

UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA

ESCUELA DE POSTGRADO

MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL CON MENCIÓN EN GEOTECNIA



**FIBRA SINTÉTICA EN VÍAS A NIVEL DE AFIRMADO Y SU EFECTO EN SUS
PROPIEDADES MECÁNICAS, REGIÓN PUNO.**

TESIS

Presentada por:

Bach. Fausto Ponciano Mamani Mamani

Asesor:

Mg. Fausto Alan Lazarte Velarde

Para Obtener el grado académico de:

MAGÍSTER EN INGENIERÍA CIVIL CON MENCIÓN EN GEOTECNIA

TACNA– PERÚ

2018

AGRADECIMIENTOS

A la universidad y escuela de post grado. En particular a la maestría en ingeniería civil - mención en geotecnia, por haberme acogido en sus claustros universitarios.

A las autoridades y mis mejores maestros de la Universidad por haber compartido sus conocimientos acertadamente durante mi formación profesional.

A la municipalidad provincial de Moho, gerencia de infraestructura, por permitirme trabajar en el campo propiamente dicho y así conocer de cerca la ejecución del proyecto.

Un reconocimiento especial a los miembros del jurado quienes dieron veredicto al trabajo.

DEDICATORIA

A la guía y luz de mi camino que me ayuda en el andar. A ti quedo eternamente agradecido mi amado Dios.

Con mucho respeto y amor a mi querida esposa Eugenia, por haberme guiado con humildad más de lo que yo quisiera admitir y ser compañera de mi camino.

A mi padre Saturnino, por ser mi primer maestro que supo entenderme, guiarme y conducirme a ser un profesional exitoso.

A mis hijos Jesús, Alan, Elizabeth, Ángel y Mailyn por sus acertadas orientaciones y experiencias que supieron compartir a lo largo de mi vida.

INDICE DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS.....	I
DEDICATORIA	II
RESUMEN	X
ABSTRACT	XI
INTRODUCCIÓN	XII
CAPÍTULO I:	1
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	1
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	3
1.2.1. INTERROGANTE PRINCIPAL.....	3
1.2.2. INTERROGANTES SECUNDARIAS	3
1.3. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	3
1.4. OBJETIVOS	4
1.4.1. OBJETIVO GENERAL	4
1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	4
1.5. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	5
1.5.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES.....	5
1.5.2. ANTECEDENTES NACIONALES.....	7
CAPÍTULO II.....	9
2.1. ACÁPITE DE LA VARIABLE DEPENDIENTE	9
2.2. SISTEMA NACIONAL DE CARRETERAS.....	9
2.2.1. RED VIAL NACIONAL.....	9
2.2.2. RED VIAL DEPARTAMENTAL.....	10
2.2.3. RED VIAL VECINAL	10
2.2.4. CLASIFICACIÓN DE LOS DETERIOROS	16
2.2.5. PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS SUELOS.....	18
2.2.6. GRANULOMETRÍA DE LOS SUELOS	18
2.2.7. CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS.....	19
2.2.8. LÍMITES DE ATTERBERG.....	22
2.2.9. COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO	23
2.2.10. RESISTENCIA A LA ABRASION	24
2.2.11. ¿QUÉ ES EL CBR DE UN SUELO?	26
2.2.12. ENSAYO DE CORTE DIRECTO.....	28
2.3. ACÁPITE DE LA VARIABLE INDEPENDIENTE	29
2.3.1. SUELOS REFORZADOS.....	30
2.3.2. FIBRAS SINTÉTICAS	30

2.3.3.	FIBRAS	31
2.3.4.	REFUERZO CON FIBRA SINTÉTICA.....	31
2.3.5.	ELECCIÓN DE LA FIBRA ADECUADA.....	33
2.3.6.	FIBRA PARA EL REFUERZO DE TIERRAS	35
CAPÍTULO III		39
3.1.	HIPÓTESIS	39
3.1.1.	HIPÓTESIS GENERAL.....	39
3.1.2.	HIPÓTESIS ESPECÍFICAS.....	39
3.2.	VARIABLES E INDICADORES	39
3.2.1.	VARIABLE INDEPENDIENTE	39
3.2.2.	VARIABLE DEPENDIENTE.....	39
3.2.3.	OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES	40
3.3.	TIPO DE INVESTIGACION	40
3.4.	DISEÑO DE INVESTIGACION	41
3.5.	AMBITO DE ESTUDIO	42
3.5.1.	UBICACIÓN POLITICA.....	42
3.5.2.	UBICACIÓN GEOGRÁFICA:	42
3.5.3.	POBLACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO:	42
3.6.	POBLACIÓN Y MUESTRA	43
3.6.1.	UNIDAD DE ESTUDIO	43
3.6.2.	POBLACIÓN Y MUESTRA:	43
3.7.	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS	45
3.7.1.	INSTRUMENTOS:	45
3.7.2.	TÉCNICA, DE RECOLECCIÓN DE DATOS:.....	¡Error! Marcador no definido.
CAPÍTULO IV		46
4.1.	DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE CAMPO.....	46
4.1.1.	GRANULOMETRÍA POR MALLAS (ASTM D 422).	46
4.1.2.	LÍMITES DE ATTERBERG (ASTM D 423 - D424).....	47
4.1.3.	COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO (ASTM D 1556).....	47
4.1.4.	CALIFORNIA BEARING RATIO CBR (ASTM D 1883).	48
4.2.	DISEÑO DE LA PRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS	51
4.2.1.	ANÁLISIS TENSO – DEFORMACIONAL DE LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO.....	51
4.2.2.	ESPESOR DE DISEÑO	69
4.2.3.	DOSIFICACIÓN OPTIMA DE FIBRA DE POLIPROPILENO	86
4.3.	PRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS	87
4.3.2.	PROPIEDADES MECÁNICAS.....	90

4.4.	PRESENTACIÓN E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	106
4.4.1.	DOSIFICACIÓN OPTIMA DE FIBRA DE POLIPROPILENO	106
4.4.2.	ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO	107
4.5.	PRUEBA ESTADÍSTICA.....	108
4.6.	COMPROBACIÓN DE LA HIPÓTESIS	122
4.6.1.	HIPOTESIS	122
4.6.2.	HIPÓTESIS ALTERNA.....	122
4.6.3.	VARIABLES.....	122
4.6.4.	PROCESO DE CONTRASTE	122
CAPÍTULO V		127
5.1.	CONCLUSIONES.....	127
5.2.	RECOMENDACIONES	129
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		130

INDICE DE TABLAS

TABLA N° 1 SISTEMA DE CARRETERAS	9
TABLA N° 2 GRADACION DE LOS MATERIALES DE LA CAPA DE AFIRMADO	12
TABLA N° 3 CLASIFICACION DE LA SUBRASANTE	14
TABLA N° 4 ABRASION LOS ANGELES	26
TABLA N° 5 CARACTERÍSTICAS DE LAS FIBRAS	36
TABLA N° 6 RELACION ENTRE DIAMETRO Y SUPERFICIE ESPECÍFICA	36
TABLA N° 7 OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES	40
TABLA N° 8 CÁLCULO DE LA PRESIÓN DE CONTACTO	57
TABLA N° 9 ESFUERZO PROMEDIO PARA EL CORTE.....	61
TABLA N° 10 ESFUERZO TANGENCIAL PROMEDIO (NORMAL AL PLANO Y)..	62
TABLA N° 11 ECUACIONES DE RESISTENCIA AL CORTE.....	63
TABLA N° 12 RECTAS DE MOHR COULOMB PARA LAS DIFERENTES DOSIFICACIONES.	64
TABLA N° 13 RESUMEN DE ESFUERZO DE CORTE Y TANGENCIAL.....	64
TABLA N° 14 RESUMEN EN EL PUNTO DE CONTEO JIAPATA, KM 14+000	72
TABLA N° 15 SIMBOLOGÍA USADA EN EL CONTEO	73
TABLA N° 16 IMDA EN PUNTO DE CONTEO PARA CADA TIPO DE VEHÍCULO	74
TABLA N° 17 RESUMEN DE IMDA SEGÚN CLASIFICACION VEHICULAR EN PUNTO DE CONTEO.	74
TABLA N° 18 CÁLCULO DE EJES EQUIVALENTES	76
TABLA N° 19 CLASIFICACIÓN SEGÚN VOLUMEN DE TRÁNSITO, PARA CARRETERAS NO PAVIMENTADAS DE BAJO VOLUMEN DE TRANSITO	76
TABLA N° 20 MODULO RESILIENTE (KPSI) Y CBR (%) DE LA SUBRASANTE	77
TABLA N° 21 DISEÑO DE AFIRMADO – METODO NAASRA.....	78
TABLA N° 22 OBTENCIÓN DE ESPESOR POR CUADRO DE DOBLE ENTRADA .	79
TABLA N° 23 DISEÑO DE PAVIMENTO METODO AASHTO 1993.....	82
TABLA N° 24 ESPESOR PLANTEADO PARA CADA DOSIFICACION DE FIBRA..	86
TABLA N° 25 Resultados Límites de Consistencia	88
TABLA N° 26 DESGASTE POR ABRASIÓN.....	89
TABLA N° 27 Resultados Proctor Modificado	90
TABLA N° 28 Resultados CBR con dosificación de fibra al 0.1 %.	92
TABLA N° 29 Espesor de Diseño de afirmado (cm).....	92
TABLA N° 30 Resultados CBR con dosificación de fibra al 0.5 %.	94
TABLA N° 31 Espesor de Diseño de afirmado (cm).....	94
TABLA N° 32 Resultados CBR con dosificación de fibra al 1.0 %.	96
TABLA N° 33 Espesor de Diseño de afirmado (cm).....	96
TABLA N° 34 Resultados CBR con dosificación de fibra al 2.0 %.	98
TABLA N° 35 Espesor de Diseño de afirmado (cm).....	98
TABLA N° 36 AFIRMADO SIN REFUERZO DE FIBRA SINTÉTICA.	99
TABLA N° 37 CORTE DIRECTO CON DOSIFICACIÓN DEL 0.1 % DEL PESO DEL AFIRMADO SUELTO.....	101
TABLA N° 38 Espesor de Diseño de afirmado (cm).....	106
TABLA N° 39 DOSIFICACIÓN DE FIBRA SINTÉTICA (KG) SIN FIBRA SINTÉTICA COMPARADO CON LA DOSIFICACIÓN DE 0.10% DE FIBRA SINTÉTICA A $W_h =$ 17.71 Kg.	110
TABLA N° 40 RESULTADOS DEL ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA EL REFUERZO DE FIBRA SINTÉTICA EN AFIRMADOS.....	113

TABLA N° 41 DOSIFICACIÓN DE FIBRA SINTÉTICA (KG) SIN FIBRA SINTÉTICA COMPARADO CON LA DOSIFICACIÓN DE 0.10% DE FIBRA SINTÉTICA A $W_h = 31.40$ Kg.	114
TABLA N° 42 RESULTADOS DEL ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA EL REFUERZO DE FIBRA SINTÉTICA EN AFIRMADOS.....	117
TABLA N° 43 DOSIFICACIÓN DE FIBRA SINTÉTICA (KG) SIN FIBRA SINTÉTICA COMPARADO CON LA DOSIFICACIÓN DE 0.10% DE FIBRA SINTÉTICA A $W_h = 40.50$ Kg.	118
TABLA N° 44 RESULTADOS DEL ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA EL REFUERZO DE FIBRA SINTÉTICA EN AFIRMADOS.....	121
TABLA N° 45 Resumen de la etapa de Resultados	122
TABLA N° 46 Valores o Frecuencias Observadas (f_o)	123
TABLA N° 47 Valores o Frecuencias Esperadas (f_e).....	123
TABLA N° 48 Tabla de Distribución de χ^2 de Pearson	123
TABLA N° 49 Cálculos Estadísticos Pearson.....	125
TABLA N° 50 Resultados del análisis estadístico para dosificación de fibra sintética respecto de sus propiedades mecánicas CBR.	126
TABLA N° 51 PROPIEDADES MECÁNICAS DEL ENSAYO DE CORTE DIRECTO.	127
TABLA N° 52 PROPIEDADES MECÁNICAS DEL ENSAYO DE CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR).....	127
TABLA N° 53 PROPIEDADES MECÁNICAS DEL ENSAYO DE CORTE DIRECTO	128
TABLA N° 54 PROPIEDADES MECÁNICAS DEL ENSAYO DE CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR).....	128

