasificación AASHTO, corresponde al grupo de arcillas arenosas con baja plasticidad (A-6(4)). El límite líquido y plástico que presenta el suelo es de 34% y 25% respectivamente, dando como resultado un índice de plasticidad de 9%. Asimismo, del ensayo de Proctor Modificado se determinó que la Máxima Densidad Seca (MDS) es de 1.727 g/cm<sup>3</sup> y el Optimo contenido de Humedad (OCH) es de 17.2%. Finalmente, se determinó que el valor de CBR a 0.1" de penetración es de 3.7% al 95% de la MDS, con lo cual no es considerado apto para ser utilizado como capa subrasante de un pavimento flexible, según lo establecido en el manual de carreteras, suelos, geología, geotecnia y pavimentos del MTC.
- La adición de polvo de fibra de vidrio tiene una influencia mínima en la compactación del suelo debido a que con la adición de un 12% solo se logró incrementar la máxima densidad seca en una 4%. Por otro lado, la capacidad portante del suelo la cual está determinada por el valor de CBR del mismo, logro un incrementar de un 3.7% a hasta 13%, con lo cual se logró incremento porcentual de hasta un 250%. La adición de polvo de fibra de vidrio reduce el índice de poros del suelo, dando como resultado 138 una mejor densificación del suelo teniendo como resultado final un incremento de la capacidad portante
- Se realizó el diseño del pavimento flexible con subrasante estabilizada con polvo de fibra de vidrio para una etapa de 10 y 20 años siguiendo la metodología AASHTO 1993. Se obtuvo espesores 9, 15 y 15 cm para la carpeta asfáltica, base y subbase respectivamente para un periodo de diseño 10 años, logrando una reducción de 3cm en la base y 5cm en la subbase con respecto al diseño de pavimento propuesto en el expediente técnico de la carretera, en el cual se propuso mejorar la subrasante con material Over. De igual modo para un diseño de 20 años los espesores obtenidos fueron de 11, 15, 15 cm, siendo menores a los espesores propuesto por el expediente el cual recomendaba 11, 17.5 y 20 cm de espesor para cada capa respectivamente.

## VII. RECOMENDACIONES

- La aplicación de polvo de fibra de vidrio reciclado como agente estabilizador presenta una gran eficiencia en arcillas de baja plasticidad en subrasantes, por lo que puede ser evaluada como una alternativa sostenible para su uso en estabilizaciones.
- Es necesario realizar Ensayos físicos que permiten determinar la Granulometría, Límites de Attemberg y contenido de humedad para determinar la dosificación de polvo de fibra de vidrio a utilizar.
- La propuesta de estabilización puede considerar además la aplicación de un drenaje superficial que permita distribuir el agua proveniente de las constantes lluvias en la zona de estudio, con el fin de evitar el ingreso de agua a las capas del pavimento y se reduzca progresivamente la capacidad de soporte de las capas y subrasante del pavimento.
- La metodología AASHTO 93 para el diseño de espesores de pavimento y la metodología mecánica AASHTO 2008 para obtener valores del comportamiento mecánico del pavimento en términos de esfuerzos, deformaciones y deflexiones, son alternativas eficientes en cuanto a la obtención de valores con baja cantidad de pérdida.
- La selección del software de pavimentos a utilizar para realizar un Análisis mecánico en las diferentes capas del pavimento, debe realizarse en función a la información necesaria como data de entrada solicitada por cada software, así como la metodología mecanicista a considerar para el cálculo de valores mecánicos del pavimento.
- Se debe de implementar la aplicación de metodologías mecánicas en el País, ya que estas no cuentan con mucha difusión en información con el fin de obtener un análisis más real del performance de la estructura del pavimento durante su periodo de diseño. Por lo que se debe considerar especificaciones adicionales de carga, propiedades mecánicas de materiales, temperatura, humedad, lo cual permitirá obtener escenarios más reales de cómo se comportará el pavimento proyectado en un tiempo definido.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acurio, i. J. (2016). Ingeniería de pavimentos: materiales. Lima, Perú: instituto de la construcción y gerencia.
- Acurio, i. J. (2016). Ingeniería de pavimentos: variables de diseño. Lima, Perú: instituto de la construcción y gerencia.
- Alfaro Villacorta, j. J., & Cisneros paredes, j. R. (2015). Diseño del reforzamiento del pavimento flexible con geotextil de la carretera a puerto Morín, provincia Virú, departamento de la libertad. Tesis, Trujillo, Perú.
- American soviet of testing material desgnation 422. (2007). Standard test method for granulometric analysis. Ee.uu.
- American society of testing materials designation 1557. (2002). Standard test methods for laboratory compaction characteristics of soil using modified effort. Ee.uu.
- American society of testing materials designation 1883. (1999). Standard test methods for cbr (california bearing ratio) of laboratory - compacted soils. Ee.uu.
- Biblioteca digital - dirección de sistemas de informática y comunicación esta obra ha sido publicada bajo la licencia creative commons reconocimiento-no comercial-compartir bajo la misma licencia 2.5 Perú. Para ver una copia de dicha licencia, visite <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/85>
- American society of testing materials designation 2216. (1998). Standard proof method for laboratory determination of soil and rock water content in relation to its mass. Ee.uu.
- American society of testing materials designation 4318. (2010). Standard test methods for limit plastic, limit plasticity and index of soils. Ee.uu.
- Bekaert. (2010). Mesh track: fast planning and execution of roads renovation. Reino unido.
- Capeco. (2018). Construcción e industria. Lima, Perú.
- Díaz chuquimango, w. (2017). Influencia de la geomalla en el diseño del pavimento flexible en la vía de evitamiento norte - Cajamarca, 2017. Tesis, Cajamarca, Perú.
- Gratz, d. B. (1998). Análisis de la influencia bitufor sobre la capacidad portante de los refuerzos de superficies viales, aeropuerto de erfurt. Bélgica.
- Instituto nacional de estadística e informática. (2018). Tasa de crecimiento vehicular.
- La industria. (abril de 2017). Carretera la costanera corre riesgo de quedar destruida. La industria.
- Ministerio de transportes y comunicaciones. (2014). Manual de carreteras: mantenimiento o conservación vial. Lima, Perú.

- Ministerio de transportes y comunicaciones. (2014). Manual de carreteras: suelos, geología, geotecnia y pavimentos - sección: suelos y pavimentos. Lima, Perú.
- Ministerio de transportes y comunicaciones. (2016). Manual de ensayos de materiales. Lima, Perú.
- Ministerio de transportes y comunicaciones. (2018). Diseño geométrico de carreteras. Lima, Perú.
- Biblioteca digital - dirección de sistemas de informática y comunicación esta obra ha sido publicada bajo la licencia creative commons reconocimiento-no comercial-compañar bajo la misma licencia 2.5 Perú. Para ver una copia de dicha licencia, visite <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/86>
- Ministerios de transportes y comunicaciones. (2013). Manual de carreteras: especificaciones técnicas generales para construcción . Lima, Perú.
- Muñoz, w. R. (2014). Modelado tridimensional de un pavimento bajo carga dual con elementos finitos. Colombia.
- Orrego Cabanillas, d. A. (2014). Análisis técnico-económico del  
Uso de geomallas como refuerzo de bases granulares en  
Pavimentos flexibles. Tesis, Lima, Perú.
- Prodac. (2015). Sistema bitufo. Soluciones confiables para el  
Sector infraestructura.
- Provias nacional . (2018). Informe técnico julio 2018. Flujo vehicular por unidades de trabajo.
- Rojas, m. A. (2009). Blogs. Obtenido de <http://asarhge5.blogspot.com/2009/07/las-redes-viales-y-su-importancia.html>
- Sandoval, c. H. (2011). Nociones sobre métodos de diseño de estructuras de pavimentos para carreteras. Colombia.
- The asphalt institute. (2010). Adjustment factor for tire pressures. Estados Unidos.
- Vallejos, s. J. (2014). Diseño estructural del pavimento flexible para el anillo vial del óvalo Grau - Trujillo - la libertad. Trujillo.
- Yarango serrano, e. M. (2014). Rehabilitación de la carretera de acceso a la sociedad minera Cerro Verde (S.M.C.V), en el distrito de Uchumayo, Arequipa, Arequipa. Empleando el sistema bitufo para reducir la reflexión de grietas y prolongar la vida útil del pavimento. Tesis, Lima, Perú.

## **ANEXOS**

Anexo 01: Matriz de consistencia

Anexo 02: Matriz de operacionalización

Anexo 03: Validación de instrumento

Anexo 04: Instrumento de recolección Anexo 05: Matriz de Datos

Anexo 06: Propuesta de valor

Anexo 07: Formato de Técnica 5 porque

Anexo 08: Planos

Anexo 09: Autorización

## ANEXO 01 MATRIZ DE CONSISTENCIA

MEJORAMIENTO DEL PAVIMENTO FLEXIBLE MEDIANTE LA APLICACION DE POLVO DE FIBRA DE VIDRIO SOBRE SUBRASANTE DE LA CARRETERA TANTAMAYO – CARPA (KM. 00+000 AL 24+487), DEPARTAMENTO DE HUANUCO, 2023”

PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPOTESIS GENERAL	VARIABLES	DIMENSIONES	INICADORES	METOLOGIA
¿Cuál sería el mejoramiento del pavimento flexible aplicando polvo de fibra de vidrio para estabilizar suelos en la carretera Tantamayo – Carpa (KM. 00+000 AL 24+487), Departamento De Huánuco, 2023?	Analizar cuál sería el mejoramiento del pavimento flexible aplicando polvo de fibra de vidrio para estabilizar los suelos en la carretera Tantamayo – Carpa (KM. 00+000 AL 24+487), Departamento De Huánuco, 2023.	Análisis del mejoramiento del pavimento flexible aplicando polvo de fibra de vidrio para estabilizar los suelos en la carretera Tantamayo – Carpa (KM. 00+000 AL 24+487), Departamento De Huánuco, 2023.	VI: PAVIMENTO FLEXIBLE	ESTUDIO DE SUELOS	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Contenido de Humedad.</li> <li>•Análisis Granulométrico.</li> <li>•Limite Líquido.</li> <li>•Limite Plástico.</li> <li>•Análisis Granulométrico.</li> <li>•Compactacion.</li> <li>•CBR.</li> </ul>	<p><b>Tipo de investigación:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>•Según su carácter: Explicativa (causa y efecto).</li> <li>•Según su naturaleza (enfoque): Cuantitativa.</li> <li>•Según el alcance temporal: Transversal.</li> </ul> <p><b>Tipos de estudio:</b> Descriptivo</p> <p><b>Diseño de investigación:</b> Tipo de diseño: no experimental</p> <p><b>Población:</b> Conformado por 20 trabajadores de una empresa constructora consorcio en el departamento de Huanuco.</p> <p><b>Tipo de muestreo:</b> Muestreo no probabilístico, intencional o dirigida.</p> <p><b>Tamaño de muestra</b> (Unidad de análisis): La muestra por ser pequeña, se toma a la misma población.</p> <p><b>Técnica de recolección de información:</b> Encuesta, observación y análisis de documentos.</p> <p><b>Instrumento de recolección de información:</b> Cuestionario tipo de Likert, guía de observación y análisis de documentos.</p> <p><b>Instrumentos de medición:</b> Fichas de campo o formatos de control, cámara fotográfica, cronometro.</p>
				ESTUDIO DE TRAFICO	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Periodo de Diseño.</li> <li>•Tráfico de Diseño.</li> </ul>	
				PCI	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Unidades de Muestreo.</li> <li>•Tipos de Fallas.</li> </ul>	
PROBLEMAS ESPECIFICOS	OBJETIVOS ESPECIFICOS	HIPOTESIS ESPECIFICOS				
1. ¿Cuál sería la transitabilidad de los vehículos, en el mejoramiento del pavimento flexible aplicando fibra de vidrio para estabilizar suelos, en la Carretera Tantamayo – Carpa (KM. 00+000 AL 24+487), Departamento De Huánuco, 2023?	1. Analizar cuál sería la transitabilidad de los vehículos, en el mejoramiento del pavimento flexible aplicando fibra de vidrio para estabilizar suelos, en la carretera Tantamayo – Carpa (KM. 00+000 AL 24+487), Departamento De Huánuco, 2023.	Análisis de la transitabilidad de los vehículos, en el mejoramiento del pavimento flexible aplicando fibra de vidrio para estabilizar suelos, en la carretera Tantamayo – Carpa (KM. 00+000 AL 24+487), Departamento De Huánuco, 2023.	VD: POLVO DE FIBRA DE VIDRIO	ESTABILIDAD DE SUELOS	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Compactacion.</li> <li>•Densidad.</li> </ul>	
2. ¿Cuál sería el índice de condición del pavimento flexible, en la Carretera Tantamayo – Carpa (KM. 00+000 AL 24+487), Departamento De Huánuco, 2023?	2. Evaluar cuál sería el índice de condición del pavimento flexible, en la carretera Tantamayo – Carpa (KM. 00+000 AL 24+487), Departamento De Huánuco, 2023.	Evaluación del índice de condición del pavimento flexible favorece en la carretera Tantamayo – Carpa (KM. 00+000 AL 24+487), Departamento De Huánuco, 2023.		IMPERMEABILIDAD	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Volumen del Suelo.</li> <li>•Vacio de Suelos Saturados.</li> </ul>	
				CAPACIDAD DE SOPORTE (CBR)	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Humedad de Compactacion.</li> <li>•Expansion.</li> <li>•Valor de relacion de Soporte.</li> </ul>	

## ANEXO 02 MATRIZ DE OPERACIONALIZACION DE VARIABLES

“MEJORAMIENTO DEL PAVIMENTO FLEXIBLE MEDIANTE LA APLICACION DE POLVO DE FIBRA DE VIDRIO SOBRE SUBRASANTE DE LA CARRETERA TANTAMAYO – CARPA (KM. 00+000 AL 24+487), DEPARTAMENTO DE HUANUCO, 2023”

VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA DE MEDICION
VI: PAVIMENTO FLEXIBLE	ESTUDIO DE SUELOS	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Contenido de Humedad.</li> <li>•Análisis Granulométrico.</li> <li>•Límite Líquido.</li> <li>•Límite Plástico.</li> <li>•Análisis Granulométrico.</li> <li>•Compactación.</li> <li>•CBR.</li> </ul>	ORDINAL
	ESTUDIO DE TRAFICO	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Período de Diseño.</li> <li>•Tráfico de Diseño.</li> </ul>	ORDINAL
	PCI	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Unidades de Muestreo.</li> <li>•Tipos de Fallas.</li> </ul>	ORDINAL
VD: POLVO DE FIBRA DE VIDRIO	ESTABILIDAD DE SUELOS	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Compactación.</li> <li>•Densidad.</li> </ul>	ORDINAL
	IMPERMEABILIDAD	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Volumen del Suelo.</li> <li>•Vacío de Suelos Saturados.</li> </ul>	ORDINAL
	CAPACIDAD DE SOPORTE (CBR)	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Humedad de Compactación.</li> <li>•Expansión.</li> <li>•Valor de relación de Soporte.</li> </ul>	ORDINAL

## ANEXO N° 03 VALIDACION DEL INSTRUMENTO

MATRIZ DE VALIDACIÓN DEL INSTRUMENTO DE OBTENCIÓN DE DATOS							
<b>Título de la investigación:</b>							
"Mejoramiento del pavimento flexible aplicando aditivo AGGREBIND para estabilizar suelos en la Calle los Eucaliptos, en el distrito de Chaclacayo-Lima-2018"							
<b>Apellidos y nombres del investigador:</b>							
<b>Apellidos y nombres del experto:</b>							
ASPECTO POR EVALUAR				OPINIÓN DEL EXPERTO			
VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	ITEM	ESCALA	SI CUMPLE	NO CUMPLE	OBSERACIONES / SUGERENCIAS
<b>PAVIMENTO FLEXIBLE</b>	Estudio de Suelos	Contenido de Humedad	F O R M U L A S	ORDINAL	X		
		Análisis Granulométrico		ORDINAL	X		
		Limite Líquido		ORDINAL	X		
		Limite Plástico		ORDINAL	X		
		Compactación		ORDINAL	X		
		CBR		ORDINAL	X		
	Estudio de Tráfico	Periodo de Diseño		ORDINAL	X		
		IMDA		ORDINAL	X		
		Tráfico de Diseño		ORDINAL	X		
	PCI	Unidades de Muestreo		ORDINAL	X		
Tipos de Fallas		ORDINAL	X				
Calculo de PCI		ORDINAL	X				
<b>POLVO DE FIBRA DE VIDRIO</b>	Estabilidad de suelos	Espesor	ORDINAL	X			
		Compactación	ORDINAL	X			
		Densidad	ORDINAL	X			
	Impermeabilidad	Volumen del suelo	ORDINAL	X			
		Vacío de Suelos Saturados	ORDINAL	X			
	Capacidad de Soporte (CBR)	Expansión	ORDINAL	X			
		Valor de la relación de Soporte	ORDINAL	X			
<b>Firma del experto</b>			<b>Fecha //</b>				

## ANEXO N° 04 MATRIZ DE DATOS

ENCUESTADOS	VARIABLE INDEPENDIENTE: PAVIMENTO FLEXIBLE															VARIABLE DEPENDIENTE: POLVO DE FIBRA DE VIDRIO.														
	P.1	P.2	P.3	P.4	P.5	P.6	P.7	P.8	P.9	P.10	P.11	P.12	P.13	P.14	P.15	P.16	P.17	P.18	P.19	P.20	P.21	P.22	P.23	P.24	P.25	P.26	P.27	P.28	P.29	P.30
E.1	4	5	5	5	5	5	5	3	4	5	5	5	5	4	4	5	5	4	5	5	5	3	5	5	5	5	4	5	4	3
E.2	4	5	5	4	5	5	3	3	4	5	5	5	3	4	4	3	3	4	5	5	5	3	5	5	3	3	4	5	5	3
E.3	4	5	4	4	4	4	4	4	4	5	5	5	4	5	5	4	4	4	5	4	5	4	5	5	4	4	4	5	5	4
E.4	4	5	5	3	5	4	4	4	4	5	5	5	5	3	3	5	5	4	5	5	5	4	4	5	4	4	4	5	5	4
E.5	4	5	3	3	5	4	5	4	4	5	5	5	5	5	5	5	3	4	5	3	5	4	4	5	5	5	4	5	5	4
E.6	4	4	4	5	4	5	5	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	4	4	4	3	4	4	5	3
E.7	5	4	4	5	5	5	5	3	5	4	4	5	4	4	4	4	4	5	4	4	4	4	5	4	5	5	5	4	5	3
E.8	3	4	5	5	3	3	4	5	3	4	4	5	4	3	5	4	5	3	4	5	4	4	3	4	5	3	3	4	4	5
E.9	4	5	5	4	4	5	3	4	4	5	5	5	5	5	5	5	5	4	5	5	5	4	5	5	4	4	4	5	4	4
E.10	3	3	4	4	4	3	3	5	3	3	3	5	3	4	4	5	5	3	3	4	3	5	5	3	4	4	3	3	5	5
E.11	3	5	4	4	5	4	5	3	3	5	5	4	4	5	3	4	3	3	5	4	5	5	5	5	4	5	3	5	4	3
E.12	4	4	5	5	5	4	4	4	4	4	4	4	4	5	5	3	4	4	4	5	4	5	5	4	5	5	4	4	5	5
E.13	4	4	5	4	5	4	4	4	4	4	4	4	5	5	3	5	5	4	4	5	4	5	3	4	5	5	4	4	5	5
E.14	4	4	5	4	4	5	5	4	4	4	4	5	5	4	4	5	3	4	4	5	4	4	4	4	5	5	4	4	5	5
E.15	3	3	5	3	4	5	5	5	3	3	3	4	5	4	4	5	4	3	3	5	3	4	4	3	5	5	3	3	5	3
E.16	3	3	5	3	4	4	3	5	3	3	3	4	4	4	5	5	4	3	3	5	3	4	5	3	5	3	3	3	4	4
E.17	5	5	4	5	5	4	4	3	5	5	5	5	4	5	5	5	5	5	5	4	5	5	5	5	4	5	5	5	4	4
E.18	4	5	4	5	5	4	4	3	4	5	5	5	5	4	5	4	4	4	5	4	5	5	5	5	3	4	4	5	4	5
E.19	5	5	5	5	3	4	5	3	5	5	5	4	5	5	4	4	5	5	5	5	5	5	5	5	3	4	5	5	5	5
E.20	3	3	4	4	5	5	5	4	3	3	3	5	5	5	3	4	5	3	3	4	5	5	4	4	5	3	3	3	4	4

## ANEXO N° 05 PROPUESTA DE VALOR

Solución tecnológica

Introducción:

El estudio para el “MEJORAMIENTO DEL PAVIMENTO FLEXIBLE MEDIANTE LA APLICACION DE POLVO DE FIBRA DE VIDRIO SOBRE SUBRASANTE DE LA CARRETERA TANTAMAYO – CARPA (KM. 00+000 AL 24+487), ha sido elaborado para ser ejecutado por contratación pública; el presupuesto está basado en criterios técnicos específicos los cuales fueron elegidos para calcular el costo total de los trabajos de mantenimiento, el cual está en función del análisis del costo de la mano de obra, precio de flete por transporte de equipo y materiales, el precio de los materiales a ser usados, los gastos de operación del equipo y maquinaria necesaria para llevar a cabo este mantenimiento, el cálculo de los mitrados correspondientes a las actividades que formarán parte del proceso constructivo, la confección de los análisis de costos unitarios que evaluarán el costo de cada actividad, la formulación de los gastos generales o costo indirecto de la obra y las especificaciones técnicas del proyecto, que definen los parámetros del proceso constructivo de la obra y de los materiales a ser usados en ella.

Ubicación:

La carretera Tanta mayo - Carpa, Tramo I: La calzada – Soritor, se encuentra ubicada en la provincia de Huánuco, La zona de estudio se delimitará al tramo I que comprende las progresivas 0+000 Km a 24+487 Km.



Figura: Ubicación geográfica de la Carretera Tanta mayo - Carpa

Descripción de la zona de estudio.

La tabla muestra información de clasificación de la vía, condiciones ambientales y diseño vial de la carretera, a partir de información mencionada por el expediente técnico de la consultora JNR. La tabla 8 describe la zona de estudio.

---

## CLASIFICACIÓN BÁSICA DE LA VIA

---

### Clasificación de la Red vial

**(Función)** Carretera Secundaria

**Eje Multimodal**

-

**Red integral vial**

**Zona de estudio** 0+000 Km - 12+400 Km

**Demanda de tráfico** 1500 veh/día

---

## CONDICIONES AMBIENTALES

**Orografía** Cordillera de los andes

**Relieve** Accidentado

**Temperatura promedio** 18°C

**Precipitaciones** Lluvias intensas

---

## DISEÑO VIAL

---

**Ancho de vía** 3.50 m - 4.50 m

**Pendientes** 3.41% - 4.98%

**Geometría** Sinuosa

Nota: En la tabla se indica información de la vía en estudio.

Características del suelo en zona de estudio.

El estudio de suelos realizado por la Consultora brinda información de los resultados obtenidos de la caracterización de la subrasante durante exploraciones en campo. Las muestras extraídas fueron estudiadas en laboratorio, mediante ensayos de clasificación de suelos mostrados en la tabla 9. Asimismo, se presentan resultados obtenidos durante la exploración de campo y caracterización del terreno de fundación y capas del pavimento que indica el expediente en la tabla 10.

Tabla 9: Ensayos de laboratorio en muestras representativas de suelos

Ensayos estándar de Suelos	Normativa
Análisis Granulométrico por tamizado	MTC E-107
Límites de Attemberg	MTC E-1010
Contenido de humedad	MTC E-108
Clasificación SUCS	ASTM D-2487
Clasificación AASHTO	AASHTO M-145
Ensayos de Compactación de suelos	Normativa
Proctor Modificado	MTC E-115
Relación de soporte de California (CBR)	MTC E-132

**Nota:** En la tabla se indican los Ensayos de laboratorio y Normativas, para clasificación de tipo de suelos y compactación.

Tabla 10: Resultados de Ensayos de laboratorio en muestras representativas de suelos naturales

Capas granulares	Clasificación SUCS	Clasificación AASHTO	CBR (%)	Humedad (%)	Límite Líquido (%)	Límite Plástico (%)	Índice Plástico (%)
Carpeta asfáltica	-	-	-	-	-	-	-
Base	GW	A-1a	60.00	16.96	50.92	25.10	25.82
Subbase	SM	A-2-4	40.00	19.09	58.11	31.23	26.88
Subrasante	CL	A-6	3.70	23.00	54.52	28.17	26.35

**Nota:** En la tabla se indica información resultados de ensayos físicos y mecánicos a suelo natural.

Propuesta de estabilización y compatibilidad con polvo de fibra de vidrio.

Propiedades de polvo de fibra de vidrio.

Según Javed & Chakraborty, 2020, el uso de polvo de vidrio en diferentes porcentajes incrementa la cohesión en suelos finos. La aplicación de polvo de fibra de vidrio en un 10% permite incrementar el valor de CBR en suelos arcillosos hasta en un valor de 15.8%. Este porcentaje óptimo, permite incrementar la resistencia a la compresión en un 50% y resistencia al corte en un 30%. Asimismo, permite reducir el límite plástico, lo que indica que la arcilla desarrolla un comportamiento elástico. Compatibilidad entre polvo de fibra de vidrio y suelo arcilloso.

Porcentaje óptimo de polvo de fibra de vidrio reciclado.

El polvo de fibra de vidrio es considerado como un material reciclado fino con alto porcentaje de sílice, como lo es el cemento. Por lo tanto, la norma NTP 339.134:1999 define que la estabilización con cemento debe estar entre rangos de 2% a 12% en peso seco de la muestra.

Normativa de dosificación de suelos arcillosos.