INDICE DE FIGURAS

FIGURA N° 1 ONDULACIONES	1
FIGURA N° 2 PERDIDA DE MATERIAL FINO	2
FIGURA N° 3 ESFUERZO VS PENETRACIÓN.....	27
FIGURA N° 4 FORMAS DE LOS POLÍMEROS	33
FIGURA N° 5 UBICACIÓN DEL AREA DE ESTUDIO	43
FIGURA N° 6 EXTRACCIÓN Y CARGUÍO DEL AFIRMADO A LOS VOLQUETES.	¡Error! Marcador no definido.
FIGURA N° 7 ZARANDA DE DIÁMETRO DE 2’’.....	¡Error! Marcador no definido.
FIGURA N° 8 MUESTRA REPRESENTATIVA DEL MATERIAL PARA REALIZAR LOS ENSAYOS DE LABORATORIO. ¡Error! Marcador no definido.	
FIGURA N° 9 MUESTRA DEL AFIRMADO REFORZADO.....	¡Error! Marcador no definido.
FIGURA N° 10 CUARTEO DE MUESTRA DE SUELO Y TAMIZAJE POR LAS MALLAS.....	46
FIGURA N° 11 PESO DE LA FIBRA PARA UNA DOSIFICACIÓN DE 0.1%. Y DE LONGITUD DE 5CM.....	46
FIGURA N° 12 COPA DE CASAGRANDE Y LIMITE PLÁSTICO	47
FIGURA N° 13 DISTRIBUCIÓN MANUAL DE LA FIBRA EN EL SUELO PARA COMPACTACIÓN Y AÑADIDURA DE AGUA PARA ALCANZAR EL CONTENIDO ÓPTIMO DE HUMEDAD.	47
FIGURA N° 14 PROCESO DE COMPACTACIÓN DEL AFIRMADO REFORZADO .	48
FIGURA N° 15 SE ENRASA LA COMPACTACIÓN PARA EN ENSAYO DE CBR. ..	48
FIGURA N° 16 SATURACIÓN DE LAS MUESTRAS COMPACTADAS, MOLDE CBR Y EQUIPO CBR.....	50
FIGURA N° 17 PREPARACIÓN DEL EQUIPO DE CORTE DIRECTO	¡Error! Marcador no definido.
FIGURA N° 18 DISTRIBUCIÓN Y MAGNITUD DE CARGAS	51
FIGURA N° 19 ESQUEMA DE CARGA EQUIVALENTE.	52
FIGURA N° 20 CARACTERISTICAS GEOMÉTRICAS DE UN CAMION DE C2.....	53
FIGURA N° 21 CARGA EQUIVALENTE CON DIMENSIONES REALES.	53
FIGURA N° 22 GEOMETRIA DE LAS RUEDAS DOBLES	54
FIGURA N° 23 CARGAS EQUIVALENTES DE LOS DIFERENTES VEHÍCULOS	55
FIGURA N° 24 ESQUEMA DE APLICACIÓN DE UNA CARGA ASIMÉTRICA.....	56
FIGURA N° 25 ÁREA EQUIVALENTE DE UNA RUEDA	56
FIGURA N° 26 ESFUERZO NORMAL.	57
FIGURA N° 27 ESFUERZO RADIAL.	58
FIGURA N° 28 ESFUERZO TANGENCIAL.....	59
FIGURA N° 29 ESFUERZO DE CORTE.	60
FIGURA N° 30 ESFUERZO NORMAL VS RESISTENCIA AL CORTE	65
FIGURA N° 31 ESTADO DE TENSIONES.....	66
FIGURA N° 32 RESISTENCIAS MÁXIMAS AL CORTE A PARTIR DEL ESFUERZO TANGENCIAL PARA EL CAMION C2	67
FIGURA N° 33 RESISTENCIAS MÁXIMAS AL CORTE A PARTIR DEL ESFUERZO TANGENCIAL PARA EL CAMION DE DISEÑO.....	68
FIGURA N° 34 CLASIFICACION DE VEHÍCULOS.	71
FIGURA N° 35 ESTRUCTURA DEL AFIRMADO RECOMENDADO	80
FIGURA N° 36 CBR vs DOSIFICACION DE FIBRA	83

FIGURA N° 37 M_r vs DOSIFICACION DE FIBRA	84
FIGURA N° 38 NUMERO ESTRUCTURAL vs DOSIFICACION DE FIBRA.....	85
FIGURA N° 39 CURVA GRANULOMÉTRICA	87
FIGURA N° 40 CLASIFICACIÓN MÉTODO ASTM	88
FIGURA N° 41 LIMITES DE CONSISTENCIA.....	88
FIGURA N° 42 CURVA DE COMPACTACIÓN	89
FIGURA N° 43 CURVA ESFUERZO PENETRACIÓN PARA 0.1% DE FIBRA FIBRA	91
FIGURA N° 44 RECTA DE CBR-DENSIDAD PARA 0.1% DE FIBRA	91
FIGURA N° 45 CURVA ESFUERZO PENETRACIÓN PARA 0.5% DE FIBRA.....	93
FIGURA N° 46 RECTA DE CBR-DENSIDAD PARA 0.5% DE FIBRA	93
FIGURA N° 47 CURVA ESFUERZO PENETRACIÓN PARA 1.0% DE FIBRA.....	95
FIGURA N° 48 RECTA DE CBR-DENSIDAD PARA 1.0 % DE FIBRA	95
FIGURA N° 49 CURVA ESFUERZO PENETRACIÓN PARA 2.0% DE FIBRA.....	97
FIGURA N° 50 RECTA DE CBR-DENSIDAD PARA 2.0 % DE FIBRA	97
FIGURA N° 51 CURVAS ESFUERZO DEFORMACION SIN FIBRA.....	100
FIGURA N° 52 DIAGRAMA MOHR COULOMB SIN FIBRA.....	100
FIGURA N° 53 CURVAS ESFUERZO DEFORMACION PARA 0.1% DE FIBRA....	102
FIGURA N° 54 DIAGRAMA MOHR COULOMB PARA 0.1% DE FIBRA.....	102
FIGURA N° 55 CURVAS ESFUERZO DEFORMACION PARA 0.5% DE FIBRA....	103
FIGURA N° 56 DIAGRAMA MOHR COULOMB PARA 0.5% DE FIBRA.....	103
FIGURA N° 57 CURVAS ESFUERZO DEFORMACION PARA 1.0% DE FIBRA...	104
FIGURA N° 58 DIAGRAMA MOHR COULOMB PARA 1.0% DE FIBRA.....	104
FIGURA N° 59 CURVAS ESFUERZO DEFORMACION PARA 2.0% DE FIBRA...	105
FIGURA N° 60 DIAGRAMA MOHR COULOMB PARA 2.0% DE FIBRA.....	105
FIGURA N° 61 HISTOGRAMA SIN FIBRA SINTÉTICA CON $W_n = 17.71$ Kg.....	111
FIGURA N° 62 HISTOGRAMA CON 0.10% DE DOSIFICACIÓN DE FIBRA SINTÉTICA CON $W_n = 17.71$ Kg.	112
FIGURA N° 63 HISTOGRAMA SIN FIBRA SINTÉTICA CON $W_n = 31.40$ Kg.....	115
FIGURA N° 64 HISTOGRAMA CON 0.10% DE DOSIFICACIÓN DE FIBRA SINTÉTICA CON $W_n = 31.40$ Kg.	116
FIGURA N° 65 HISTOGRAMA SIN FIBRA SINTÉTICA CON $W_n = 40.50$ Kg.....	119
FIGURA N° 66 HISTOGRAMA CON 0.10% DE DOSIFICACIÓN DE FIBRA SINTÉTICA CON $W_n = 40.50$ Kg.	120

RESUMEN

La presente tesis surge a través de la observación de los diferentes problemas estructurales que aparecen en los afirmados. Estos deterioros son diversos y muchos de ellos son producto de la mala calidad de los materiales que se emplean en la construcción de las vías afirmadas. Cuyo Objetivo es determinar la repercusión de las propiedades mecánicas de las vías a nivel de afirmado con refuerzo de fibras sintéticas en la provincia de Moho, en el año 2017, de cuatro muestras de ensayos mecánicos de suelo para las dosificaciones siguientes:

$\bar{X} 1$ = Afirmado sin refuerzo de fibra sintética.

$\bar{X} 2$ = Afirmado con refuerzo de fibra sintética con dosificación al 0.1%, dosificación al 0.5%, dosificación al 1.0% y dosificación al 2.0% del peso de suelo en estado suelto.

Se realizó la comparación de las propiedades mecánicas de afirmados sin adición de fibra sintética en lo que respecta a deformación (mm) ($\bar{X} 1$), versus las propiedades mecánicas de afirmados con adición de fibras sintéticas con dosificación al 0.1% del peso de suelo en lo que respecta a deformación (mm) ($\bar{X} 2$). Para esto se aplicó la correlación r de Pearson y se determinó cómo afecta en el diseño del afirmado.

Se consideró en someter al objeto de estudio a determinadas condiciones estadísticas mediante la correlación r de Pearson de dos muestras de la variable independiente como la dependiente para verificar qué diferencia se produce entre las variables. El nivel será experimental, aplicativa, comparativa y correlacional.

Se requiere de 0.1 % de fibra de polipropileno por peso del afirmado en estado suelto, para mejorar la resistencia al esfuerzo de corte de un camión de 3.44 Tn en una rueda; del mismo modo, producir un aumento del CBR para así reducir el espesor del afirmado inicial en 2cm.

PALABRAS CLAVE: Fibra Sintética, Suelo, Propiedades mecánicas del suelo, vías, límite líquido, límite plástico, contenido de humedad.

ABSTRACT

This research arises through the observation of the different structural problems that appear in the affirmed ones. These deteriorations are diverse and many of them are product of the poor quality of the materials that are used in the construction of the affirmed roads. For this reason, the impact of the mechanical properties of the roads at the level of affirmed with reinforcement of synthetic fibers in Puno region, in 2016 year, of four samples of soil mechanical tests were determined for the following dosages:

$\bar{X}$ 1; Affirmed without synthetic fiber reinforcement.

$\bar{X}$ 2; Affirmed with synthetic fiber reinforcement with 0.1% dosage, 0.5% dosing, 1.0% dosing and 2.0% dosing of the soil weight in a loose state.

A comparison of the mechanical properties of asserts with no addition of synthetic fiber with respect to deformation (mm) ($\bar{X}$ 1) was performed, versus the mechanical properties of affirmed with addition of synthetic fibers with 0.1% With respect to deformation (mm) $\bar{X}$ 2). For this, Pearson's correlation r was applied and it was determined how it affects the design of the affirmed.

0.1% of polypropylene fiber is required per weight of the asserted in the loose state, to improve the shear strength of a 3,44Tn truck on a wheel; In the same way, to produce an increase of the CBR in order to reduce the thickness of the initial assertion by 2cm.

KEYWORDS: Affirmed, normal stress, deformation, synthetic fiber, cohesion, friction angle, liquid limit, plastic limit, moisture content and mechanical properties.

INTRODUCCIÓN

En nuestra Región los afirmados se deterioran por fallas como las ondulaciones y ahuellamientos estos se producen por el mezclado pésimo de agregado y ligante que se emplean en la construcción de las vías a nivel de afirmado. Estas fallas en las vías a nivel de afirmado son causadas, por la mala compactación que genera vacíos en el afirmado porque existen fallas plásticas que no son admisibles tanto en la subrasante como en la capa de afirmado.

¹Iniciando los afirmados se ha utilizado fibras naturales que aumenta las propiedades mecánicas del suelo en la construcción. Actualmente se usan las fibras artificiales que se obtienen como excedente de procesos industriales y son susceptibles de ser utilizadas como mejora de diferentes materiales, entre otros el suelo.

En el lugar de estudio, los principales deterioros de los afirmados, causan la idea de reforzar al material de afirmado con fibras sintéticas de polipropileno las cuales se encuentran en el mercado y con el paso del tiempo es más usado por los desperdicios que genera la tecnología, estas fibras son más comunes en el mercado. Este refuerzo ha sido planteado con el objetivo de mejorar las propiedades mecánicas de los afirmados, para así poder resistir sin ningún inconveniente cargas importantes de tránsito y quizá lo más importante, tener una vía durable que disminuya el costo de mantenimiento o una reconstrucción posterior.

El desarrollo del presente trabajo está dividido en cuatro capítulos, con los que se consiguió desarrollar a plenitud esta tesis.

Capítulo I.- Se determina el problema de la investigación. Comprende la exposición de la situación problemática de la investigación, el planteamiento del problema, la justificación de la investigación y los objetivos general y específicos.

Capítulo II.- Se establece el marco teórico. Se esboza las bases teóricas, el marco conceptual, las hipótesis, las variables e indicadores y la operacionalización de los mismos.

Capítulo III.- Se sintetiza el proceso metodológico. Se aprecia el nivel de

¹ Céspedes Abanto, Jose Maria. Los pavimentos en las vías terrestres

investigación, el método señalando las técnicas y procedimientos que se han utilizado en el desarrollo de la investigación. Contiene objeto de estudio, muestra y resultados de los ensayos de laboratorio.

Capítulo IV.- Se presenta la ingeniería de la investigación y la interpretación de los resultados, señalando los hechos y fundamentos sobre el diseño del refuerzo y se realizaron los cálculos que validan la dosificación óptima de fibra de polipropileno.

Se realiza la clasificación y análisis de los resultados estadísticos respecto a las deformaciones de los suelos sin fibra sintética y con la dosificación óptima de 0.1% de fibra sintética en suelo en estado suelto

Se resumen las conclusiones que se obtuvieron durante el desarrollo de la investigación comparando los resultados obtenidos de las propiedades mecánicas de afirmados sin adición de fibra sintética. Se indican las recomendaciones para mejorar la construcción de afirmados con dosificaciones óptimas de fibra sintética.

Finalmente se nominan las referencias bibliográficas y se insertan los anexos correspondientes.

CAPÍTULO I:

1. EL PROBLEMA

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Las vías afirmadas tienen fallas debido al tráfico y el agua, estas fallas presentan deformaciones en la capa de afirmado ya sea por ondulaciones o ahuellamientos, ya que estos son los que causan mayor inseguridad, incomodidad y el costo de mantenimiento para ellos son los más elevados.

Las ondulaciones y ahuellamientos en las vías afirmadas son causados, por una mala compactación debido a que no se elimina al realizarse la compactación los vacíos existentes en el suelo, esto debido a que la subrasante no llega al porcentaje de compactación requerido por el afirmado.

FIGURA N° 1 ONDULACIONES



Distorsiones en forma transversal (escalerilla)

Las huellas que producen las ruedas en las vías afirmadas se originan por la mala compactación de las capas, debido a que el afirmado tiene la superficie expuesta, a la pérdida de cohesión en partículas finas, con el paso del tiempo las partículas gruesas van quedando expuestas hasta que quedan sueltas, este material es transportado hacia los bordes de la huella. Esta premisa expuesta hace muy inseguro el afirmado, en consecuencia, las partículas sueltas generan inestabilidad en la velocidad de los vehículos, también puede que las partículas gruesas existentes en la vía por la presión de las ruedas del vehículo puedan causar accidentes.