En función de los antecedentes de estabilización de polvo de fibra de vidrio reciclado y normativa nacional, se ha seleccionado trabajar con un porcentaje de polvo de fibra de vidrio de 12%.

Dosificación de polvo de fibra preliminar.

La tabla 12 muestra cálculos realizados a partir del análisis realizado por Javed & Chakraborty, 2019, en su estudio de estabilización de suelos arcillosos con polvo de vidrio reciclado. Se realizaron tendencias de valores que describen el comportamiento mecánico del suelo de subrasante en función de suelos arcillosos en puntos críticos del Tramo I.

Tabla 12: Influencia del % de polvo de fibra de vidrio reciclado en propiedades mecánicas de suelos arcillosos

% Óptimo Polvo de fibra de vidrio reciclado	Límites Líquido (%)	Límite Plástico (%)	Índice de Plasticidad (%)	Gravedad específica (g/cm <sup>3</sup> )	Óptimo contenido de humedad (%)	Incremento de CBR en (%)	Resistencia a la compresión (kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia al corte (Kg/cm <sup>2</sup> )
0%	50%	28%	19%	2.64	17%	15.60%	0.63	0.18
2%	45%	26%	19%	1.89	17%	2.45%	0.73	0.54
4%	41%	23%	17%	1.95	16%	4.20%	0.87	0.64
6%	38%	22%	17%	2.00	15%	6.50%	1.05	0.77
8%	36%	19%	16%	2.03	13%	8.90%	1.34	0.99
<b>10%</b>	<b>34%</b>	<b>18%</b>	<b>16%</b>	<b>2.03</b>	<b>11%</b>	<b>10.40%</b>	<b>1.20</b>	<b>1.06</b>
12%								

Nota: En la tabla se indican valores de parámetros de caracterización y resistencia de suelos arcillosos estabilizados con polvo de fibra de vidrio reciclado. Elaboración Propia (2020).

A partir de los resultados obtenidos, se ha determinado que el porcentaje óptimo de polvo de fibra de vidrio reciclado a utilizar durante la estabilización de suelos arcillosos es de 10%.

Se ha seleccionado dicho porcentaje, ya que es el que tiene mayor valor de densidad específica, lo que brinda estabilidad a las partículas del suelo ante carga y valor de CBR.

El porcentaje óptimo de 10% en peso seco permite incrementar un valor de CBR crítico en un 15.8%, cumpliendo con lo planteado para el suelo en estudio en la ecuación 8. Esto permite incrementar el valor de CBR de 5.4% a 15.8%, valor que es competitivo y tiene un mejor performance, que el valor de 15.33% planteado en el expediente técnico. A continuación, se muestran gráficos de las tendencias de propiedades mecánicas del suelo estabilizado con polvo de fibra de vidrio.

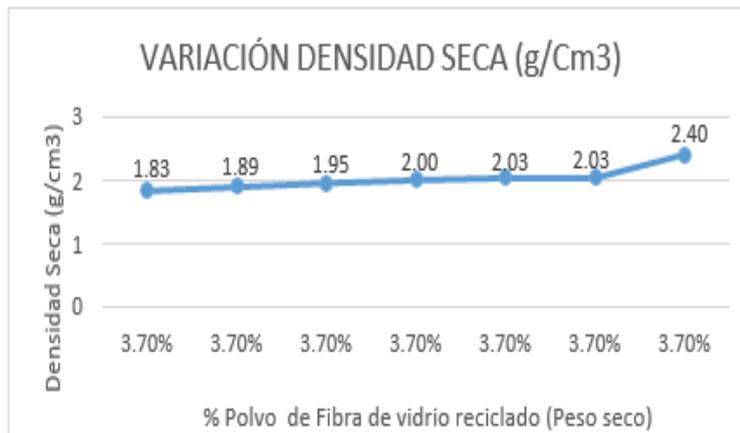


Figura 14: Variación de la densidad específica en suelos estabilizados con diferentes dosificaciones de polvo de fibra de vidrio utilizado, por Elaboración propia,

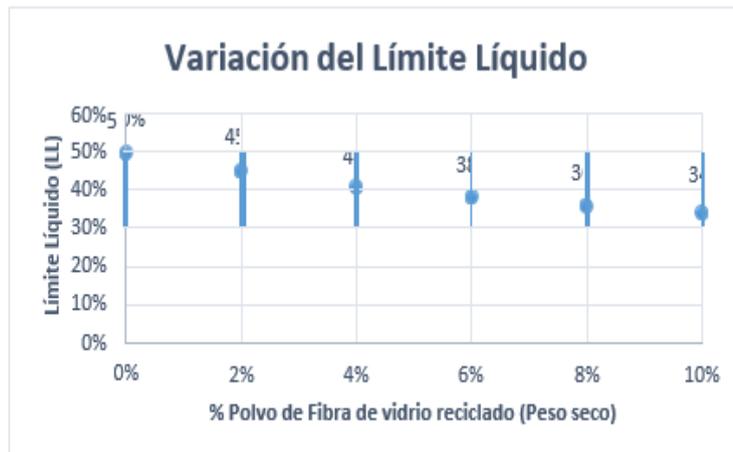


Figura 15: Variación del límite líquido en suelos estabilizados con diferentes dosificaciones de polvo de fibra de vidrio, por Elaboración propia,

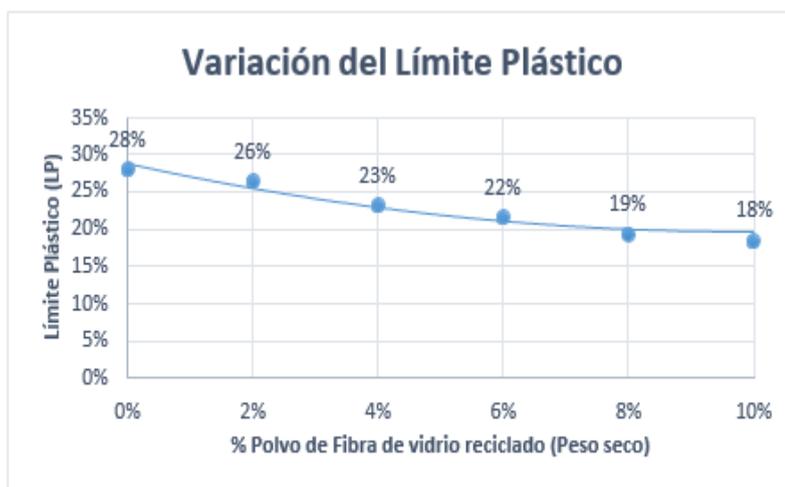


Figura 16: Variación del límite líquido en suelos estabilizados con diferentes dosificaciones de polvo de fibra de vidrio reciclado, por Elaboración propia,

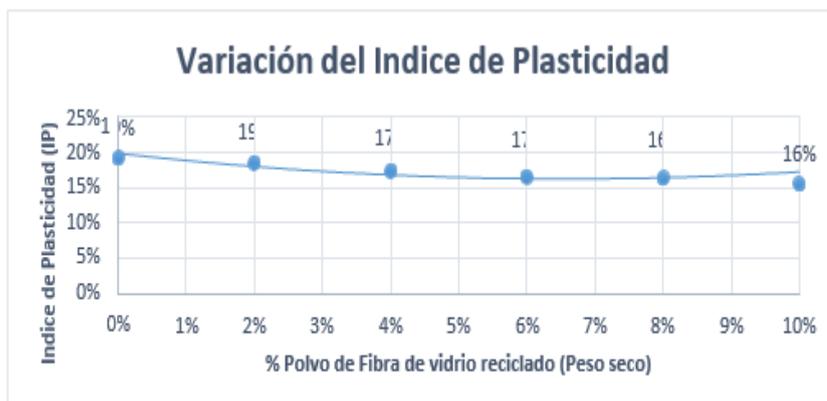


Figura 17: Variación del valor de Índice de plasticidad en función del porcentaje de polvo de fibra de vidrio utilizado, por Elaboración propia.

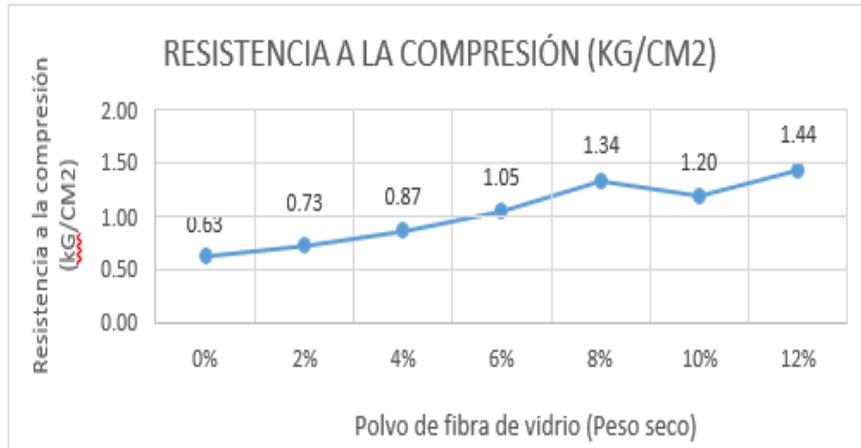


Figura 18: Incremento de la resistencia a la compresión (kg/cm<sup>2</sup>) en función del porcentaje de polvo de fibra de vidrio utilizado, por Elaboración propia.

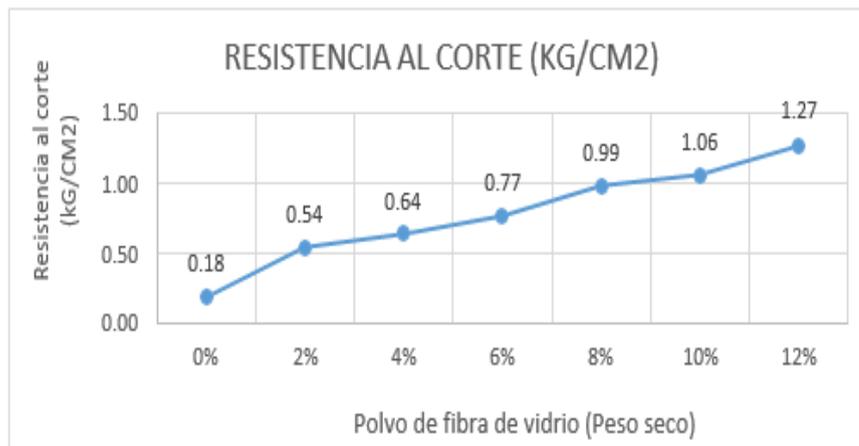
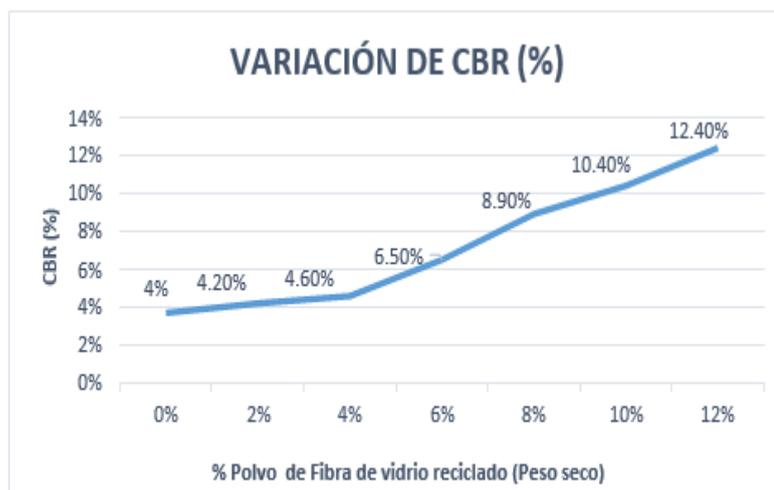


Figura 19: Incremento de la resistencia al corte en función del porcentaje de fibra de vidrio reciclado, por Elaboración propia.

Asimismo, en la tabla 12 presentan valores del Módulo Resiliente en función del valor de CBR incrementado por la estabilización del suelo con polvo de residuos electrónicos. El valor seleccionado como valor de entrada para el diseño de pavimento flexible, corresponde a un porcentaje de 12%, lo cual brinda un incremento del suelo natural de un CBR de 12.40% a un Módulo resiliente de 12,799.14 psi. La variación de los resultados del módulo resiliente, se muestran en la tabla 10.

CBR (%) Crítico < 6%	% Óptimo Polvo de fibra de vidrio	CBR (%)	Módulo Resiliente crítico (psi)	Módulo Resiliente incrementado (psi)
3.70	0	3.70	1,801.33	5,902.55
3.70	2	4.20	1,801.33	6,401.33
3.70	4	4.60	1,801.33	6,785.09
3.70	6	6.50	1,801.33	8,465.56
3.70	8	8.90	1,801.33	10,351.43
3.70	10	10.4	1,801.33	11,436.48
3.70	12	12.40	1,801.33	12,799.14

*Nota:* En la tabla se indican valores de CBR y Módulo resiliente críticos y modificados por la estabilización de suelos arcillosos con polvo de residuos electrónicos en la zona de estudio, por Elaboración Propia.