FIGURA N° 2 PERDIDA DE MATERIAL FINO



Desgaste del agregado fino por causa vehicular

Las ondulaciones ahuellamientos, baches y otros en los afirmados se presentan por pequeñas deformaciones plásticas cohesivas cada vez que se aplica una carga de un vehículo sobre el afirmado.

Afirmados requiere uso de tablas o fórmulas, estas presentan de manera muy conservadora valores de espesores de afirmado considerando para dicho cálculo el CBR de la subrasante y en el transito los ejes equivalentes de diseño.

Se verifica las innumerables variables de un afirmado, esto produce un efecto directo en la estructura del afirmado presentando malos desempeños de diseño en los caminos no pavimentados.

Por tanto, la presente investigación pretende aportar conocimientos relacionados con la utilización de las fibras sintéticas en afirmados, con el fin de neutralizar las grietas y fisuras que se originan debido a la retracción del suelo en su estado plástico, ya que se cuenta con poca información sobre éste tema en nuestro país.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1. INTERROGANTE PRINCIPAL

¿El refuerzo con fibra sintética tiene efectos positivos en las propiedades mecánicas de las vías afirmadas en el camino vecinal Jipata – Umuchi del distrito de Moho, región de Puno 2017?

1.2.2. INTERROGANTES SECUNDARIAS

¿Las características técnicas de la fibra sintética serán apropiadas para vías afirmadas en el camino vecinal Jipata - Umuchi del distrito de Moho, región de Puno 2017?

¿las propiedades mecánicas de vías afirmadas mejoraran con el refuerzo de fibra sintética en el camino vecinal Jipata - Umuchi del distrito de Moho, región de Puno 2017?

1.3. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

Las vías de afirmado presentan ahuellamientos, ondulaciones y otros, los cuales son causados por una mala compactación de las capas de subrasante y afirmado, esto se produce porque la superficie está expuesta al desgaste lo cual genera la pérdida de las partículas de suelo fino y en el tiempo las partículas de suelo grueso quedan expuestas hasta que quedan sueltas producto del rodamiento

Los ahuellamientos en los afirmados se producen por pequeños desplazamientos de material aglutinante lo que ocasiona la pérdida de las propiedades plásticas del suelo cada vez que aplicamos cargas externas, estos desplazamientos interesan, ya que al ser excesivas producen fallas, y el afirmado deja de cumplir sus funciones geotécnicas.

El manual peruano de vías no pavimentadas indica que la estructura del afirmado debe poseer un índice plástico mínimo de 4, esta condición es necesaria para cohesionar los materiales y no se produzca la erosión, al tener en la zona suelos con muy baja resistencia a la tensión se tiene que el material aglutinante fino no produce cohesión con el material grueso.

Cuando realizamos una revisión a las características de los afirmados, nos encontramos con especificaciones mínimas, como es el caso del CBR del material, el desgaste de abrasión, la granulometría, los límites de Atterberg, etc. Lo antes mencionado ha venido siendo justificado porque las solicitudes de estas vías son mínimas según indican nuestros manuales, pero en la práctica ocurre lo contrario, no solo existen cargas mayores a las diseñadas si no que estas vías tienen una gran importancia por su función y su cantidad en el País, lo cual no es reflejado en un diseño apropiado, con materiales adecuados y con inversiones que deberían ser mucho mayores a las actuales y que puedan así garantizar su durabilidad del afirmado.

Esta Investigación parte de las observaciones antes mencionadas, adiciona diferentes dosificaciones de fibra sintética en el suelo del afirmado el cual modifica las propiedades mecánicas aumentando la resistencia al esfuerzo cortante y la capacidad de soporte de suelo, para las diferentes solicitudes de carga y así pueda brindar durabilidad al afirmado, evitando la aparición de ahuellamientos y ondulaciones siendo una alternativa de diseño a largo plazo acorde a la realidad de la región de Puno

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. OBJETIVO GENERAL

- Determinar los efectos de las propiedades mecánicas en vías a nivel de afirmado con refuerzo de fibra sintética en el camino vecinal Jipata - Umuchi del distrito de Moho, región de Puno 2017.

1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Describir los afirmados sin refuerzo de fibra sintética en las propiedades mecánicas de los afirmados en el camino vecinal Jipata – Umuchi del distrito de Moho, región de Puno 2017.
- Diseñar la dosificación de fibra sintética optima en las propiedades mecánicas de los afirmados en el camino vecinal Jipata - Umuchi del distrito de Moho, región de Puno 2017.

1.5. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

1.5.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES

PAÍS: España

TÍTULO: Estudio Experimental de refuerzo de suelos con fibras sintéticas.

AUTOR: C. Fernández Calvo

AÑO: 2012

Abstract: esta investigación presenta los resultados de una investigación en laboratorio del comportamiento mecánico de suelos cohesivos y expansivos como es el caso de las arcillas, reforzadas con fibras sintéticas, los resultados indican que el suelo reforzado con fibra incrementa la resistencia al corte, y mientras más larga son las fibras el comportamiento es mejor.

OBJETIVO: La operación de desmenuzado y mezclado realizada manualmente es muy laboriosa, por lo que se requiere en obra unos medios muy específicos para conseguir una buena homogenización de la mezcla. Esta homogenización resulta más difícil con las fibras de mayor longitud.

METODO: Los ensayos de Proctor normal reflejan una homogeneidad en los resultados, lógica por la baja dosificación de fibras.

Los ensayos de CBR en condiciones de Proctor Normal, tampoco muestra una variación de su índice en función de la adición de fibras, mostrando una tendencia uniforme en el conjunto de las muestras.

Los ensayos de Hinchamiento libre no presentan igualmente variaciones significativas.

Los ensayos de Corte Directo y Triaxiales no parecen detectar un aumento de la cohesión, pero si un significativo aumento del ángulo de fricción que con las fibras más largas podría estimarse un aumento del orden del 6-9°.

Los Ensayos de Compresión simple experimentan mejoras ligeras de la resistencia (0-20%) con el tratamiento a base de fibras cortas, pudiendo sobrepasar el 50% de incremento con las fibras más largas, en los ensayos realizados sobre probetas remoldeadas en el entorno de humedad óptima Proctor Normal.

CONCLUSIÓN: Como conclusión general podemos decir que la mejora de las propiedades geotécnicas por incorporación de fibras textiles sintéticas observada en los ensayos efectuados, es tanto mayor cuanto peor sea el suelo, y cuanto más largas sean las fibras utilizadas. Por la dificultad de mezclado, es recomendable la realización de tramos experimentales in situ con un control a base de ensayos a mayor escala que los de laboratorio.

PAÍS: España

TÍTULO: Refuerzo de Suelos con fibra sintética

AUTORES: Jose Manuel Martínez Santamaría

José María Thode Mayoral (Asociación Técnica de Carreteras – Comité de Geotécnia - España).

AÑO: 2011

Abstract: El Comité de Geotecnia Vial de la Asociación Técnica de Carreteras ha venido desarrollando un conjunto de trabajos con relación al empleo de fibras en el refuerzo de suelos.

OBJETIVO: Estos trabajos, básicamente, han consistido en realizar una revisión de las publicaciones más significativas que, con relación a este tema, ha tenido acceso el Comité y por otro en la ejecución de una serie de ensayos de laboratorio con diferentes muestras de suelos mezclados con distinto tipos de fibras.

MÉTODO: La mezcla de suelos con fibras sintéticas constituye un método posible de mejora del terreno, al igual que otros procedimientos alternativos conocidos (tratamientos con cal, cemento, etc.)

En los artículos revisados se observa que uno de los usos principales de las fibras, en el caso de las fibras largas, es su empleo como elemento antierosivo (por su capacidad de retención de finos), propiedad que no se ha analizado en los ensayos de laboratorio realizados, al haberse centrado éstos en los ensayos geotécnicos tradicionales.

Las proporciones recomendadas oscilan en torno al 0.2 % en peso de fibra respecto al total del suelo.

La variación (mejora) de las propiedades geotécnicas no se puede establecer a priori. A parte de las diferencias encontradas en las referencias bibliográficas, se aprecia que dicha variación depende de las características de cada tipo de suelo.

En determinados suelos (mas arenosos), las características de la mezcla pueden incluso empeorar determinadas propiedades.

Los suelos más arcillosos, por el contrario, parecen obtener mejoras considerables, resultando mayores cuanto peor es el suelo. Dichas mejoras se basan en un aumento significativo de la resistencia al corte, fundamentalmente a través del incremento del ángulo de rozamiento interno, que llega a ser superior al 20%.

CONCLUSIONES: Las mejoras importantes parecen relacionarse directamente con la longitud de las fibras. A mayor longitud, mejores propiedades.

Las dificultades de mezclado observadas en laboratorio deben tenerse en cuenta, comprobándose el reparto homogéneo en obra.

Es recomendable la realización de tramos experimentales in situ con un control a base de ensayos a mayor escala que los de laboratorio.

1.5.2. ANTECEDENTES NACIONALES

TÍTULO: Verificación de la Dosificación de Fibras Sintéticas para Neutralizar las Fisuras Causadas por Contracción Plástica

AUTORES: GARCIA AYMAR PEDRO ANTONIO

PAÍS: Lima Perú

AÑO: 2007

OBJETIVO: Al usar el aditivo tipo D más las fibras sintéticas en el diseño encontramos que en las proporciones indicadas, estos dos en conjunto pueden llevar a contrarrestar las fisuras por contracción plástica efectivamente, ya que el aditivo ayuda a que se mantenga una película de agua en la superficie y las fibras

se adhieren al concreto de tal manera que ayudan a que el agua que sale del concreto por capilaridad no produzcan tensiones que puedan causar las fisuras.

MÉTODO: Se puede reducir las fisuras por contracción plástica de manera eficaz añadiendo 800g/m³ a las relaciones agua cemento de 0,60 y 0,65 y con 900g/m³ a la relación de 0,70.

Existe una relación directa entre el contenido de aire y la cantidad de fibra que se añade: Al aumentar la dosificación de fibra el contenido de aire aumenta.

El peso unitario disminuye ligeramente al añadirle la fibra recuperándose al aumentarle la dosificación de la fibra hasta 900 g/m³.

CONCLUSIÓN: Al aumentar la dosificación de fibra sintética el asentamiento obtenido será menor, independientemente de la relación agua – cemento. Aquí, es donde actúa el aditivo Poliheed 770R controlando la trabajabilidad del concreto con fibras sintéticas.

CAPÍTULO II

2. FUNDAMENTO TEORICO CIENTIFICO

2.1. ACÁPITE DE LA VARIABLE DEPENDIENTE

2.2. SISTEMA NACIONAL DE CARRETERAS.

²El sistema Nacional Carreteras (SINAC), ha sido constituido como instrumento de integración, y base de la elaboración del Plan Estratégico de Desarrollo Nacional. Tiene como facultad conducir con eficiencia la ejecución de proyectos y actividades de Transporte y Comunicaciones, integrar el territorio intermodalmente, plantear un ordenamiento territorial de la infraestructura, mediante la creación de ejes transversales de desarrollo, articular los centros poblados de producción y consumo, y que las políticas sectoriales regionales desarrollen sus proyectos complementarios con las vías departamentales y locales.

El SINAC está conformada por tres categorías de redes: Nacional, Departamental y Vecinal.

TABLA N° 1 SISTEMA DE CARRETERAS

LONGITUD TOTAL	SISTEMA DE CARRETERA (Kms.)								
	SUB-TOTAL	NACIONAL		DEPARTAMENTAL			SUB-TOTAL	VECINAL	
		Paviment o	No Paviment o	SUB-TOTAL	Paviment o	No Paviment o		Paviment o	No Paviment o
140,672.38	24,593.4	14,747.7	9,845.67	24,235.1	2,339.71	21,895.41	91,843.8	1,611.10	90,232.73

FUENTE: Estudio de medición de la Red Vial Nacional - DGCF - Provías Nacional.

2.2.1. RED VIAL NACIONAL

³La Red Vial Nacional tiene una longitud de 24,593 km. (Carreteras Existentes) y 1,901 km. (Carreteras en Proyecto), haciendo un total de 26,495 km. Está conformada por 130 rutas distribuidas en:

3 Ejes Longitudinales, 22 Ejes transversales, Variantes y Ramales

² MINISTERIO DE TRANSPORTE Y COMUNICACIONES – SISTEMA NACIONAL DE CARRETERAS Y SU DESENTRALIZACION
- Ing. Amelia Alcedo deVallejos – 06/12/2006

³ FUENTE: Fuente: Ministerio de Transporte y Comunicaciones, DGCF-OGPP/OE. - Elaboración: PVN/OPEI/PFISICA

2.2.2. RED VIAL DEPARTAMENTAL

⁴La Red Vial Departamental tiene una longitud de 24,235.12 km. Los Gobiernos Regionales GR son competentes sobre las redes viales departamentales. El Programa de Caminos Departamentales, PCD, que gestiona Provías Descentralizado del MTC, postula que las inversiones viales deben basarse en la elaboración de Planes Viales Departamentales Participativos PVDP de mediano plazo, los cuales deben estar articulados con: (i) los Planes de Desarrollo Regional; y (ii) la estrategia y proyectos de Corredores Económicos que se ejecutan en diversos departamentos. Se busca generar sinergias y líneas de complementación con iniciativas y esfuerzos de desarrollo regional.

⁵La planificación vial cumple un rol estratégico en el desarrollo Territorial. La infraestructura vial de alcance departamental cuenta con la potencialidad de fortalecer las actividades productivas, comerciales y de servicios del territorio departamental, conectando áreas consolidadas e incorporando nuevas áreas productivas. Este proceso de integración favorece la ocupación racional del territorio, fortalece las relaciones entre departamentos y permite la integración de las regiones al mercado nacional y mundial.

2.2.3. RED VIAL VECINAL

La Red Vial Vecinal tiene una longitud de 91,843.83 km constituyendo el 65.3 % de toda la Vialidad nacional. Los Gobiernos Locales son competentes sobre las redes viales Vecinales o Rurales.

2.2.3.1. Vías a nivel de Afirmado.

Las vías Afirmadas en el Perú se encuentran dentro de los Caminos No pavimentados los cuales constituyen el 86% del total de la Red Vial.

2.2.3.2. Características de los afirmados.

⁶El afirmado es una capa de material natural selecto procesado o semiprocesado de acuerdo a diseño, que se coloca sobre la subrasante de un camino. Funciona como capa de rodadura y da soporte al tráfico en carreteras no pavimentadas.

⁴ FUENTE: Estudio de medición de la Red Vial Nacional - DGCF - Provías Nacional.

⁵ FUENTE: Estudio de medición de la Red Vial Nacional - DGCF - Provías Nacional.

⁶ FUENTE: Estudio de medición de la Red Vial Nacional - DGCF - Provías Nacional.

El material a usarse varía según la región y las fuentes locales de agregados, cantera de cerro o de río, también se diferencia si se utilizara como una capa superficial o capa inferior, porque de ello depende el tamaño máximo de los agregados y el porcentaje de material fino o arcilla, cuyo contenido es una característica obligatoria en el camino de afirmado.

El afirmado es una mezcla de tres tamaños o tipos de material: piedra, arena y finos o arcilla. Si no existe una buena combinación de estos tres tamaños, el afirmado será pobre.

⁷El afirmado requiere de un porcentaje de piedra para soportar las cargas, asimismo un porcentaje de arena clasificada según tamaño para llenar los vacíos entre las piedra y dar estabilidad a la capa; y, obligatoriamente un porcentaje de finos plásticos para cohesionar los materiales de la capa de afirmado.

Hay dos principales aplicaciones en el uso de afirmados: su uso como superficie de rodadura en caminos no pavimentados o su uso como capa inferior granular o como colchón anticontaminante.

Como superficie de rodadura, un afirmado sin suficientes finos, está expuesto a perderse, porque es inestable. En construcción de caminos se requiere un porcentaje limitado pero suficiente de materiales finos y plásticos, que cumplan la función de aglutinar para estabilizar la mezcla de gravas.

Un buen afirmado para capa inferior, tendrá mayor tamaño máximo de piedras, que en el caso de la capa de superficie y muy poco porcentaje de arcillas y de materiales finos en general. La razón de ello es que la capa inferior debe tener buena resistencia para soportar las cargas de tránsito y además la cualidad de ser drenante.

2.2.3.3. Gradación de los materiales de la capa de afirmado

Existen pocos depósitos naturales de material que tiene una gradación ideal, donde el material sin procesar se puede utilizar directamente, por lo que será necesario zarandear el material para obtener la granulometría específica. En general los materiales serán agregados naturales procedentes de excedentes de excavaciones o canteras o podrán provenir de la trituración de rocas y gravas, o podrán estar constituidos por una mezcla de productos de ambas procedencias.

⁷ Referencia: MTC-Manual para el diseño de caminos no pavimentados de bajo volumen de tránsito-marzo 2008

Es recomendable que las piedras tengan caras fracturadas o aristas y superficies rugosas, su comportamiento es mucho mejor que la piedra lisa redondeada o canto rodado, dándole a la capa de afirmado resistencia y estabilidad bajo las cargas actuantes.

Gravas procedentes de bancos que contienen piedras fracturadas naturalmente son consideradas como muy buenos materiales. En todo caso, se podrán obtener mejores resultados procesando el material por trituración; esto significa que un buen porcentaje de las piedras tendrán caras fracturadas por proceso de la trituración, lográndose mejores propiedades de resistencia y estabilidad de la capa de afirmado. Es muy importante indicar que todas las gravas no son iguales, por lo que la calidad verdadera debe ser determinada efectuando ensayos y dosificaciones de los materiales que constituyen el afirmado, esto asegurará que la dosificación puesta en obra sea la adecuada.

TABLA N° 2 GRADACION DE LOS MATERIALES DE LA CAPA DE AFIRMADO

Porcentaje que pasa el tamiz	Gradación C	Gradación D	Gradación E	Gradación F
50 mm (2'')				
37.5 mm (1 ½'')				
25 mm (1'')	100	100	100	100
19 mm (¾'')				
12.5 mm (1/2'')				
9.5 mm (3/8'')	50 - 85	60 - 100		
4.75 mm (N° 4)	35 - 65	50 - 85	55 - 100	70 - 100
2.36 mm (N° 8)				
2.0 mm (N° 10)	25 - 50	40 - 70	40 - 100	55 - 100
4.25 um (N° 40)	15 - 30	25 - 45	20 - 50	30 - 70
75 um (N° 200)	5 - 15	5 - 20	6 - 20	8 - 25
Índice de Plasticidad	4 - 9	4 - 9	4 - 9	4 - 9
Límite Líquido	Máx. 35%	Máx. 35%	Máx. 35%	Máx. 35%
Desgaste Los Ángeles	Máx. 50%	Máx. 50%	Máx. 50%	Máx. 50%
CBR [referido al 100% de la máxima densidad seca y una penetración de carga de 0.1'' (2.5 mm)]	Mín. 40%	Mín. 40%	Mín. 40%	Mín. 40%
Fuente: AASHTO M 147				

FUENTE: MTC-Manual de carreteras. Suelos, Geotecnia y pavimentos. Sección Suelos y pavimentos.

2.2.3.4. Requisitos de Calidad

⁸El material de afirmado que se decida utilizar, deberá cumplir los siguientes requisitos de calidad:

Desgaste de los Ángeles	: 50% máx. (MTC E 207)
Límite Líquido	: 35% máx. (MTC E 110)
CBR	: 40% mín. (MTC E 132)

FUENTE: MTC-Manual de carreteras. Suelos, Geotecnia y pavimentos. Sección Suelos y pavimentos

Muy importante es el índice de plasticidad, que podría llegar hasta un máximo de 12 y no debe ser menor de 4. La razón es que la capa de rodadura en su superficie necesita de un mayor porcentaje de material plástico y las arcillas naturales, le darán la cohesión necesaria y por lo tanto una superficie cómoda para la conducción vehicular.

Esto puede ser crítico durante el periodo seco, pues necesitará riego de agua; en cambio durante periodo húmedo en la superficie pueden aparecer pequeñas huellas que después de las lluvias rápidamente se secarán y endurecerán por efecto del sol y el viento. En cambio si la capa de afirmado presenta una gran cantidad de finos plásticos, esta grava causará problemas si es que la humedad llega a este nivel pues esta capa inferior perderá resistencia y estabilidad, causando ahuellamientos profundos o la falla total de la capa granular de rodadura.

En el caso que se tuvieran materiales con Índice de Plasticidad fuera del rango 4-12%, se deberá estudiar el empleo de un tratamiento superficial, como la imprimación reforzada bituminosa, estabilización con cal, cemento, cloruros de sodio o magnesio u otros estabilizadores químicos, con la finalidad de mantener o prolongar la vida útil del camino.

2.2.3.5. Tipos de Afirmado

⁹La capa de afirmado estará adecuadamente perfilada y compactada, según los alineamientos, pendientes y dimensiones indicados en los planos del proyecto.

⁸ Referencia: MTC-Manual para el diseño de caminos no pavimentados de bajo volumen de tránsito -marzo 2008

⁹ Referencia: MTC-Manual para el diseño de caminos no pavimentados de bajo volumen de tránsito -marzo 2008

Afirmado Tipo 1:

Corresponde a un material granular natural o grava seleccionada por zarandeo, con un índice de plasticidad hasta 9; excepcionalmente se podrá incrementar la plasticidad hasta 12, previa justificación técnica. Se utilizará en los caminos de bajo volumen de tránsito, clases T0 y T1, con IMD menor a 50 vehículos día.

Afirmado Tipo 2:

Corresponde a un material granular natural o grava seleccionada por zarandeo, con un índice de plasticidad hasta 9; excepcionalmente se podrá incrementar la plasticidad hasta 12, previa justificación técnica. Se utilizará en los caminos de bajo volumen de tránsito, clases T2, con IMD entre 51 y 100 vehículos día.

Afirmado Tipo 3:

Corresponde a un material granular natural o grava seleccionada por zarandeo o chancado, con un índice de plasticidad hasta 9; excepcionalmente se podrá incrementar la plasticidad hasta 12, previa justificación técnica. Se utilizará en los caminos de bajo volumen de tránsito, clases T3, con IMD proyectado entre 101 y 200 vehículos día.

Afirmado Tipo 4:

Corresponde a un material granular o grava seleccionada por chancado o trituración, con un índice de plasticidad hasta 9; excepcionalmente se podrá incrementar la plasticidad hasta 12, previa justificación técnica. Se utilizará en los caminos de bajo volumen de tránsito, clases T4, con IMD proyectado entre 201 y 400 vehículos día.

2.2.3.6. Diseño de Afirmados**a) Categorías de la sub-rasante**

De acuerdo al CBR, se tiene la clasificación siguiente:

TABLA N° 3 CLASIFICACION DE LA SUBRASANTE

Categoría	Referencia	CBR (%)
S0	Muy pobre	< 3
S1	Pobre	3 – 5
S2	Regular	6 – 10
S3	Buena	11 – 19
S4	Muy Buena	> 20

FUENTE: MTC-Manual de carreteras. Suelos, Geotecnia y pavimentos. Sección Suelos y pavimentos

b) Condiciones para el diseño.

Nivel freático de la sub-rasante

El nivel freático debe quedar debajo a 0.65 ó 1.20m, dependiendo del material de la sub-rasante, caso contrario se colocarán drenes.

c) Diseño del espesor del afirmado

Se presenta una metodología para diseñar estructuras de pavimentos cuya capa de rodadura está compuesta por material de afirmado en su totalidad, entendiéndose esta como una capa de material granular destinada a soportar las cargas del tránsito, que adicionalmente puede ser tratada para el control de polvo.

En el funcionamiento estructural de las capas de revestimiento granular influye el tipo de suelo de la subrasante, el número total de los vehículos pesados durante el periodo de diseño, expresados en ejes equivalentes (EE); y, los materiales granulares cuyas propiedades mecánicas y comportamiento son conocidos y están considerados en las especificaciones Técnicas Generales para la Construcción de Carreteras vigente; también forman parte las estabilizaciones y mejoramientos de suelos de la subrasante o el tratamiento de las capas de revestimiento granular.

Esta metodología establece el espesor del diseño en función de los siguientes parámetros.

Características de la subrasante

Nivel de Tránsito

¹⁰Para el dimensionamiento de los espesores de la capa de afirmado se adoptó como representativa la siguiente ecuación del método NASSRA, (National Association of Australian State Road Authorities, hoy AUSTROADS) que relaciona el valor soporte del suelo (CBR) y la carga actuante sobre el afirmado, expresada en número de repeticiones de EE:

$$e = [219 - 211x(\text{Log}_{10} \text{CBR}) + 58x(\text{log}_{10} \text{CBR})^2]x\text{Log}_{10}\left(\frac{N_{rep}}{120}\right)$$

Donde;

¹⁰ Referencia: MTC-Manual de carreteras. Suelos, Geotecnia y pavimentos. Sección Suelos y pavimentos. 1era Edición, Junio 2013

e = espesor de la capa de afirmado en mm. CBR= Valor de CBR de la subrasante
 Nrep= número de repeticiones de EE para el carril de diseño.

2.2.3.7. Evaluación de vías en afirmado

Por la gran extensión de los caminos no pavimentados, y por la necesidad de conservarlos oportunamente en un buen nivel operativo, la ingeniería vial ha buscado siempre hacer uso de un práctico y eficaz método que cubra la actividad básica en la planificación, en el inventario de condición y de la identificación de defectos.

2.2.3.8. Objetivos de la evaluación.

- Clasificar y cuantificar los deterioros
- Determinar la condición de los diferentes segmentos de la vía objeto de la evaluación
- Observar los cambios en la condición de la calzada durante el transcurso del tiempo.
- Identificar las medidas necesarias de mantenimiento o mejoramiento.
- Establecer prioridades de intervención.

2.2.4. CLASIFICACIÓN DE LOS DETERIOROS

Deterioros Generalizados

Pérdida de grava

Ondulaciones

Ahuellamiento

Pérdida de sección transversal

Otros Deterioros

Baches

Surcos de erosión

Cabezas Duras

2.2.4.1. Pérdida de grava.

La pérdida de grava es la desaparición del material superficial como consecuencia de las agresiones sufridas por el afirmado, incluyendo algunas acciones de conservación.

Su velocidad de evolución es variable de acuerdo con el clima, los materiales de construcción, el tránsito y la topografía.

Ocurre en cualquier época del año pero se acentúa en la lluvia. En épocas de lluvia se forman nubes de polvo que reducen la visibilidad y afectan a los vecinos de la vía.

2.2.4.2. Ondulaciones.

Las ondulaciones son la reordenación de la superficie en ondas paralelas orientadas perpendicularmente al sentido del tránsito. Ocupan todo el ancho de la vía y su longitud de onda varía desde 300mm en calzadas arenosas, hasta 1,000 mm en calzadas con alto contenido de grava.