*Figura 20:* Incremento de CBR en función del porcentaje de polvo de fibra de vidrio utilizado, por Elaboración propia.

Asimismo, en la figura 18 se presenta la variación del Módulo resiliente en función del incremento del CBR por la adición de polvo de fibra de vidrio. Finalmente, muestra la variación del Módulo resiliente en cada punto crítico a estabilizar.

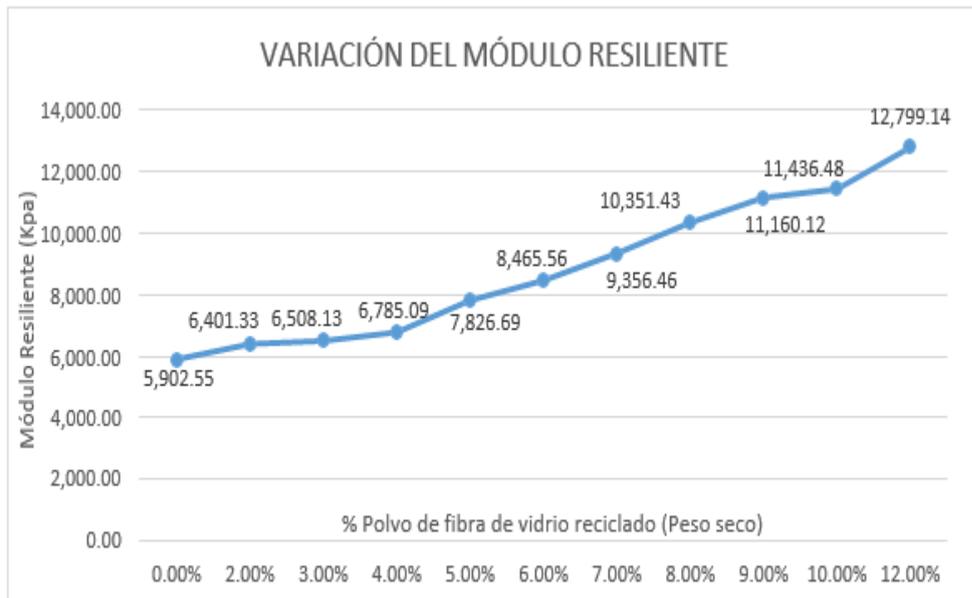
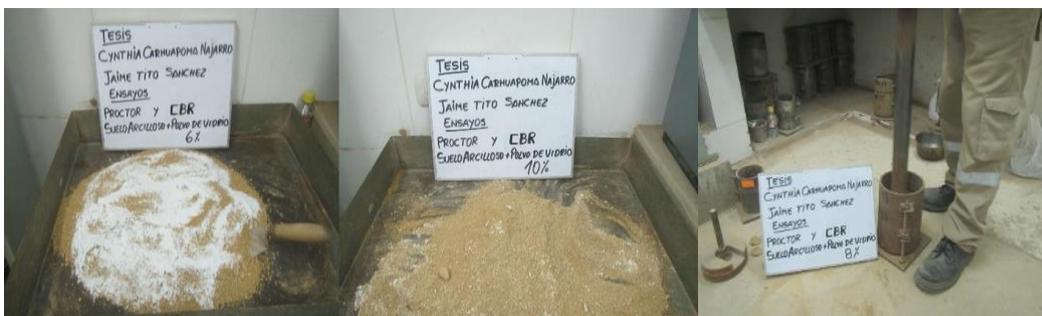


Figura 21: Incremento del Módulo resiliente en función del porcentaje de polvo de fibra de vidrio utilizado, por Elaboración propia.

Ensayos Mecánicos de muestras de suelo arcilloso estabilizado con Polvo de fibra de vidrio.

Ensayo de Proctor Modificado (ASTM D 1557– NTP 339.141).

Se realizó el ensayo de Proctor modificado para cada combinación de polvo de fibra de vidrio reciclado, 6%, 8%, 10 y 12% (hasta 600 gr aproximadamente). La figura 36 muestra el proceso de compactación de muestras con penetrómetro de impacto de 10 lb.



Por otro lado, se presentan los resultados del Ensayo para cada tipo de dosificación en las siguientes tablas. La información contenida muestra los resultados de 4 muestras dosificadas con la misma cantidad de polvo de fibra de vidrio y diferentes contenidos de humedad.

Asimismo, se presentan gráficas de Curvas de compactación que validan el resultado obtenido de Máxima densidad seca y el Contenido de humedad de cada muestra.

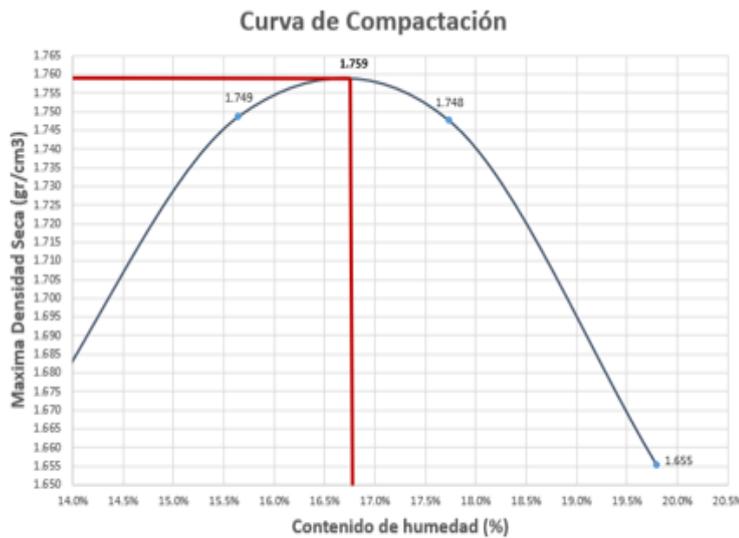
La Tabla presenta el resultado para una muestra dosificada con 6% de polvo de fibra de vidrio seco, obteniéndose una densidad seca de 1.759 g/cm<sup>3</sup> y una humedad de suelo de 15.6%.

Ensayo Proctor Estándar (MTC E 116)

# de Ensayo	1	2	3	4
Contenido de humedad	13.6%	15.6%	17.7%	19.8%
<b>Densidad Seca (gr/cm3)</b>	<b>1.667</b>	<b>1.759</b>	<b>1.748</b>	<b>1.655</b>

*Nota:* En la tabla se indican los valores obtenidos de la máxima densidad seca del suelo arcilloso estabilizado con 6% de polvo de fibra de vidrio reciclado, según el Ensayo de Compactación de Proctor modificado, Elaboración propia,

Por otro lado, la figura gráfica la curva de compactación muestra que el valor de máxima densidad seca se obtiene cuando el suelo presenta una humedad de 16.75%.



*Figura:* En la gráfica se indican los valores obtenidos de compactación del suelo arcilloso natural con 6% de polvo de fibra de vidrio reciclado, según el Ensayo de Proctor modificado, Elaboración propia.

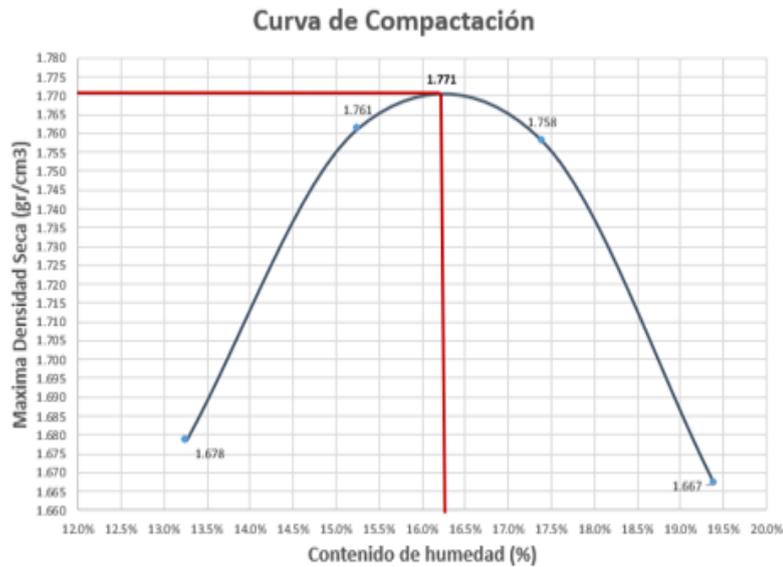
En cuanto a la dosificación de 8%, la Tabla presenta el resultado para una muestra dosificada con 8% de polvo de fibra de vidrio seco, obteniéndose una densidad seca de 1.761 g/cm3 y una humedad de suelo de 15.3%.

Ensayo Proctor Estándar (MTC E 116)

# de Ensayo	1	2	3	4
Contenido de humedad	13.3%	15.3%	17.4%	19.4%
<b>Densidad Seca (gr/cm3)</b>	<b>1.678</b>	<b>1.771</b>	<b>1.758</b>	<b>1.667</b>

*Nota:* En la tabla se indican los valores obtenidos de la máxima densidad seca del suelo arcilloso estabilizado con 8% de polvo de fibra de vidrio reciclado y un contenido de humedad, según el Ensayo de Compactación de Proctor modificado, Elaboración propia.

La curva de compactación para una dosificación de 8% muestra que el valor de máxima densidad seca se obtiene cuando el suelo presenta una humedad de 16.25%, como se observa en la figura.



*Figura:* En la gráfica se indican los valores obtenidos de compactación del suelo arcilloso natural con 8% de polvo de fibra de vidrio reciclado, según el Ensayo de Proctor modificado, Elaboración propia.

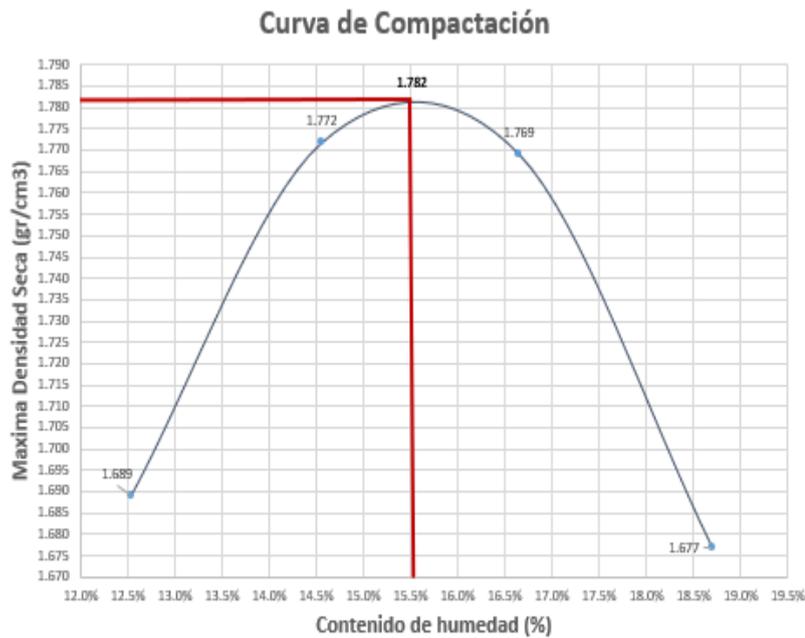
Por otro lado, la dosificación de 10% de polvo de fibra de vidrio seco, presento un resultado de densidad seca de 1.772 g/cm<sup>3</sup> y una humedad de suelo de 14.1%, como se presenta en la tabla .

Ensayo Proctor Estándar (MTC E 116)

# de Ensayo	1	2	3	4
Contenido de humedad	12.5%	14.6%	16.7%	18.7%
<b>Densidad Seca (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>1.689</b>	<b>1.782</b>	<b>1.769</b>	<b>1.677</b>

*Nota:* En la tabla se indican los valores obtenidos de la máxima densidad seca del suelo arcilloso estabilizado con 10% de polvo de fibra de vidrio reciclado y un contenido de humedad, según el Ensayo de Compactación de Proctor modificado, Elaboración propia.

La curva de compactación para una dosificación de 10% muestra que el valor de máxima densidad seca se obtiene cuando el suelo presenta una humedad de 15.5%, como se observa en la figura.



*Figura:* En la gráfica se indican los valores obtenidos de compactación del suelo arcilloso natural con 10% de polvo de fibra de vidrio reciclado, según el Ensayo de Proctor modificado, Elaboración propia.

La última dosificación realizada corresponde al uso de 12% de polvo de fibra de vidrio en muestra de suelo estabilizada. La tabla 33 muestra un valor de Máxima densidad seca de 1.75 g/cm<sup>3</sup> en condiciones de humedad de 13.1%.

Ensayo Proctor Estándar (MTC E 116)

# de Ensayo	1	2	3	4
<b>Contenido de humedad</b>	<b>11.1%</b>	<b>13.1%</b>	<b>15.1%</b>	<b>17.2%</b>
<b>Densidad Seca (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>1.703</b>	<b>1.795</b>	<b>1.783</b>	<b>1.692</b>

*Nota:* En la tabla se indican los valores obtenidos de la máxima densidad seca del suelo arcilloso estabilizado con 12% de polvo de fibra de vidrio reciclado y un contenido de humedad, según el Ensayo de Compactación de Proctor modificado, Elaboración propia.