El deterioro se desarrolla en la estación seca cuando los materiales presentan débil cohesión.

2.2.4.3. Ahuellamientos.

2.2.4.3.1. Generalidades

¹¹El ahuellamiento es un tipo de defecto o falla que se produce en los afirmados, el cual consiste en una depresión canalizada en la huella de circulación de los vehículos.

Se desarrolla gradualmente y aparece como una depresión continua en las bandas de circulación de los neumáticos, dificultando la maniobrabilidad de los vehículos y ocasionando una disminución en la seguridad.

El ahuellamiento es la deformación que altera la pendiente transversal, la cual proviene de las fuerzas ejercidas por los neumáticos de los vehículos, siendo más marcada cuando más pesado y canalizado sea el tránsito.

En la estación seca se produce el desplazamiento lateral de los materiales poco cohesivos, en tanto que en la época húmeda se puede producir de estabilidad del afirmado o de la capa de soporte.

2.2.4.3.2. Causas de los Ahuellamientos.

¹¹ Referencias: Estudio del ahuellamiento en la carretera Iirsa Norte, tramo 6, sector óvalo Cáceres-Dv. Sullana Giomar Erick Romero Rojas Piura, 12 de marzo de 2012 facultad de ingeniería departamento de ingeniería civil - marzo 2012

¹²Las causas pueden ser principalmente, una mala compactación de las capas de afirmado o tensiones de trabajo mayores a las tensiones admisibles tanto en la capa de afirmado como en la subrasante. Es decir, las causas en este caso son de tipo constructivo o de diseño estructural de la capa.

2.2.5. PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS SUELOS

¹³Las propiedades mecánicas de un suelo permiten al ingeniero de cimentaciones llegar a un diseño de la obra civil en la etapa de estudio, considerando los tres grandes problemas a los que él comúnmente se enfrenta como son: Los estados límite de falla (que trata sobre la estabilidad de las estructuras). Los estados límite de servicio (que se refiere a los hundimientos totales y diferenciales que sufrirá la cimentación y la superestructura). El flujo de agua a través de los suelos que influye en el comportamiento de los mismos. Para analizar estos problemas se emplean modelos que se alimentan de los parámetros obtenidos ya sea de pruebas de campo o ensayos de laboratorio de permeabilidad, deformabilidad, resistencia y propiedades dinámicas, en muestras lo menos alteradas posible, o al menos tratando de reproducir en el laboratorio su grado de compactación en estado natural.

2.2.6. GRANULOMETRÍA DE LOS SUELOS

¹⁴La granulometría se define como la distribución de los diferentes tamaños de las partículas de un suelo, expresado como un porcentaje en relación con el peso total de la muestra seca. Aprenderemos a utilizarla como un instrumento en la clasificación de los materiales, ya que la descripción por tamaño tiene especial interés en la selección de materiales para rellenos de carreteras y presas, los cuales requieren materiales con graduaciones determinadas.

La granulometría es la distribución de los tamaños de las partículas de un agregado tal como se determina por análisis de tamices (norma ASTM C 136).

El tamaño de partícula del agregado se determina por medio de tamices de malla de alambre aberturas cuadradas. Los siete tamices estándar ASTM C 33 para agregado fino tiene aberturas que varían desde la malla No. 100(150 micras) hasta 9.52 mm.

¹² Referencia: Pavimentos Ing. Fernando Sanchez Sabogal- modulo 21

¹³ Fuente: <http://www.arqhys.com/construccion/propiedades-mecanicas-suelo.html>

¹⁴ Fuente: <https://civilgeeks.com/2013/11/25/granulometria-suelos-ing-nestor-luis-sanchez/>

Los números de tamaño (tamaños de granulometría), para el agregado grueso se aplican a las cantidades de agregado (en peso), en porcentajes que pasan a través de un arreglo de mallas. Para la construcción de vías terrestres, la norma ASTM D 448 en lista los trece números de tamaño de la ASTM C 33, más otros seis números de tamaño para agregado grueso.

La arena o agregado fino solamente tiene un rango de tamaños de partícula.

2.2.7. CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS

¹⁵Hay dos sistemas de clasificación de suelos de uso común para propósitos de ingeniería.

- El Sistema Unificado de Clasificación del suelo (SUCS o USCS) que se utiliza para casi todos los trabajos de ingeniería geotécnica.
- El sistema de clasificación AASHTO que se usa por la construcción de carreteras y terraplenes.

Ambos sistemas utilizan los resultados del análisis granulométrico y la determinación de los límites de Atterberg para determinar la clasificación del suelo. Las fracciones texturales del suelo son: grava, arena, limo, arcilla. A un suelo que comprende uno o más de estos componentes se le da un nombre descriptivo y una designación que consta de letras o números y letras. Estas letras dependen de las proporciones relativas de los componentes y de las características de plasticidad del suelo.

2.2.7.1. EL SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DEL SUELO (SUCS)

Se basa en el sistema de clasificación desarrollado por Casagrande durante la Segunda Guerra Mundial. Con algunas modificaciones fue aprobado conjuntamente por varias agencias de gobierno de los EE.UU. en 1952. Refinamientos adicionales fueron hechas y actualmente está estandarizado como la norma ASTM D 2487-93. Se utiliza en los EE.UU. y gran parte del mundo para trabajos geotécnicos que no sean los caminos y carreteras. los suelos de un sistema unificado se designan por un símbolo de dos letras: el

¹⁵ Fuente: Lorenzo Borcelli , 2010

primero considera que el principal componente de la tierra, y la segunda describe informaciones de la curva granulométrica o características de plasticidad. Por ejemplo: la arena pobremente graduada se denomina SP y arcilla con baja plasticidad es CL.

SUCS – UCS: se utilizan los símbolos de cinco letras: G por grava (gravel), S por arena (sand), M por limo (silt), C por arcilla (clay), O por suelos orgánico (organic soil) y P por turba (peat soils)

2.2.7.2. SISTEMA DE CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS AASHTO

¹⁶Está destinada principalmente a clasificar los suelos de acuerdo a su adaptabilidad para ser usados en la construcción de pavimentos en carreteras y caminos. El sistema AASHTO se usa principalmente para clasificación de las capas de carreteras. No se usa en la construcción de cimentaciones. Este sistema describe un procedimiento para clasificar suelos en siete grupos principales: desde A-1 hasta A-7, basado en el tamaño del grano (granulometría), en la plasticidad (límite líquido e índice de plasticidad). Para evaluación cualitativa de la conveniencia de un suelo como material para subrasante de un camino, se desarrolló también un número denominado índice de grupo (IG).

- Grupo A-1: el material clasificado en este grupo, es una mezcla bien gradada de fragmentos de piedra o grava, arena gruesa, arena fina y un aglomerante no plástico o poco plástico.
- Grupo A-1-a: en este sub-grupo se clasifican aquellos materiales que están formados, principalmente, de fragmentos de piedra o grava con o sin un aglomerante fino bien gradado.
- Grupo A-1-b: aquellos materiales que están formados de arena gruesa con aglomerante bien gradado o sin él.
- Grupo A-2: incluye todos los materiales que contienen hasta un 35% del material que pasa la malla No. 200 y que no pueden clasificarse en los

¹⁶ Fuente: https://es.wikipedia.org/wiki/Sistema_Unificado_de_Clasificaci%C3%B3n_de_Suelos

grupos A-1 y A-3, por sobrepasar las limitaciones de dichos grupos debido a un exceso en la proporción de finos, en la plasticidad o en ambas.

- Sub-grupo A-2-4 y A-2-5: además de sobrepasar en un 35% de la malla No. 200; en la fracción que pasa por la malla No. 40 tiene características de los grupos A-4 y A-5. Quedan incluidos los materiales como gravas y arenas gruesas, con una porción de limo o un índice de plasticidad mayor a la limitación del grupo A-1 y arenas finas que contienen limo no plástico en cantidad superior a las limitaciones del grupo A-3.
- Sub-grupo A-2-6 y A-2-7: aquí se incluyen los materiales similares a los de los grupos A-2-4 y A-2-5, con la diferencia de que el material fino contiene arcilla plástica que tiene las características de los grupos A-6 y A-7. Los efectos combinados del aumento por encima de 10 del índice plástico y del aumento por encima del 15% de lo que pasa de la malla No. 200, se reflejan en los valores del índice de grupo desde cero a cuatro (materiales limo-arcillosos).
- Grupo A-4: a este grupo pertenecen los suelos limosos sin plasticidad o poco plásticos, que tienen más del 75% de sus partículas pasando por la malla No. 200. También incluye este grupo a mezclas de limo fino y hasta un 64% de arenas y gravas que carecen de la fracción que pasa de la malla No. 200. El índice de grupo varía de uno a ocho, notándose un aumento en el porcentaje de material grueso a medida que se reduce el índice de grupo.
- Grupo A-5: similares al grupo anterior, pero con la diferencia que son del tipo diatomáceo o micáceo. Estos suelos pueden ser muy elásticos según se refleja por su alto límite líquido. Su índice de grupo varía de uno a 12, indicando los valores crecientes, el efecto combinado de la disminución del porcentaje de material grueso y el aumento de su límite líquido.
- Grupo A-6: arcillas plásticas que tiene el 75% o más del material pasado de la malla No. 200. Incluye también mezclas de suelo arcilloso fino hasta con un 64% de grava y arena que carecen de la fracción que pasa de la

mallas No. 200. Con la humedad estos suelos suelen experimentar fuertes cambios de volumen. Su índice de grupo varía de uno a 16, indican los valores crecientes el efecto del aumento del índice plástico y la disminución del porcentaje de material grueso.

- Grupo A-7: similares al grupo anterior, excepto que tiene el límite líquido muy alto como es característico de los suelos del grupo A-5. Pueden ser elásticos y están sujetos a grandes cambios de volumen, estos suelos tienen un índice de grupo que varía de uno a 20.
- Sub-grupo A-7-5: materiales con un índice de plasticidad moderado en relación con el límite líquido, los cuáles pueden ser muy elásticos y están sujetos a grandes cambios de volumen.
- Sub-grupo A-7-6: materiales que tienen un índice plástico muy alto con relación a su límite líquido y que están sujetos a extremos cambios de volumen con los cambios de humedad.

2.2.8. LÍMITES DE ATTERBERG

¹⁷Los límites de Atterberg, límites de plasticidad o límites de consistencia, se utilizan para caracterizar el comportamiento de los suelos finos, aunque su comportamiento varía a lo largo del tiempo. El nombre de estos es debido al científico sueco Albert Mauritz Atterberg (1846-1916).

Los límites se basan en el concepto de que en un suelo de grano fino solo pueden existir cuatro estados de consistencia según su humedad. Así, un suelo se encuentra en estado sólido cuando está seco. Al agregársele agua poco a poco, va pasando sucesivamente a los estados de semisólido, plástico y, finalmente, líquido. Los contenidos de humedad en los puntos de transición de un estado al otro son los denominados límites de Atterberg.

Los ensayos se realizan en el laboratorio y miden la cohesión del terreno y su contenido de humedad, para ello se forman pequeños cilindros de espesor con el suelo. Siguiendo estos procedimientos se definen tres límites:

¹⁷ Fuente: https://es.wikipedia.org/wiki/L%C3%ADmites_de_Atterberg

Límite líquido: cuando el suelo pasa de un estado plástico a un estado líquido. Para la determinación de este límite se utiliza la cuchara de Casagrande.

Límite plástico: cuando el suelo pasa de un estado semisólido a un estado plástico.

Límite de retracción o contracción: cuando el suelo pasa de un estado semisólido a un estado sólido y se contrae al perder humedad.

2.2.9. COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO

¹⁸Se entiende por compactación todo proceso que aumente el peso volumétrico de un material granular. En general, es conveniente compactar un suelo para:

- a) Aumentar la resistencia al corte y por consiguiente, mejorar la estabilidad y la capacidad de carga de cimentaciones y pavimentos.
- b) Disminuir la compresibilidad y así reducir los asentamientos.
- c) Disminuir la relación de vacíos y por consiguiente, reducir la permeabilidad.
- d) Reducir el potencial de expansión, contracción o expansión por congelamiento.

El acomodo de las partículas, en un suelo que se ha tratado de mejorar, no sólo depende de las características del dispositivo que se usó para compactar, sino fundamentalmente de la humedad que tenía en ese momento el material. Si las partículas están secas, la fricción intergranular opone una resistencia mayor al desplazamiento relativo de ellas, que si se encuentra lubricadas por una partícula de agua; por el contrario, si la masa tiene una humedad elevada, el agua llena los vacíos que podrían ser ocupados por partículas en un arreglo más denso. Esto es cierto en suelos que tiene alto porcentaje de finos y no en las arenas gruesas y gravas. Por lo tanto, existe un contenido de agua con el que se obtiene el máximo peso volumétrico. Para medir el grado de compactación de un material o un relleno se debe establecer la densidad seca del material. En la obtención de la densidad seca se debe tener en cuenta los parámetros de la energía utilizada durante la compactación y también depende del contenido de humedad durante el mismo. Para obtener una buena compactación será necesario controlar debidamente la cantidad de agua, debido a que, si ésta es muy poca, no existirá

¹⁸ Fuente: <https://es.scribd.com/doc/14537512/>

lubricación y no se podrá disminuir la fricción existente entre las partículas; en caso de que el agua sea en exceso, las partículas podrán ser separadas por el agua. La situación anterior, demuestra que es necesario determinar la cantidad de agua en la cual se obtenga una excelente lubricación que permita la mayor densidad posible llamada “Densidad Máxima o Peso Unitario Seco Máximo”; y a la cantidad de agua necesaria para obtener dicha densidad recibe el nombre de “Humedad Óptima”.

La máxima densidad seca para una masa de suelo se puede alcanzar, mediante los ensayos de laboratorio o en obra por medio de la compactación, depende, sobre todo, del tipo de suelo y varía desde un valor de 65 lb/pie³ en una arena pómez a unas 95 lb/pie³ para una arcilla pesada. La humedad óptima varía desde un cuatro por ciento para suelos de grano grueso, hasta un 35% para las arcillas pesadas. Compactando un suelo a diferentes contenidos de humedad, se pueden llevar los valores obtenidos a un gráfico, en el cual las ordenadas representan los diferentes valores de las densidades secas expresadas en kg/m³ o lb/pie³ y en las abscisas los porcentajes de humedad.

La curva resultante se denomina CURVA DE COMPACTACIÓN y tiene una rama ascendente, llega a un punto máximo para después decrecer, la parte alta es el punto para el cual corresponde la “Densidad Seca Máxima o PUS_{máx}” y el porcentaje de humedad respectiva será “Humedad Óptima %H_{opt}”. La curva se asemeja generalmente, a una parábola y también es llamada curva Proctor. En la vida real, la compactación se realiza sobre materiales que serán utilizados para relleno en la construcción de terraplenes, pero también en proyectos destinados al mejoramiento de las propiedades mecánicas del terreno.

2.2.10. RESISTENCIA A LA ABRASION

¹⁹La resistencia a la abrasión, desgaste, o dureza de un agregado, es una propiedad que depende principalmente de las características de la roca madre. Este factor cobra importancia cuando las partículas van a estar sometidas a un roce continuo como es el caso de pisos y pavimentos, para lo cual los agregados que se utilizan deben estar

¹⁹ Fuente: <http://www.construaprende.com/docs/lab/330-practica-resistencia-abrasion-agregados>

duros.

Para determinar la dureza se utiliza un método indirecto cuyo procedimiento se encuentra descrito en la Normas ICONTEC 93 y Norma ICONTEC 98 para los agregados gruesos. Dicho método más conocido como el de la Máquina de los Angeles, consiste básicamente en colocar una cantidad especificada de agregado dentro de un tambor cilíndrico de acero que está montado horizontalmente. Se añade una carga de bolas de acero y se le aplica un número determinado de revoluciones. El choque entre el agregado y las bolas da por resultado la abrasión y los efectos se miden por la diferencia entre la masa inicial de la muestra seca y la masa del material desgastado expresándolo como porcentaje inicial.

$$\text{Porcentaje de desgaste} = [P_a - P_b] / P_a$$

Donde

P_a es la masa de la muestra seca antes del ensayo (grs)

P_b es la masa de la muestra seca después del ensayo, lavada sobre el tamiz 1.68 mm

En el ensayo de resistencia a la abrasión o al desgaste se utiliza la Máquina de los Ángeles. Esta es un aparato constituido por un tambor cilíndrico hueco de acero de 500 mm de longitud y 700 mm de diámetro aproximadamente, con su eje horizontal fijado a un dispositivo exterior que puede transmitirle un movimiento de rotación alrededor del eje. El tambor tiene una abertura para la introducción del material de ensayo y de la carga abrasiva; dicha abertura está provista de una tapa que debe reunir las siguientes condiciones:

- Asegurar un cierre hermético que impida la pérdida del material y del polvo.
- Tener la forma de la pared interna del tambor, excepto en el caso de que por la disposición de la pestaña que se menciona más abajo, se tenga certeza de que el material no puede tener contacto con la tapa durante el ensayo.
- Tener un dispositivo de sujeción que asegure al mismo tiempo la fijación rígida de la tapa al tambor y su remoción fácil.

El tambor tiene fijada interiormente y a lo largo de una generatriz, una pestaña o saliente de acero que se proyecta radialmente, con un largo de 90 mm aproximadamente. Esta pestaña debe estar montada mediante pernos u otros medios

que aseguren su firmeza y rigidez. La posición de la pestaña debe ser tal que la distancia de la misma hasta la abertura, medida sobre la pared del cilindro en dirección de la rotación, no sea menor de 1250 mm.

Una carga abrasiva consiste en esfera de fundición o de acero de unos 48 mm de diámetro y entre 390 y 445 gramos de masa, cuya cantidad depende del material que se ensaya, tal como se indica en la siguiente tabla

TABLA N° 4 ABRASION LOS ANGELES

TIPO	NÚMEROS DE ESFERAS	MASA DE LAS ESFERAS (grs)
A	12	5000 ± 25
B	11	4584 ± 25
C	8	3330 ± 25
D	6	2500 ± 15

NOTA. Recuperado de "Abrasion los angeles", de construiaprende, 02 de diciembre, 2014. Recuperado de <http://www.construiaprende.com/docs/lab/330-practica-resistencia-abrasion-agregados>

2.2.11. ¿QUÉ ES EL CBR DE UN SUELO?

²⁰El CBR es un ensayo para evaluar la calidad de un material de suelo con base en su resistencia, medida a través de un ensayo de placa a escala.

CBR significa en español relación de soporte California, por las siglas en inglés de «California Bearing Ratio», aunque en países como México se conoce también este ensayo por las siglas VRS, de Valor Relativo del Soporte.

Aunque fue desarrollado en 1925, el ensayo comienza a aparecer en los estándares norteamericanos ASTM (por American Standards for Testing and Materials) desde 1964, en su versión para laboratorio (ASTM D 1883), y en su versión para campo (ASTM D 4429). A pesar de sus múltiples limitaciones, como se indicarán más adelante en este artículo, hoy por hoy, el CBR es uno de los ensayos más extendidos y aceptados en el mundo debido al relativo bajo costo de ejecución (si se compara con ensayos triaxiales), y a que está asociado a un número de correlaciones y métodos semi-empíricos de diseño de pavimentos.

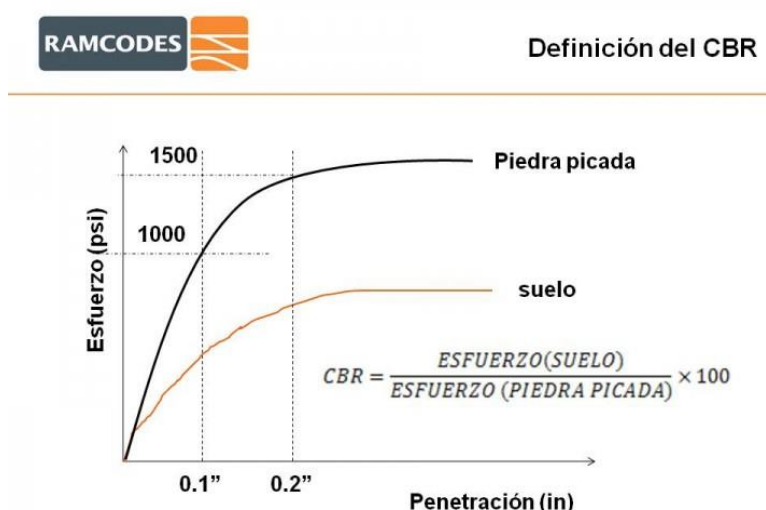
Según la norma ASTM D 1883-07, el CBR es un ensayo de carga que usa un pistón

²⁰ Fuente: <https://civilgeeks.com/2012/08/14/que-es-el-cbr-de-un-suelo/>

metálico, de 0.5 pulgadas cuadradas de área, para penetrar desde la superficie de un suelo compactado en un molde metálico a una velocidad constante de penetración. Se define CBR, el parámetro del ensayo, como la relación entre la carga unitaria en el pistón requerida para penetrar 0.1" (2.5 cm) y 0.2" (5 cm) en el suelo ensayado, y la carga unitaria requerida para penetrar la misma cantidad en una piedra picada bien gradada estándar; esta relación se expresa en porcentaje.

Bien, por cada espécimen de suelo se calculan dos valores de CBR, uno a 0.1" de penetración, y el otro a 0.2" de penetración. La pregunta de siempre es ¿cuál de los dos es el CBR que se reporta? ASTM dice que el que se reporta es el de 0.1" mientras este sea menor que el de 0.2". En el caso en el que el valor de CBR para 0.1" fuera mayor que el de 0.2" habría que repetir el ensayo para ese espécimen (La norma en inglés dice «rerun», que traducimos como volver a hacer el ensayo, pero no aclara si hay que volver a fabricar el espécimen o si se puede utilizar la opción de voltearlo y ensayarlo por el otro extremo).

FIGURA N° 3 ESFUERZO VS PENETRACIÓN



FUENTE: Manual de laboratorio de Mecánica de Suelos.

Los valores de CBR cercanos a 0% representan a suelos de pobre calidad, mientras que los más cercanos a 100% son indicativos de la mejor calidad. Antes de que pregunten les digo que sí, es posible obtener registros de CBR mayores que 100%, típicamente en suelos ensayados en condición «en seco» o «tal como se compactó».

Ante las preguntas que nos hay llegado prometo escribir un artículo especialmente para soportar este aspecto con resultados reales de pruebas.

En la versión de CBR de laboratorio, los especímenes de suelo se compactan con el equipamiento del ensayo Proctor, utilizando moldes de 6" de diámetro y martillo grande. La velocidad de penetración del pistón durante el ensayo es constante e igual a 1.27 mm/min.

2.2.12. ENSAYO DE CORTE DIRECTO.

Ensayo de Corte Directo El ensayo más típico para determinar la resistencia de una muestra de suelo sometida a deformaciones que simulen las que existen o existirán en terreno producto de la aplicación de una carga es el de corte directo, este consiste en una caja de sección cuadrada o circular fraccionada horizontalmente en dos mitades. Dentro de ella se coloca la muestra de suelo con piedras porosas en ambos extremos, se aplica una carga vertical de confinamiento y luego una carga horizontal progresiva que origina el desplazamiento de la mitad móvil de la caja originando el corte.²¹

El ensayo de corte directo en comparación con el ensayo triaxial es más restringido, debido a que la consolidación y el drenaje de la muestra no pueden ser controlados. El aparato de corte directo generalmente se limita a ensayos bajo condiciones consolidado-drenado (CD). Cuando se hace referencia de si un suelo es consolidado, no-consolidado, drenado y no drenado, quiere decir que el suelo tiene permitido consolidar y drenar en el campo, bajo las condiciones de carga que pueden causar la falla. En general todos los suelos han sido consolidados bajo algún esfuerzo en el algún tiempo de su vida, lo cual nos lleva a considerar que los suelos no-consolidado y no-drenado no aplican si tenemos en cuenta este criterio. En general lo que se hace con los ensayos de laboratorio es simular las cargas que muy posiblemente les serán aplicadas en campo. En cuanto a la resistencia de los suelos existen ensayos apropiados según el tipo de suelo, ya sean arcillas, suelos granulares, para cada uno de ellos se deben tratar las características particulares y las condiciones a las que son sometidos son

²¹ Referencia: Bowles Joseph E. Foundation analysis and design .4th Edition

diferentes, por ejemplo, las velocidades de consolidaciones de suelos arcillosos son más lentas entre otras

2.2.12.1. TIPOS DE ENSAYOS CORTE DIRECTO

²²**Ensayo No Consolidado – No Drenado (UU)** El corte se inicia antes de consolidar la muestra bajo la carga normal. Si el suelo es cohesivo y saturado se desarrollará exceso de presión de poros. Este ensayo es análogo al ensayo triaxial no consolidado – drenado.

Ensayo Consolidado – Drenado (CD) Se aplica la fuerza normal lentamente para que se genere el corte y a su vez se vaya desarrollado todo el asentamiento. La fuerza cortante se genera tan lento como sea posible para evitar el desarrollo de presiones de poros en la muestra. Este ensayo es análogo al ensayo triaxial consolidado – drenado.

Ensayo Consolidado-no drenado (CU) Se aplica la fuerza normal y se observa el movimiento vertical del deformímetro hasta que pare el asentamiento antes de aplicar fuerza cortante. Este ensayo puede situarse entre los ensayos triaxiales consolidado – no drenado y consolidado – drenado. Para muestras de suelos no cohesivos, estos tres ensayos dan el mismo resultado, esté la muestra saturada o no, ya que la aplicación del corte se hace de manera lenta. Para muestras de suelos cohesivos, los parámetros son influenciados por el método de ensayo y por el grado de saturación, además se debe tener en cuenta si la muestra esta normalmente consolidada o sobre consolidada. Por lo general, se logra para suelos sobre consolidados dos parámetros de resistencia; un parámetro para ensayos con cargas inferiores a la presión de pre consolidación y un parámetro para cargas normales mayores que la presión de pre consolidación. De allí, que si obtiene un esfuerzo de pre consolidación en un suelo cohesivo es aconsejable hacer seis o más ensayos para garantizar la obtención de los parámetros adecuados de resistencia al corte.

2.3. ACÁPITE DE LA VARIABLE INDEPENDIENTE

²² Bowles Joseph E. "Foundation analysis and design" 4th Edition.

2.3.1. SUELOS REFORZADOS

²³El refuerzo del suelo ha sido un concepto geotécnico importante desde la época antigua. El ejemplo más antiguo es construido por los babilonios 3000 años atrás. La Gran Muralla de China, construido hace más de 2000 años que a su vez es también un famoso ejemplo de una antigua estructura de suelo reforzado

Materiales naturales como ramas de árboles fueron el material de refuerzo típico de refuerzo del suelo durante un largo periodo de tiempo. En la década de 1970 en Europa, se desarrollaron materiales de refuerzo poliméricos con una forma de rejilla (geomallas), dando lugar a suelos reforzados con geosintéticos (GRS).