Asimismo, la curva de compactación para una dosificación de 12% muestra que el valor de máxima densidad seca se obtiene cuando el suelo presenta una humedad de 14.1%, como se observa en la figura.

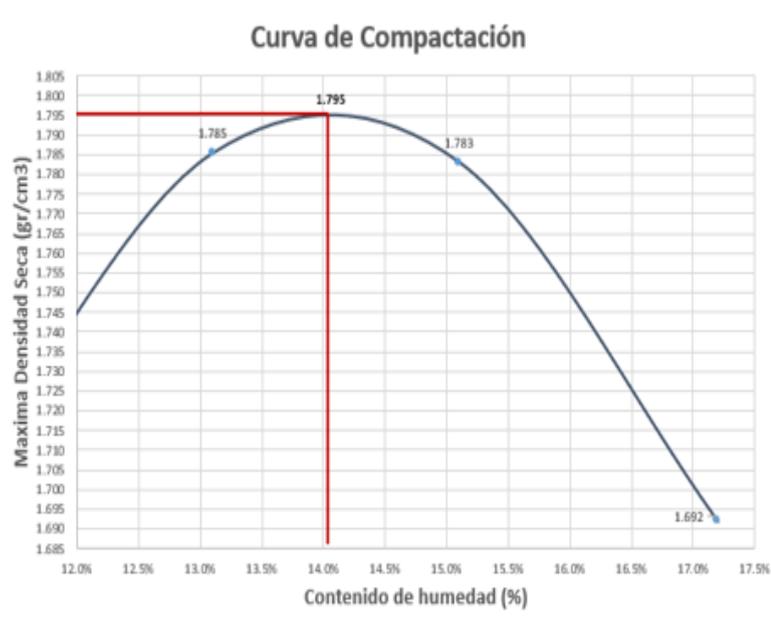


Figura: En la gráfica se indican los valores obtenidos de compactación del suelo arcilloso natural con 12% de polvo de fibra de vidrio reciclado, según el Ensayo de Proctor modificado, Elaboración propia.

De las curvas de compactación, se puede determinar que la máxima densidad seca y el óptimo contenido de humedad, los resultados se muestran en la tabla.

Identificación	Máxima densidad seca (g/cm3)	Optimo contenido de humedad (%)
Suelo natural		
Suelo natural + 6% de polvo de vidrio	1.759	16.75
Suelo natural + 8% de polvo de vidrio	1.761	16.25
Suelo natural + 10% de polvo de vidrio	1.782	15.50
Suelo natural + 12% de polvo de vidrio	<b>1.795</b>	<b>14.10</b>

Nota: En la gráfica se indican los valores obtenidos de Máxima densidad seca y optimo contenido de humedad (%) del suelo arcilloso natural con 6%, 8%, 10% y 12% de polvo de fibra de vidrio reciclado, según el Ensayo de Proctor modificado, Elaboración propia.

Finalmente, los valores de Máxima Densidad Seca, con un valor de 1.795 g/cm3 y un Contenido de humedad de 14.1%, muestran un mejor comportamiento entre la cohesión de partículas del suelo y aportan en mejorar su comportamiento mecánico. Por lo tanto, se opta por la selección del valor 12% para la eficiente estabilización de suelos arcillosos.

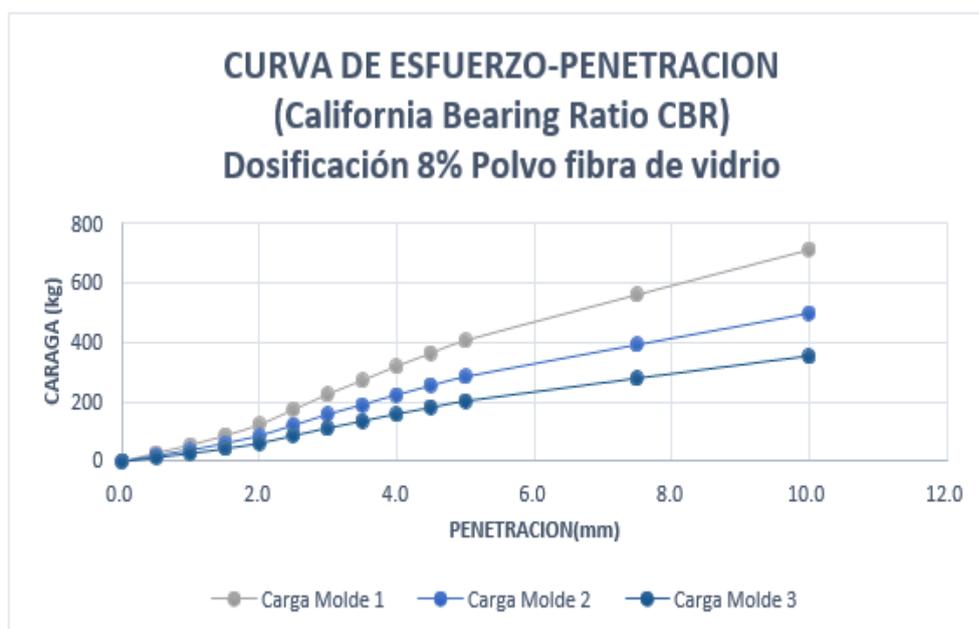
Ensayo de CBR en muestra estabilizado con 8% de Polvo de fibra de vidrio

La tabla muestra los valores de esfuerzos producidos luego de aplicársele carga entre 858.7 N y 3988.4 N con la Máquina Marshal en 3 muestras de suelo estabilizadas con 8 % de polvo de vidrio y compactación variable.

PENETRACION		MOLDE N° 01 (55 Golpes)		MOLDE N° 02 (26 Golpes)		MOLDE N° 03 (12 Golpes)	
(mm)	(pulgadas)	CARGA (N)	ESFUERZO (Kg)	CARGA (N)	ESFUERZO (Kg)	CARGA (N)	ESFUERZO (Kg)
2.5	0.10	1717.4	175	1202.2	123	858.7	88
5.0	0.20	3988.4	407	2791.9	285	1994.2	203

*Nota:* La tabla muestra resultados de penetración con máquina Marshall a 3 muestras de suelo arcilloso natural con 8 % de polvo de fibra de vidrio reciclado, según el Ensayo de CBR, Elaboración propia.

Por otro lado, la figura muestra la variación de esfuerzos producidos al aplicarse carga constante en cada muestra de suelo estabilizada con 8% e polvo de fibra de vidrio y compactación variable. El valor máximo de esfuerzo producido corresponde a un valor de 175 kg/mm con una penetración de 2.5 mm según indica la normativa ASTM D 1883.



*Figura:* La figura muestra el esfuerzo producido por cada molde ensayado dosificado con 8% de polvo de fibra de vidrio reciclado, según el Ensayo de CBR, Elaboración propia.

Ensayo de CBR en muestra estabilizada con 10% de Polvo de fibra de vidrio

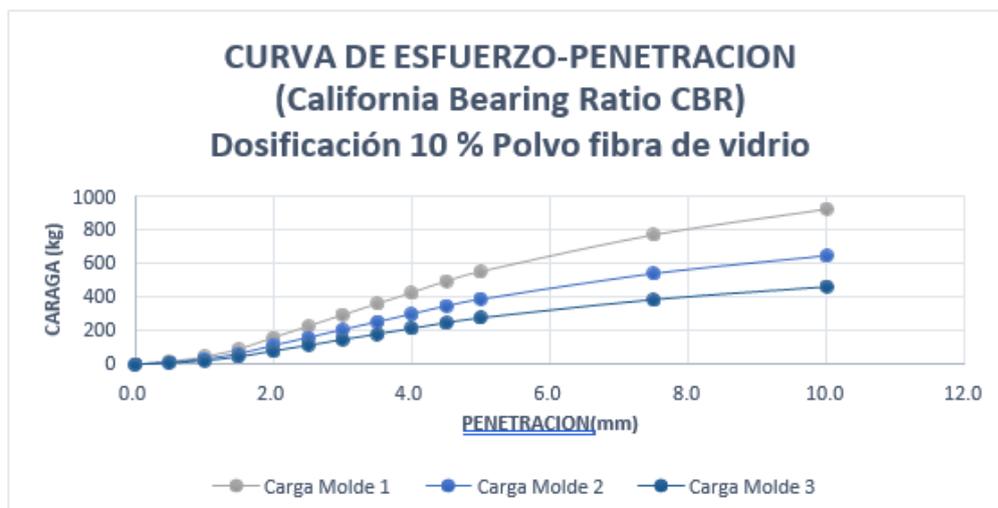
Los valores de esfuerzos producidos luego de aplicársele carga entre 1111.1 N y 5424.2 N con la Máquina Marshall en 3 muestras de suelo estabilizadas con 10 % de polvo de vidrio y compactación variable.

PENETRACION		MOLDE N° 01 (55 Golpes)		MOLDE N° 02 (26 Golpes)		MOLDE N° 03 (12 Golpes)	
(mm)	(pulgadas)	CARGA (N)	CARGA (Kg)	CARGA (N)	CARGA (Kg)	CARGA (N)	CARGA (Kg)
2.5	0.10	2222.2	227	1555.5	159	1111.1	113
5.0	0.20	5424.2	553	3796.9	387	2712.1	276

*Nota:* La tabla muestra resultados de penetración con máquina Marshall a 3 muestras de suelo arcilloso natural con 10 % de polvo de fibra de vidrio reciclado, según el Ensayo de CBR, Elaboración propia.

Por otro lado, la figura muestra la variación de esfuerzos producidos al aplicarse carga constante en cada muestra de suelo estabilizada con 10% e polvo de fibra de vidrio y compactación variable. El valor máximo de esfuerzo producido corresponde a un valor de 227 kg/mm con una

penetración de 2.5 mm según indica la normativa ASTM D 1883



*Figura:* La figura muestra el esfuerzo producido por cada molde ensayado dosificado con 10% de polvo de fibra de vidrio reciclado, según el Ensayo de CBR, Elaboración propia.

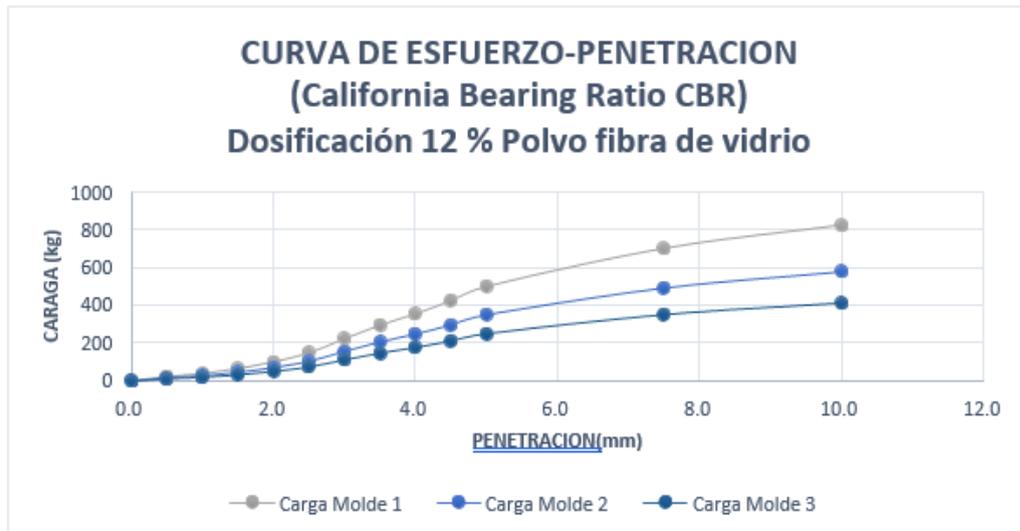
Ensayo de CBR en muestra estabilizada con 12% de Polvo de fibra de vidrio

Los valores de esfuerzos producidos luego de aplicársele carga entre 1111.1 N y 5424.2 N con la Máquina Marshall en 3 muestras de suelo estabilizadas con 10 % de polvo de vidrio y compactación variable.

		MOLDE N° 01 (55 Golpes)		MOLDE N° 02 (26 Golpes)		MOLDE N° 03 (12 Golpes)	
PENETRACION		CARGA	ESFUERZO	CARGA	ESFUERZO	CARGA	ESFUERZO
(mm)	(pulgadas)	(N)	(Kg)	(N)	(Kg)	(N)	(Kg)
2.5	0.10	1470.4	150	1029.3	105	735.2	75
5.0	0.20	4924.7	502	3447.3	351	2462.4	251

*Nota:* La tabla muestra resultados de penetración con máquina Marshall a 3 muestras de suelo arcilloso natural con 12 % de polvo de fibra de vidrio reciclado, según el Ensayo de CBR, Elaboración propia.

La grafica de Curva deformación del ensayo presentada en la figura 45, muestra resultados de la variación de esfuerzos producidos al aplicarse carga constante en cada amuestra de suelo estabilizada con 12% e polvo de fibra de vidrio y compactación variable. El valor máximo de esfuerzo producido corresponde a un valor de 150 kg/mm con una penetración de 2.5 mm según indica la normativa ASTM D 1883.



*Figura:* La figura muestra el esfuerzo producido por cada molde ensayado dosificado con 12% de polvo de fibra de vidrio reciclado, según el Ensayo de CBR, Elaboración propia.

Análisis de resultados de Ensayos Físicos y Mecánicos de muestras de suelo arcilloso estabilizado con Polvo de fibra de vidrio

En función de los resultados obtenidos de laboratorio, se puede observar que hubo una mejora en las propiedades físicas del suelo natural y del suelo en diferentes dosificaciones, siendo la dosificación de 12% la más óptima. A continuación, la Tabla se presentan las propiedades mejoradas del suelo arcillosos estabilizado.

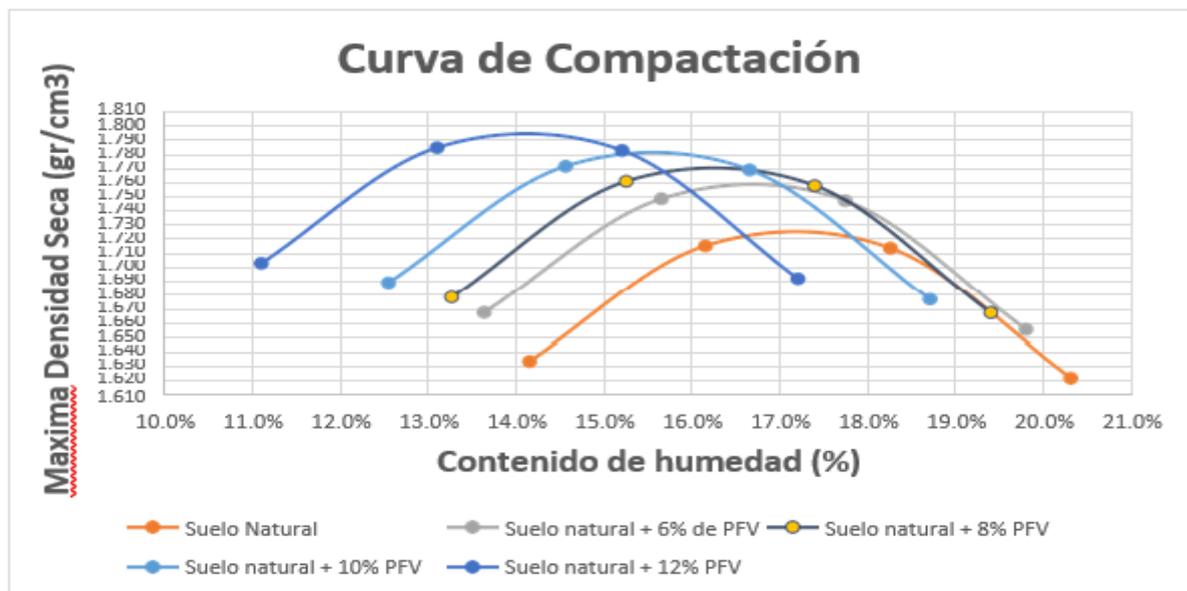
Características físicas	Suelo Natural		Suelo Natural + 12% PFV	
	Contenido de Humedad (%)	16.5		5.9
Límite Líquido (%)	34		28	
Límite Plástico (%)	23		21	
Índice de Plasticidad (%)	11		7	
Clasificación SUCS	CL	Arcilla	CL - ML	Limo
Clasificación AASHTO	A-6 (4)	Limosa	A-4 (2)	Arenoso

*Nota:* Resultados de propiedades físicas de muestra ensayada 12% de polvo de fibra de vidrio, por Elaboración propia.

Asimismo, la densidad máxima seca de las mezclas se incrementó, lo cual indica un menor índice de poros entre partículas a medida se incrementa el contenido de polvo de fibra de vidrio logrando así un suelo más densificado. Por otro lado, el óptimo contenido de humedad disminuye a mayor adición de polvo de fibra de vidrio, esto se debe a que la fibra de vidrio no absorbe agua y las mezclas tienen menor contenido de suelo arcilloso. La tabla presenta los resultados de Máxima densidad seca y Óptimo contenido de humedad obtenido en cada ensayo.

Polvo de fibra de vidrio adicionado (%)	Máxima	Óptimo
	Densidad seca (g/cm)	contenido de humedad (%)
0	1.727	17.2
6	1.759	16.7
8	1.771	16.3
10	1.782	15.6
12	1.797	14.1

*Nota:* Valores obtenidos en laboratorio de Máxima densidad seca (g/cm) y Óptimo contenido de humedad, por Elaboración propia.



**Figura:** Gráfico de variación de valores obtenido en laboratorio de Máxima densidad seca (g/cm<sup>3</sup>) y Óptimo contenido de humedad en función a dosificación de polvo de fibra de vidrio reciclado en muestras de suelo natural, por Elaboración propia,

#### ANEXO N° 06

#### RESULTADOS

#### RESULTADOS ENSAYO DE CLASIFICACION (SUELO NATURAL)

ITEM	LIMITE PLASTICO				LIMITE LIQUIDO	
	1	2	3	4	4	5
Prueba N°	1	2	3	4	4	5
Frasco N°	T139	T130	T27	T111	T64	T76
N° de golpes	18	23	27	30	-	-
Peso de frasco + suelo húmedo (gr)	99	97.5	90.9	81.2	85.2	81.2
Peso de frasco + suelo seco (gr)	91.89	90.88	86.13	88.16	78.88	88.16
Peso de Agua	7.11	6.17	4.77	5.99	6.32	5.99
Peso de frasco (gr)	54.15	54.22	54.19	28.7	28.5	28.7
Peso de suelo seco (gr)	37.74	36.66	31.94	59.46	50.38	59.46
<b>6 Contenido de humedad</b>	<b>18.84</b>	<b>16.83</b>	<b>14.93</b>	<b>10.07</b>	<b>12.54</b>	<b>10.07</b>
<b>Resultados</b>		15.17			11.31	

RESULTADO ENSAYO PROCTOR ESTANDAR (DOSIFICACION 6%).

Ensayo Proctor Estándar (MTC E 116)				
# de Ensayo	1	2	3	4
P. Suelo húmedo + molde (gr)	3529.00	3649.00	3682.00	3612.00
P. Suelo húmedo (gr)	1779.00	1899.00	1932.00	1862.00
Densidad humedad (gr/cm <sup>3</sup> )	1.895	2.022	2.058	1.983
Tara N°	C	53	3	51
P. Suelo húmedo + Tara (gr)	403.20	462.70	392.60	466.70
P. Suelo seco + tara (gr)	363.85	408.85	343.50	401.80
P. recipiente (gr)	75.20	64.70	66.70	73.95
P. Agua (gr)	39.35	53.85	49.10	64.90
P. Suelo seco (gr)	288.65	344.15	276.80	327.85
<b>Contenido de humedad</b>	<b>13.6%</b>	<b>15.6%</b>	<b>17.7%</b>	<b>19.8%</b>
<b>Densidad Seca (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>1.667</b>	<b>1.749</b>	<b>1.748</b>	<b>1.655</b>

#### RESULTADOS CBR (SUELO NATURAL)

COMPACTACION CBR	Molde 1	Molde 2	Molde 3
MOLDE	(55 Golpes)	(26 Goles)	(12 Golpes)
N° de Golpes x Capa	12	25	56
Altura del Molde (cm)	11.67	11.65	11.67
Diámetro (cm)	14.9	15.2	15.1
Área del Molde (cm <sup>2</sup> )	174.37	181.46	179.08
Cond. Muestra			
P.Húm.+Molde(g)	20040	20322	20402
Peso Molde (g)	15880	15882	15770
Peso Húmedo(g)	4160	4440	4632
Vol. Molde (cm <sup>3</sup> )	2034.85	2113.99	2089.85
Densidad H(g/cm <sup>3</sup> )	2.04	2.10	2.22
Recipiente	R-1	R-2	R-3
P. Húmedo + Tara(g)	314	348	268
Peso Seco + Tara(g)	283.7	309.7	239.4
Peso Agua(g)	30.3	38.3	28.6
Peso Tara(g)	88	74	72
P. Muestra Seca(g)	195.7	235.7	167.4
Cont. Humedad (%)	15.48	16.25	17.08
DENSIDAD SECA(g/cm <sup>3</sup> )	1.73	1.67	1.64

#### RESULTADOS DE ESFUERZO MAXIMOS DE ENSAYO (SUELO NATURAL)

PENETRACION		MOLDE N° 01		MOLDE N° 02		MOLDE N° 03	
(mm)	(pulgadas)	CARGA	ESFUERZO	CARGA	ESFUERZO	CARGA	ESFUERZO
0.0	0.00	0.0	0	0.0	0	0.0	0
0.5	0.02	94.1	10	65.9	7	47.1	5
1.0	0.04	235.4	24	164.8	17	117.7	12
1.5	0.06	442.5	45	309.7	32	221.2	23
2.0	0.08	630.8	64	441.5	45	315.4	32
2.5	0.10	837.9	85	586.5	60	418.9	43
3.0	0.12	1026.2	105	718.3	73	513.1	52
3.5	0.14	1200.3	122	840.2	86	600.2	61
4.0	0.16	1369.8	140	958.9	98	684.9	70
4.5	0.18	1528.8	156	1070.9	109	764.9	78
5.0	0.20	1661.6	169	1163.1	119	830.8	85
7.5	0.30	2245.3	229	1571.7	160	1122.7	114
10.0	0.39	2767.8	282	1937.5	198	1383.9	141

RESULTADOS ENSAYO PROCTOR ESTANDAR (DOSIFICACION 6% POLVO DE FIBRA DE VIDRIO)

Ensayo Proctor Estandar (MTC E 116)				
# de Ensayo	1	2	3	4
P. Suelo humedo+ molde (gr)	3535.00	3656.00	3688.00	3619.00
P. Suelo humedo (gr)	1785.00	1906.00	1938.00	1869.00
Densidad humeda (gr/cm <sup>3</sup> )	1.901	2.030	2.064	1.990
Tara N°	C	53	3	51
P. Suelo humedo + Tara (gr)	459.80	413.20	359.45	409.55
P. Suelo seco + tara (gr)	414.90	368.15	318.15	354.85
P. recipiente (gr)	76.35	72.75	80.70	72.80
P. Agua (gr)	44.90	45.05	41.30	54.70
P. Suelo seco (gr)	338.55	295.40	237.45	282.05
<b>Contenido de humedad</b>	<b>13.3%</b>	<b>15.3%</b>	<b>17.4%</b>	<b>19.4%</b>
<b>Densidad Seca (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>1.678</b>	<b>1.761</b>	<b>1.758</b>	<b>1.667</b>

RESULTADOS ENSAYO PROCTOR ESTANDAR (DOSIFICACION 8% POLVO DE FIBRA DE VIDRIO)

Ensayo Proctor Estandar (MTC E 116)				
# de Ensayo	1	2	3	4
P. Suelo húmedo+ molde (gr)	3527.00	3646.00	3679.00	3612.00
P. Suelo húmedo (gr)	1777.00	1896.00	1929.00	1862.00
Densidad húmeda (gr/cm <sup>3</sup> )	1.892	2.019	2.054	1.983
Tara N°	C	53	3	51
P. Suelo húmedo + Tara (gr)	398.6	397.75	424.05	367.70
P. Suelo seco + tara (gr)	366.30	361.70	377.65	324.35
P. recipiente (gr)	74.00	82.40	71.40	72.30
P. Agua (gr)	32.30	35.75	46.40	43.35
P. Suelo seco (gr)	292.30	279.30	306.25	252.05
<b>Contenido de humedad</b>	<b>11.1%</b>	<b>13.1%</b>	<b>15.1%</b>	<b>17.2%</b>
<b>Densidad Seca (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>1.703</b>	<b>1.785</b>	<b>1.783</b>	<b>1.692</b>

RESULTADOS ENSAYO PROCTOR ESTANDAR (DOSIFICACION 12% POLVO DE FIBRA DE VIDRIO)

Ensayo Proctor Estándar (MTC E 116)				
# de Ensayo	1	2	3	4
P. Suelo húmedo+ molde (gr)	3535.00	3656.00	3688.00	3619.00
P. Suelo húmedo (gr)	1785.00	1906.00	1938.00	1869.00
Densidad húmeda (gr/cm <sup>3</sup> )	1.901	2.030	2.064	1.990
Tara N°	C	53	3	51
P. Suelo húmedo + Tara (gr)	400.90	408.55	462.90	372.70
P. Suelo seco + tara (gr)	364.70	367.55	407.40	325.60
P. recipiente (gr)	76.15	85.95	74.10	73.75
P. Agua (gr)	36.20	41.00	55.50	47.10
P. Suelo seco (gr)	288.55	281.60	333.30	251.85
<b>Contenido de humedad</b>	<b>12.5%</b>	<b>14.6%</b>	<b>16.7%</b>	<b>18.7%</b>
<b>Densidad Seca (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>1.689</b>	<b>1.772</b>	<b>1.769</b>	<b>1.677</b>