Los países asiáticos han hecho notables progresos en el desarrollo de su infraestructura en las últimas décadas. El tratamiento de suelos blandos o la utilización de los suelos marginales con antiguas técnicas de refuerzo del suelo, a menudo se utilizan como soluciones poderosas para lograr la estabilidad y estructuración del suelo.

2.3.2. FIBRAS SINTÉTICAS

²⁴Son aquellas obtenidas a partir de polímeros sintéticos derivados del petróleo. Las más comunes son:

- Poliéster (existen derivados retardantes de flama como el Avora y Trevira)
- Acrílico
- Polipropileno (olefínica)
- Nylon

La fibra sintética es una fibra textil que se obtiene por síntesis orgánica de diversos productos derivados del petróleo.

Las fibras artificiales no son sintéticas, pues proceden de materiales naturales, básicamente celulosa.

Algunas veces la expresión «fibras químicas» se utiliza para referirse a las fibras

²³ Referencia: Jiménez Salas J, Justo Alpañes J, Serrano González A. Geotecnia y cimientos. Madrid: Rueda; 1975.

²⁴ Referencia: <http://fibrologia.blogspot.pe/2013/04/fibras-sinteticas.html>

artificiales y a las sintéticas en conjunto, en contraposición a fibras naturales.

2.3.3. FIBRAS

Las fibras son elementos de corta longitud y pequeña sección que se incorporan a la masa del suelo a fin de conferirle ciertas propiedades específicas. De una manera general se pueden clasificar como fibras estructurales, aquellas que proporcionan una mayor energía de rotura al suelo en masa (en el caso de las fibras estructurales, la contribución de las mismas puede ser considerada en el cálculo de la respuesta de espesor), o como fibras no estructurales, a aquellas que sin considerar en el cálculo esta energía suponen una mejora ante determinadas propiedades como por ejemplo el control de la fisuración por retracción, incremento de la resistencia al corte, abrasión, impacto y otros. (EHE-08)

2.3.4. REFUERZO CON FIBRA SINTÉTICA.

²⁵Desde la antigüedad se han utilizado fibras naturales para la mejora de las propiedades de los materiales que intervienen en la construcción. En la actualidad se están empezando a emplear fibras artificiales que se obtienen como excedente de procesos industriales y son susceptibles de ser utilizadas como mejora de diferentes materiales, entre otros el suelo.

Estos trabajos, básicamente, han consistido en realizar una revisión de las publicaciones más significativas que, con relación a este tema, ha tenido acceso el Comité y por otro en la ejecución de una serie de ensayos de laboratorio con diferentes muestras de suelos mezclados con distintos tipos de fibras.

2.3.4.1. Propiedades y características de las fibras

Las fibras pueden ser de origen natural o de origen artificial o sintético. Las fibras naturales de origen animal y vegetal son biodegradables y se usan sólo en los casos que se requiera dicha cualidad.

Las fibras naturales minerales (amianto, asbesto) tienen diferentes usos industriales que hoy tienen prohibido su uso por ser cancerígenas. Otras fibras derivadas de metales (alambres) no se usan solas para refuerzo. Algunas como las de vidrio, podrían usarse pero son muy quebradizas y tienen una superficie muy lisa, por lo

²⁵ Referencia: Refuerzo de suelos con fibra sintética Asociación Técnica de Carreteras Comité de geotecnia vial

que su uso se restringe

En cuanto a fibras sintéticas, sería muy largo enumerarlas todas, por lo que se va a mencionar las más usadas en el mercado, las de mayor producción.

Estas fibras son:

Poliacrilonitrilo PAN (estándar y alta tenacidad)

Poliamidas (Varios tipos de poliamida)

Poliéster PES (estándar y alta tenacidad)

Polietileno PE (Varios tipos)

Polipropileno PP (atáctico, isotáctico: estándar o alta tenacidad)

Todas ellas, además, pueden tener tratamientos antibacterias y antimoho, así como otras características diferenciadas tanto físicas como químicas.

Cabe mencionar también que, dado que la investigación no cesa, todos los años salen nuevas fibras, o nuevas familias de polímeros o nuevos tratamientos o modificaciones, por lo que la lista que se encuentra en este artículo se debe considerar como orientativa a día de hoy y naturalmente variará en el futuro.

a) Propiedades mecánicas y características físicas

- Tenacidad (N/tex). Deben tener una tenacidad suficiente y siempre mayor que el esfuerzo que deben soportar.
- Alargamiento (%). Para una misma tenacidad, cuanto menos alargamiento mejor, o lo que es lo mismo, a mayor módulo de elasticidad (N/tex), mejor es la fibra para refuerzo.
- Densidad o peso específico de la fibra (g/cm³). Cuanto menor sea, mayor será la superficie de fibra para un mismo peso dado.
- Diámetro (µm). Cuanto menor sea el diámetro mayor será la superficie específica para un mismo peso.
- Título (dtex). Peso en gramos de 10.000 m lineales de fibra o filamento.

Forma. Debido a las características de cada polímero y a la forma de obtención de las fibras y los dispositivos empleados, las fibras pueden tener diferentes formas:

FIGURA N° 4 FORMAS DE LOS POLÍMEROS



NOTA recuperada de: “REFUERZO DE SUELOS CON FIBRAS SINTÉTICAS”, de asociación técnica de carreteras comité de geotecnia vial, 2014, pp 02-10.

- Superficie (mm^2/m). También en función del polímero y de su forma de obtención, la superficie puede ser lisa o rugosa, con lo cual la superficie específica será superior en este segundo caso y por tanto mayor el rozamiento con otros materiales.
- Resistencia a la compresión. Es la fuerza de rotura en relación con la sección en un ensayo de compresión.
- Módulo de cizallamiento. Es el módulo de elasticidad medido en un ensayo de torsión.

Rizado (ondas/cm y amplitud de las ondas). Las fibras sin rizado no “enlazan” entre ellas. Las fibras con rizado pueden quedar retenidas unas con otras.

b) Propiedades químicas y medioambientales.

Resistencia a los ácidos

Resistencia a los álcalis

Resistencia a los disolventes

Resistencia a los rayos UV y a la intemperie

Resistencia a los microorganismos

Tasa de humedad

Biodegradabilidad

2.3.5. ELECCIÓN DE LA FIBRA ADECUADA

²⁶Como se puede imaginar y conocer, por las características intrínsecas de cada polímero, de la forma de obtenerlo (proceso) y de los posibles aditivos que se le

²⁶ Referencia: Refuerzo de suelos con fibra sintética Asociación Técnica de Carreteras Comité de geotecnia vial

hayan podido incorporar, se encuentran en el mercado una variedad enorme de fibras de diferentes características que, si bien en un principio fueron concebidas para ser empleadas en la industria textil, hoy en día ya se están fabricando para diferentes ramas de la ingeniería.

El factor o característica dominante a la que, al final, se debe remitir la selección es el coste final de la fibra en la proporción adecuada para cumplir con unas especificaciones o expectativas dadas.

Si lo que se quiere es que la superficie específica de la fibra sea elevada, pues su misión ofrecer resistencia al deslizamiento, se elegirá una fibra de pequeño diámetro y a ser posible de sección no circular y rugosa para ofrecer una mayor superficie por unidad de peso.

Si lo que se pretende es que sea biodegradable, se usarán fibras naturales animales o vegetales o sintéticas con diferentes componentes químicos que hagan descomponer a la fibra a lo largo de un cierto tiempo, ya sea por sí solas o en contacto con ciertas sustancias o con ciertos medios.

Si estas fibras deben estar en contacto con microorganismos, ácidos o álcalis, productos oxidantes, etc., se deberá revisar su comportamiento frente a estas sustancias.

Generalmente, las fibras reprocesadas o regeneradas (que son las fibras que se vuelven a procesar después de haber sufrido uno o más procesos de fabricación) se encuentran en el mercado a precios inferiores a los de las fibras vírgenes, pero suelen tener mermadas alguna de sus características, especialmente en lo que se refiere a su tenacidad.

Como se ha dicho, existen unas fibras que, por su proceso de obtención (por haberlas pigmentado y no haber logrado el color deseado) no son aptas para lo que fueron fabricadas, pero siguen siendo vírgenes para otras funciones: refuerzo de tierras, de hormigones, asfaltos, fabricación de Geotextiles, etc.

En el caso de seleccionar una fibra para que sujete o arme tierras, cemento o asfalto, además de la compatibilidad o resistencia a los diferentes agentes que

pueden atacarla o perjudicarla, tiene que tener una buena superficie específica y una tenacidad suficiente, o dicho de otro modo, tener un módulo adecuado, facilidad en encontrar cantidades suficientes en el mercado y precios o costes asequibles.

Cuando se dice que una tenacidad o módulo de elasticidad es adecuada, lo que se quiere decir es que las fibras deben ser más tenaces que los materiales que deben armar. No es necesario que sean mucho más tenaces, ya que sólo se aprovecha la tenacidad compatible con el rozamiento, es decir, a mayor rozamiento mayor será la tenacidad necesaria para que las fibras no se rompan ni que el material se disgregue.

La gran mayoría de fibras sintéticas tiene suficiente tenacidad para cumplir con los requisitos necesarios para su uso en refuerzo, incluso las fibras reprocesadas, si es que no se han degradado mucho al procesarlas una o más veces, suelen tener la tenacidad suficiente para la mayoría de aplicaciones.

2.3.6. FIBRA PARA EL REFUERZO DE TIERRAS

²⁷Como se ha visto en el apartado anterior, se deben elegir las fibras en función de sus características técnicas y también en función de su facilidad de servicio y su coste. Hoy por hoy, las fibras sintéticas de mayor producción en el mercado, las más utilizadas y también las de menor coste (posiblemente por ser las que se producen a mayor escala) son PAN, PA 6.6, PA 6, PES, PE, PP.

Sus precios no varían mucho de unas a otras, son fáciles de encontrar en el mercado. Por todo ello, se muestra a continuación la siguiente Tabla con las características representativas de estas fibras para estos usos en grandes cantidades y se pueden conseguir también reprocesadas

²⁷ Referencia: Refuerzo de suelos con fibra sintética Asociación Técnica de Carreteras Comité de geotecnia vial

TABLA N° 5 CARACTERÍSTICAS DE LAS FIBRAS

Fibra		p.e.	Tenac*	A.Rot	Forma	Resistencia a			
	SIM	g/cm	N/tex	%	Secc.	Ácido	Álcalis	UV	Microorg.
Poliacrilonitrilo	PAN	1.17	0,2-0,4	17-45	Riñón	+++	++	+++	++++
Poliamida 6	PA6	1.12	0,4-0,57	18-30	Circular	++	++	++	+++
Poliamida 6.6	PA66	1.14	0,4-0,44	15-42	Circular	+	+++	+	++
Poliéster	PES	1.38	0,37-	13-40	Circular	+++	++	+++	+++
Polietileno	PE	0,95	0,5	18-30	Circular	++++	++++	++	++++
Polipropileno	PP	0,91	0,4	20-25	Circular	++++	++++	+	++++

*Nota: Las mismas fibras en alta tenacidad (HT ó AT) aumentan su tenacidad un 70-80 %.

Desde el punto de vista de la fabricación, aunque todas ellas pueden, en teoría, fabricarse a diámetros muy pequeños, en la práctica resulta que, por ejemplo, las fibras PE y PP no se fabrican a menos de 3 dtex mientras que las demás se fabrican normalmente hasta 1,5 dtex.

En principio, todas ellas deben ser válidas para el refuerzo de suelos, pero para hallar una relación entre diámetro y superficie específica, se muestra la siguiente tabla:

TABLA N° 6 RELACION ENTRE DIAMETRO Y SUPERFICIE ESPECÍFICA

Fibra	SIM	1,65 dtex		3,3 dtex		6,6 dtex	
		Φ	Superfi	Φ	Superfi	Φ	Superfi
		μm	m ² /Kg	μm	m ² /Kg	μm	m ² /Kg
Poliacrilonitrilo	PAN	12	300.000	19	200.000	26	150.000
Poliamida 6	PA6	13	290.000	20	176.00	27	131.000
Poliamida 6.6	PA66	13	270.000	20	177.000	27	131.000
Poliéster	PES	11	260.000	17	170.000	25	116.000
Polietileno	PE	14	300.000	21	200.000	29	145.000
Polipropileno	PP	15	290.000	22	199.000	30	146.000

NOTA recuperada de: "REFUERZO DE SUELOS CON FIBRAS SINTÉTICAS", de asociación técnica de carreteras comité de geotecnia vial, 2014, pp 04-08.

Como puede observarse, la superficie específica es muy similar de una fibra a otra y, realmente, la diferencia está más en el diámetro o finura que en la clase de polímero.

Otra cosa a contemplar puede ser la posible compatibilidad / incompatibilidad de las fibras con el medio a reforzar por el hecho de que algunas (PAN) son susceptibles de hacer ciertas uniones físico-químicas mientras que otras como el PP, PE y PES no tienen tantas posibilidades.

También, desde el punto de vista de “manejabilidad” o práctica de uso, las fibras como el polipropileno son mucho más “volátiles” que las demás, lo cual requiere ciertos cuidados cuando hay que colocarlas con viento.

En cuanto a la longitud de las fibras se puede admitir que fibras cortas y largas sirven para refuerzo y que las muy cortas sólo para refuerzo, mientras que las largas pueden ejercer también funciones de retención o filtro. El uso, pues, de unas o de otras, o de ambas, dependerá de las funciones que queramos que realicen.

También se puede “fabricar in situ” una especie de Geotextil: bastará esparcir por la superficie del suelo una capa de fibras que pueden ser cortas si sólo tenemos que reforzar el terreno o cortas y largas o sólo largas si además queremos que hagan funciones de filtro (o hasta drenaje y protección). A continuación, podemos poner la siguiente capa o tongada de tierra.