RESULTADOS ENSAYO DE CBR (DOSIFICACION 6% POLVO DE FIBRA DE VIDRIO)

PENETRACION		MOLDE N° 01 (55 Golpes)		MOLDE N° 02 (26 Golpes)		MOLDE N° 03 (12 Golpes)	
(mm)	(pulgadas)	CARGA (N)	CARGA (Kg)	CARGA (N)	CARGA (Kg)	CARGA (N)	CARGA (Kg)
0.0	0.00	0.0	0	0.0	0	0.0	0
0.5	0.02	284.9	29	199.4	20	142.4	15
1.0	0.04	553.5	56	387.4	39	276.7	28
1.5	0.06	862.8	88	604.0	62	431.4	44
2.0	0.08	1220.9	124	854.6	87	610.5	62
<b>2.5</b>	<b>0.10</b>	<b>1717.4</b>	<b>175</b>	<b>1202.2</b>	<b>123</b>	<b>858.7</b>	<b>88</b>
3.0	0.12	2222.1	227	1555.5	159	1111.0	113
3.5	0.14	2677.9	273	1874.5	191	1339.0	136
4.0	0.16	3141.9	320	2199.3	224	1570.9	160
4.5	0.18	3573.2	364	2501.3	255	1786.6	182
<b>5.0</b>	<b>0.20</b>	<b>3988.4</b>	<b>407</b>	<b>2791.9</b>	<b>285</b>	<b>1994.2</b>	<b>203</b>
7.5	0.30	5494.2	560	3845.9	392	2747.1	280
10.0	0.39	6967.4	710	4877.2	497	3483.7	355

RESULTADOS ENSAYO DE CBR (DOSIFICACION 8% POLVO DE FIBRA DE VIDRIO)

PENETRACION		MOLDE N° 01 (55 Golpes)		MOLDE N° 02 (26 Golpes)		MOLDE N° 03 (12 Golpes)	
(mm)	(pulgadas)	CARGA (N)	CARGA (Kg)	CARGA (N)	CARGA (Kg)	CARGA (N)	CARGA (Kg)
0.0	0.00	0.0	0	0.0	0	0.0	0
0.5	0.02	176.5	18	123.6	13	86.3	9
1.0	0.04	423.6	43	296.6	30	211.8	22
1.5	0.06	699.0	71	489.3	50	349.5	36
2.0	0.08	1030.9	105	721.6	74	515.4	53
<b>2.5</b>	<b>0.10</b>	<b>1447.5</b>	<b>148</b>	<b>1013.2</b>	<b>103</b>	<b>723.7</b>	<b>74</b>
3.0	0.12	1864.0	190	1304.8	133	932.0	95
3.5	0.14	2245.3	229	1571.7	160	1122.7	114
4.0	0.16	2612.5	266	1828.7	186	1306.2	133
4.5	0.18	2979.7	304	2085.8	213	1489.8	152
<b>5.0</b>	<b>0.20</b>	<b>3304.4</b>	<b>337</b>	<b>2313.1</b>	<b>236</b>	<b>1652.2</b>	<b>168</b>
7.5	0.30	4730.7	482	3311.5	338	2365.4	241
10.0	0.39	5931.1	605	4151.7	423	2965.5	302

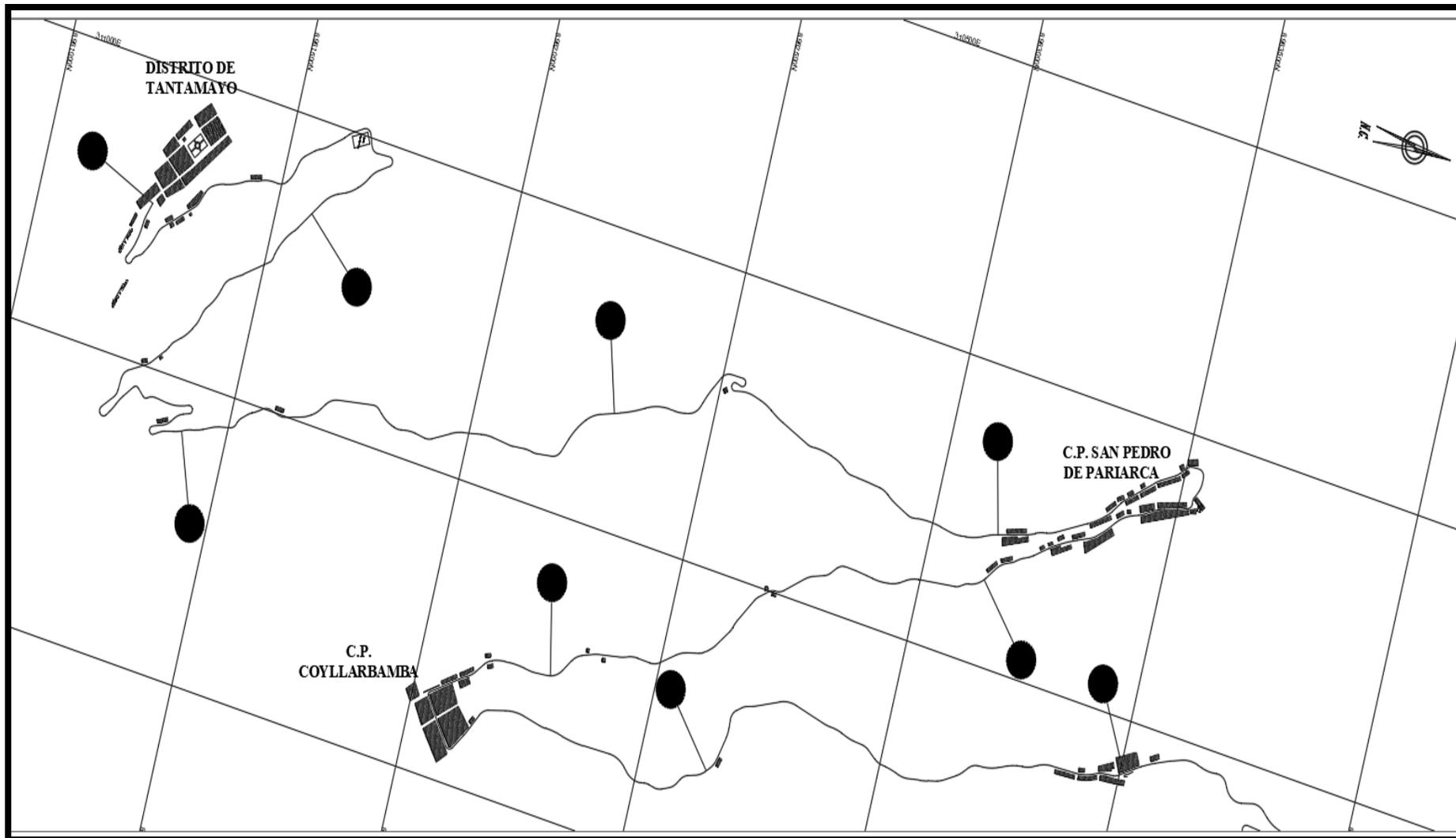
RESULTADOS ENSAYO DE CBR (DOSIFICACION 10% POLVO DE FIBRA DE VIDRIO)

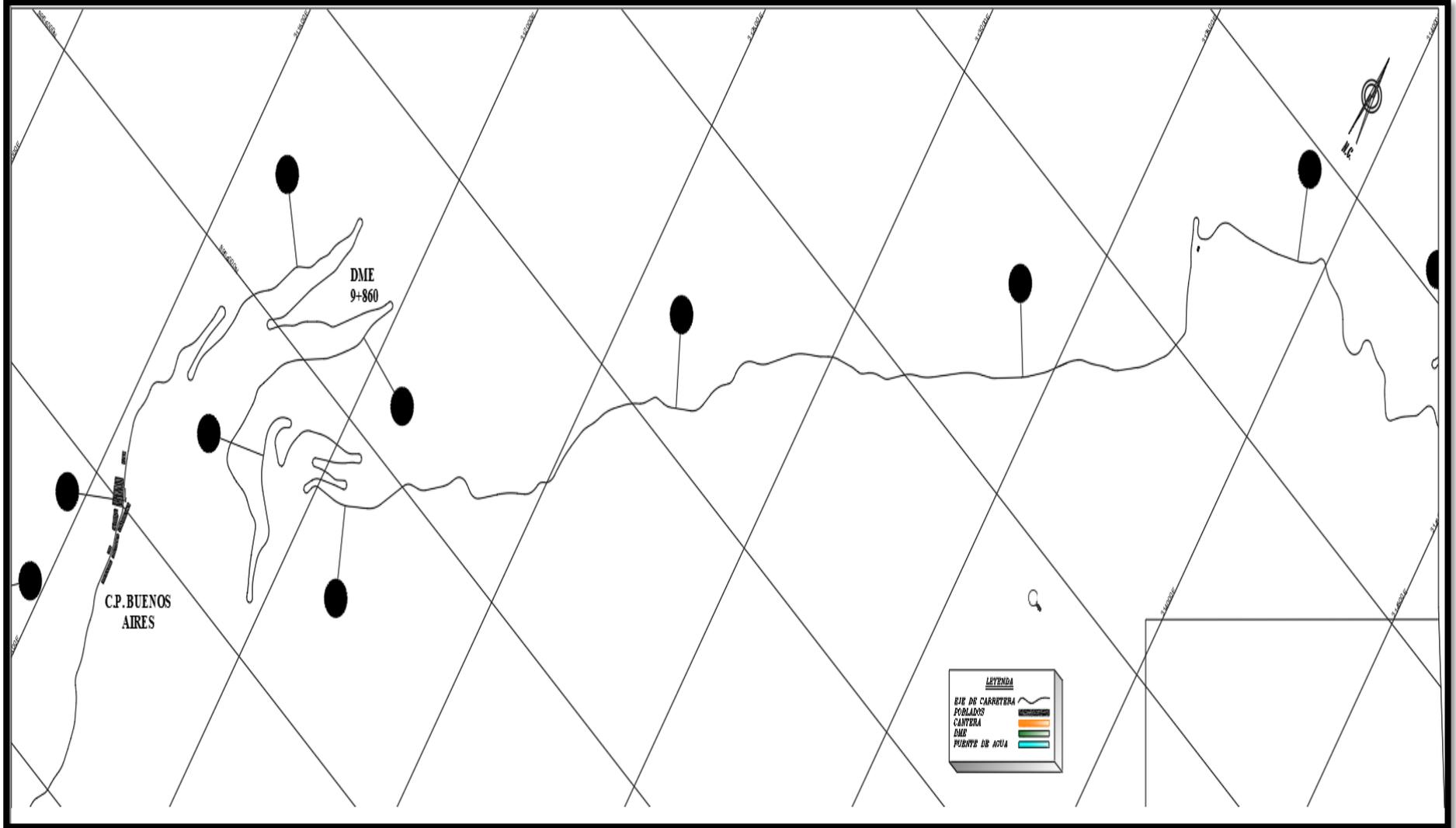
PENETRACION		MOLDE N° 01 (55 Golpes)		MOLDE N° 02 (26 Golpes)		MOLDE N° 03 (12 Golpes)	
(mm)	(pulgadas)	CARGA (N)	CARGA (Kg)	CARGA (N)	CARGA (Kg)	CARGA (N)	CARGA (Kg)
0.0	0.00	0.0	0	0.0	0	0.0	0
0.5	0.02	161.6	16	113.1	12	80.8	8
1.0	0.04	434.3	44	304.0	31	217.2	22
1.5	0.06	888.9	91	622.2	63	444.4	45
2.0	0.08	1565.6	160	1095.9	112	782.8	80
<b>2.5</b>	<b>0.10</b>	<b>2222.2</b>	<b>227</b>	<b>1555.5</b>	<b>159</b>	<b>1111.1</b>	<b>113</b>
3.0	0.12	2888.8	294	2022.2	206	1444.4	147
3.5	0.14	3535.3	360	2474.7	252	1767.6	180
4.0	0.16	4191.9	427	2934.3	299	2095.9	214
4.5	0.18	4858.5	495	3401.0	347	2429.3	248
<b>5.0</b>	<b>0.20</b>	<b>5424.2</b>	<b>553</b>	<b>3796.9</b>	<b>387</b>	<b>2712.1</b>	<b>276</b>
7.5	0.30	7555.4	770	5288.8	539	3777.7	385
10.0	0.39	9060.5	924	6342.3	647	4530.2	462

RESULTADOS ENSAYO DE CBR (DOSIFICACION 12% POLVO DE FIBRA DE VIDRIO)

PENETRACION		MOLDE N° 01 (55 Golpes)		MOLDE N° 02 (26 Golpes)		MOLDE N° 03 (12 Golpes)	
(mm)	(pulgadas)	CARGA (N)	CARGA (Kg)	CARGA (N)	CARGA (Kg)	CARGA (N)	CARGA (Kg)
0.0	0.00	0.0	0	0.0	0	0.0	0
0.5	0.02	161.6	16	113.1	12	80.8	8
1.0	0.04	434.3	44	304.0	31	217.2	22
1.5	0.06	888.9	91	622.2	63	444.4	45
2.0	0.08	1565.6	160	1095.9	112	782.8	80
<b>2.5</b>	<b>0.10</b>	<b>2222.2</b>	<b>227</b>	<b>1555.5</b>	<b>159</b>	<b>1111.1</b>	<b>113</b>
3.0	0.12	2888.8	294	2022.2	206	1444.4	147
3.5	0.14	3535.3	360	2474.7	252	1767.6	180
4.0	0.16	4191.9	427	2934.3	299	2095.9	214
4.5	0.18	4858.5	495	3401.0	347	2429.3	248
<b>5.0</b>	<b>0.20</b>	<b>5424.2</b>	<b>553</b>	<b>3796.9</b>	<b>387</b>	<b>2712.1</b>	<b>276</b>
7.5	0.30	7555.4	770	5288.8	539	3777.7	385
10.0	0.39	9060.5	924	6342.3	647	4530.2	462

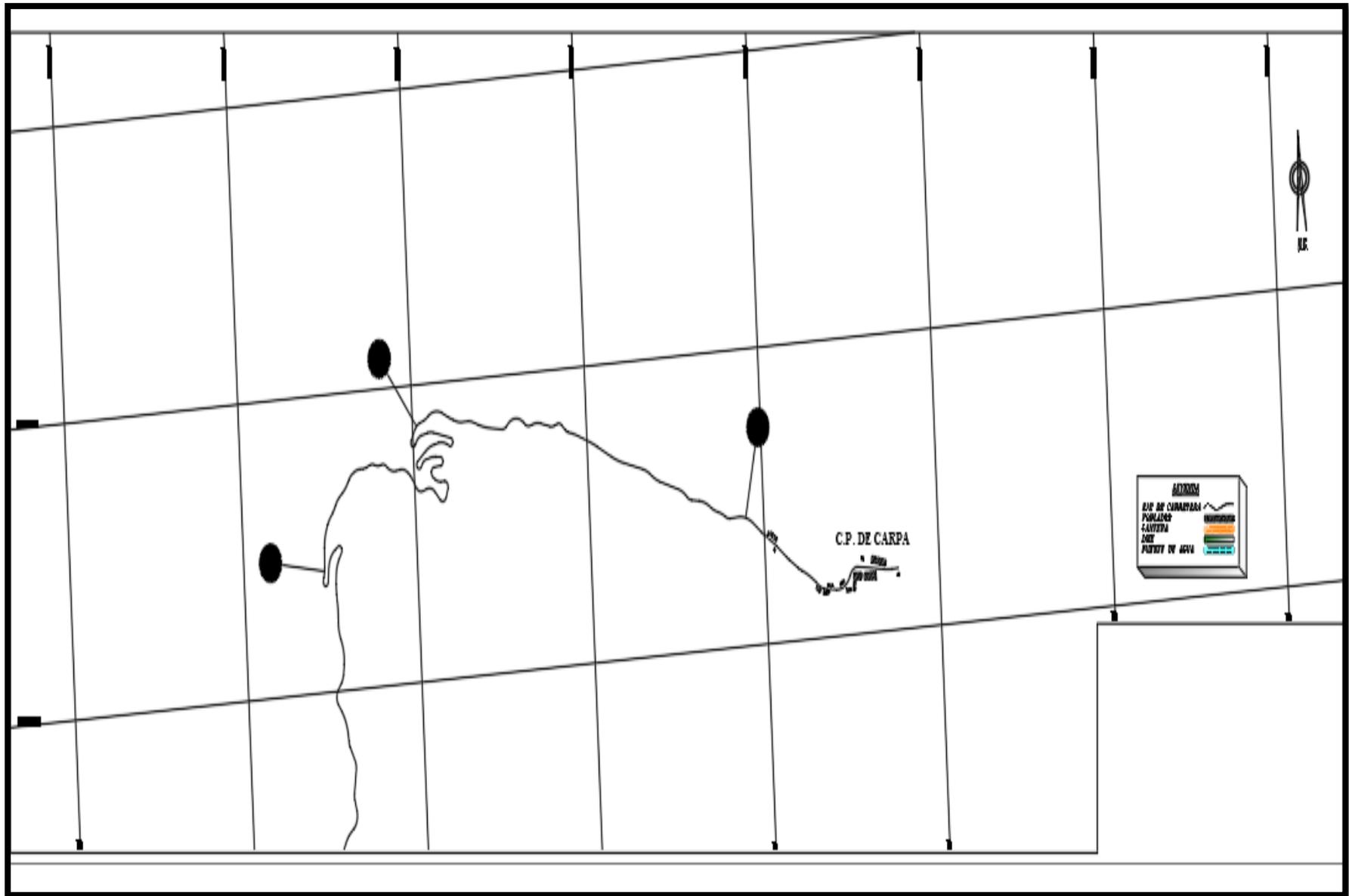
ANEXO 07: PLANOS PLANO CLAVE KM 0+000 – KM 15+000



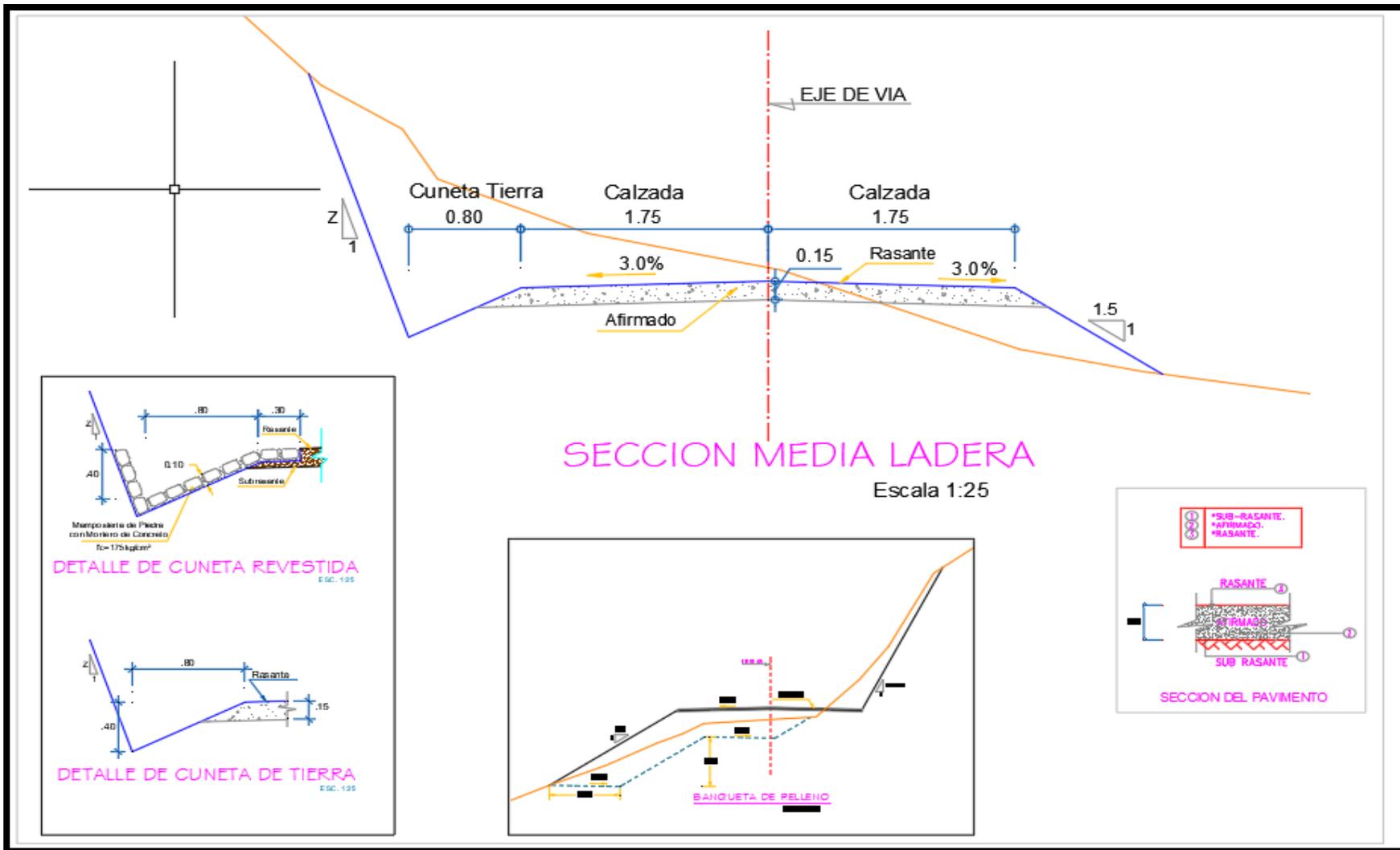


PLANO CLAVE KM 15+000 – KM 24 + 487.84

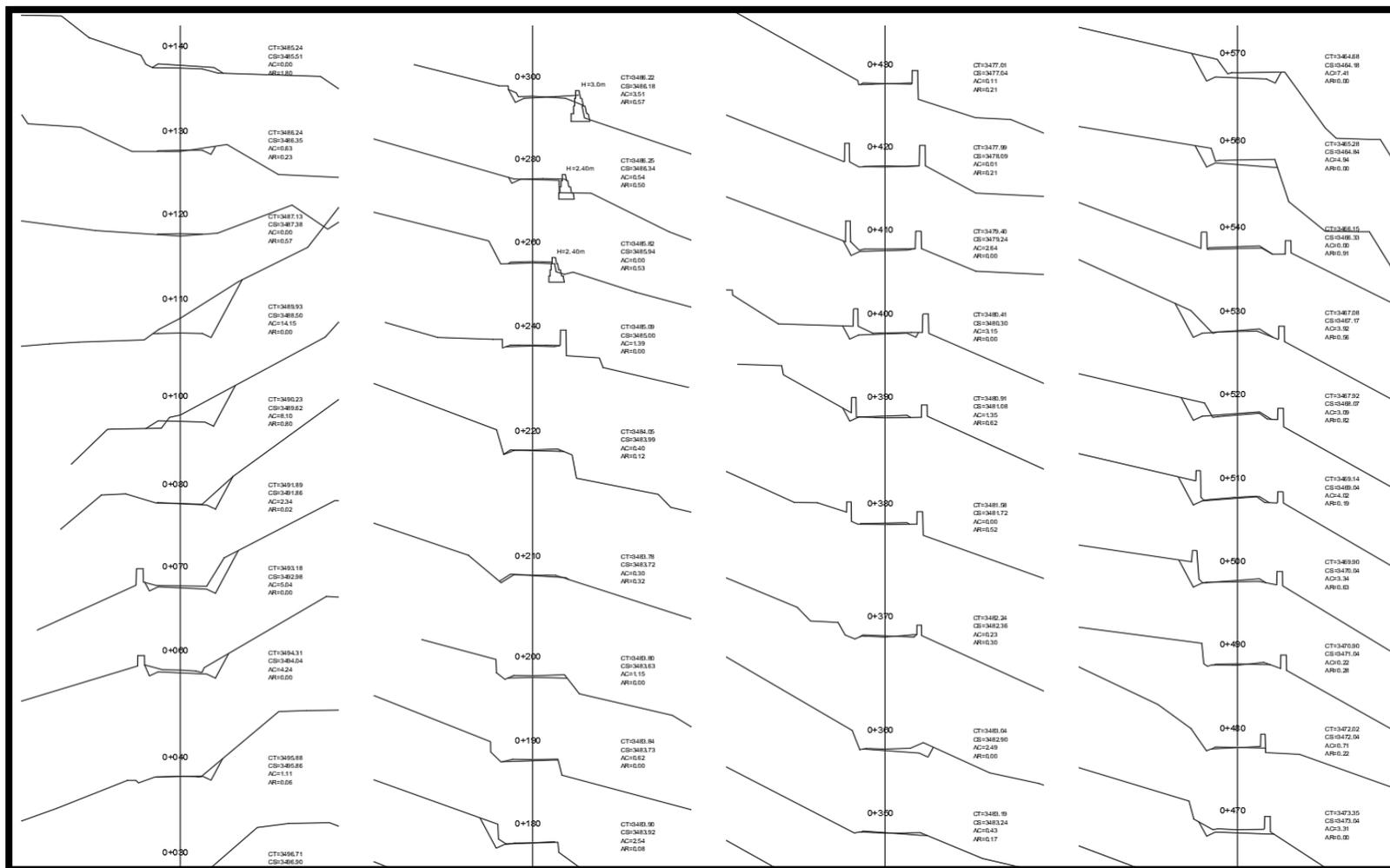




PLANO SECCION MEDIA LADERA



PLANO SECCIONES TRANSVERSALES TANTAMAYO.



PLANO MUROS TÍPICOS