Por orden creciente de precios las fibras usadas, así como sus correspondientes fibras reprocesadas, son:

- PP
- PES
- PAN
- PE
- PA

²⁸Para elegir la longitud de las fibras para “armado”, deberemos tener en cuenta la granulometría del suelo. Así, por ejemplo, una fibra de 4 mm de longitud no puede “armar” áridos de más de 50 mm de diámetro, ni al contrario, no se puede armar un árido fino de 2 mm con una fibra de 100 mm puesto que lo más fácil es que se apelmace y que se hagan “pelotas” de fibra. Las longitudes “estándar” que

²⁸ Referencia: Refuerzo de suelos con fibra sintética Asociación Técnica de Carreteras Comité de geotecnia vial

se encuentran en el mercado son 25mm, 60mm, 80mm, 110mm, si bien, pueden conseguirse longitudes menores y mayores para casos especiales.

Al tratar este tema hemos entrado también en la capacidad de dispersión y repartido de la fibra en el suelo. Las fibras se apelmazan y forman grumos o pelotas. Deben tener un tratamiento superficial para que se dispersen bien. A ello ayuda el que la fibra sea mejor o peor conductora de electricidad. Una fibra mala conductora se electriza más fácilmente.

Para repartir en la tierra, las fibras que mejor se reparten son las de PAN, seguidas de las de PES y las de PP.

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLOGICO

3.1. HIPÓTESIS

3.1.1. HIPÓTESIS GENERAL

- El refuerzo con fibras sintéticas tiene efecto positivo en las propiedades mecánicas de las vías a nivel de afirmado, en el camino vecinal Jipata - Umuchi del distrito de Moho, región de Puno 2017.

3.1.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS

- Los afirmados sin refuerzo de fibra sintética repercuten directamente en sus propiedades mecánicas, en el camino vecinal Jipata - Umuchi del distrito de Moho, región de Puno 2017.
- La adición de refuerzo de fibra sintética optima mejorara las propiedades mecánicas de los afirmados, en el camino vecinal Jipata – Umuchi del distrito de Moho, región de Puno 2017.

3.2. VARIABLES E INDICADORES

3.2.1. VARIABLE INDEPENDIENTE

FIBRAS SINTÉTICAS

3.2.2. VARIABLE DEPENDIENTE

PROPIEDADES MECÁNICAS

3.2.3. OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES

TABLA N° 7 OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES

VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA DE VALORACIÓN
Fibras Sintéticas	Propiedades físicas de la fibra sintética	1. Especificaciones Técnicas del Producto – 2. Norma	1.1. Densidad real aprox.: 1.17 kg/l 1.2. Absorción de agua: < 2% 1.3. Módulo de elasticidad: 15,000 kg/cm ² 1.4. Alargamiento de rotura 26% 1.5. Resistencia a tracción: 468 kg/cm ² 1.6. Resistencia química: inerte a los álcalis del cemento, ácidos en general, agua de mar, residuos alimentarios y ganaderos, aceites vegetales. no se pudre y es resistente a hongos y bacterias. 1.7. Durabilidad: indefinida 1.8. Transición vítrea: 310 °c 1.9. Longitud: 20 mm 2.1. Norma: a los concretos a los que se agregado sikacem®-1 fiber cumplen con los requerimientos de la norma ASTM C 1116
Propiedades Mecánicas	Propiedades mecánicas de los afirmados sin refuerzo de fibra sintética	1. Análisis Granulométrico 2. Límites de consistencia 3. Desgaste por abrasión 4. Ensayo de compactación proctor modificado	1.1. Porcentaje de material pasante (%) 2.1. Límite Líquido (u/u) 2.2. Límite Plástico (u/u) 2.3. Índice de Plasticidad (u/u) 3.1. Porcentaje de desgaste (%) 4.1. Densidad Máxima seca (gr/cm ³) 4.2. Contenido de humedad óptimo (%)
	Propiedades mecánicas de los afirmados con refuerzo óptimo de fibra sintética de polipropileno	1. California Bearing Ratio (CBR en laboratorio) 2. Ensayo de Corte Directo	1.1. Densidad (gr/cm ³) 1.2. CBR (%) 2.1. Cohesión (kg/cm ²) 2.2. Ángulo de fricción (grados)

Fuente: Elaboración propia.

3.3. TIPO DE INVESTIGACION

a) Investigación exploratoria:

Se tomarán datos de campo. Esta información recopilada referida a la problemática de los afirmados, será básicamente de los deterioros presentados en las vías de afirmado, estos deterioros se tomarán con los instrumentos necesarios indicando medidas y

muestras para ser llevadas a laboratorio y así analizar los resultados que se obtengan, todas estas saldrán de la información recabada, esta información nos llevara a optimizar el tratamiento de afirmados reforzados.

b) Investigación descriptiva:

Para la descripción se realizó experimentos mediante la dosificación de fibra de polipropileno a la vía afirmada, pudiéndose cualificar y cuantificar el desempeño de la nueva estructura, se realizaron ensayos mecánicos en laboratorio (CBR).

c) Investigación explicativa:

Seguidamente se plantean varias muestras para llegar a las alternativas de solución técnica a los problemas ya planteados se vio necesario el estudio de los métodos de diseño actuales y un análisis de las variables que estos proponen.

d) Investigación correlacional:

Se buscará la correlación entre las variables independientes y dependientes, y se aplicará la correlación r de Pearson de 4 muestras con la finalidad de correlacionar los resultados estadísticos. Con lo cual se propondrá un diseño estructural de capa de afirmado con refuerzo de fibra sintética óptimo para el diseño.

3.4. DISEÑO DE INVESTIGACION

Se realizó la comparación de las propiedades mecánicas de afirmados sin adición de fibra sintética ($\bar{X}_1$), versus las propiedades mecánicas de afirmados con adición de fibras sintéticas ($\bar{X}_2$). Se aplicará coeficiente de correlacion r de Pearson de dos muestras. El estadístico de prueba es:

$$t = \frac{(\bar{x}_1 - \bar{x}_2) - d_0}{s_p \sqrt{1/n_1 + 1/n_2}},$$

donde,

$$s_p^2 = \frac{s_1^2(n_1 - 1) + s_2^2(n_2 - 1)}{n_1 + n_2 - 2}.$$

Donde:

$\bar{x}$ = Media de Muestra promedio de la matriz x

$\bar{y}$ = Media de Muestra promedio de la matriz y .

Así mismo, se realizó medidas de tendencia central (media) y medidas de dispersión (rango y varianza)

3.5. AMBITO DE ESTUDIO

El área de estudio se encuentra en el trayecto de la Vía afirmada del camino vecinal Jipata – Umuchi – Moho Km 14+000 al 15+000, de la región de Puno. Con una pendiente aproximada 0 a 12 % en la parte llana, y en las laderas de 12 a 35 % y en las de fuerte inclinación se tiene pendientes superiores a 35 %, zona con presencia urbana de viviendas de material de ladrillo y material adobe, se tiene la presencia de centros educativos, centro de salud y otras instituciones.

3.5.1. UBICACIÓN POLITICA

Departamento: Puno

Provincia: Moho

Distrito: Moho

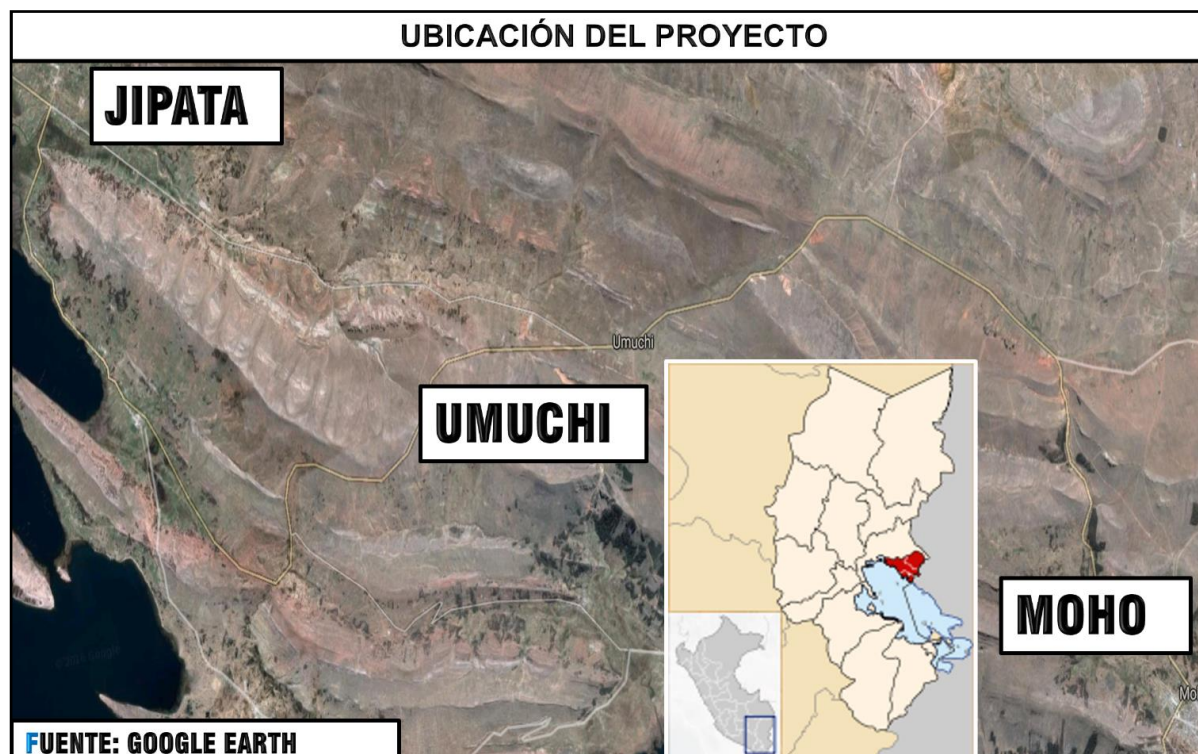
3.5.2. UBICACIÓN GEOGRÁFICA:

Zona Geográfica	: 19 Sur.
Latitud	: 15° 42' 10" sur
Longitud	: 70° 26' 22" oeste
Altitud	: 4050.00 m.s.n.m.

3.5.3. POBLACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO:

La población aproximada que se ubica dentro de los dos sectores de estudio es de 4315 habitantes.

FIGURA N° 5 UBICACIÓN DEL AREA DE ESTUDIO



3.6. POBLACIÓN Y MUESTRA

3.6.1. UNIDAD DE ESTUDIO

Por la naturaleza de la investigación se va a considerar como objeto de estudio la cantidad de ensayos mecánicos del afirmado del camino vecinal Jipata - Umuchi del Distrito de Moho de la Región de Puno, en esta investigación se realizó 4 ensayos mecánicos de Corte Directo de afirmado con diferentes dosificaciones de fibra.

3.6.2. POBLACIÓN Y MUESTRA:

La muestra que se analiza en esta investigación, es el camino vecinal Jipata-Umuchi Moho tiene una longitud de 8.400 Km el tramo de muestra comprende entre el Km 14+000 y 15+000, la carretera está localizada en el Departamento de Puno, Provincia de Moho y Distrito de Moho; Se realizaron cuatro calicatas, para obtener una muestra representativa para los ensayos respectivos.

Para realizar la correlación r de Pearson de dos muestras entre las propiedades mecánicas de afirmados sin adición de fibra sintética ($\bar{X}_1$), versus las propiedades mecánicas de afirmados con adición optima de fibras sintéticas ($\bar{X}_2$).

Muestra (n) = Para estimar el tamaño de muestra se usará el modelo matemático de muestreo aleatorio para proporciones:

Población (N)= 04 ensayos mecánicos de afirmado con diferente dosificación de fibra (indicado en los anexos), se realizó la selección de 4 muestras de ensayos mecánicos de suelo para las dosificaciones siguientes:

$\bar{X}_1$; Afirmado sin refuerzo de fibra sintética.

$\bar{X}_2$; Afirmado con refuerzo de fibra sintética optima a 0.1% del peso del peso de suelo en estado suelto.

Muestra (n) = Para estimar el tamaño de muestra se usará el modelo matemático de muestreo aleatorio para proporciones:

$$\text{Donde: } n = \frac{Z^2 \times P \times Q \times N}{(N-1) \times E^2 + Z^2 \times P \times Q}$$

- N = total de población.
- $Z_{\infty}^2 = 1.96^2$ (siendo la seguridad del 95%)
- P = probabilidad de éxito (en este caso 90%)
- q = probabilidad de fracaso (100% - 90% = 10%)
- .d = error maestro 0.4

Remplazando valores:

$$n = \frac{1.96^2 \times 0.90 \times 0.10 \times 6}{(6-1) \times (0.40^2) + 1.96^2 \times 0.90 \times 0.10}$$

$$n = 4.42$$

n = 4 muestras de ensayos mecánicos de corte directo de afirmado con diferente dosificación de fibra²⁹

Las muestras se tomaron en los puntos estratégicos del camino vecinal Jipata-Umuchi.

3.7. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS

3.7.1. INSTRUMENTOS:

Para la determinación de las propiedades mecánicas del afirmado reforzado se usarán los siguientes instrumentos:

- Clasificación de campo y laboratorio (ASTM D2488)
- Composición granulométrica por mallas (ASTM D422)
- Contenido de agua natural (ASTM D2216) CASAGRANDE
- Límites de consistencia, líquido (ASTM D423) y plástico (ASTM D424)
- Clasificación de Suelos (ASTM D 2487)
- Ensayo de Compactación Proctor Modificado (ASTM D 1557)
- Ensayo de CBR. (ASTM D1883)
- Resistencia al corte en compresión no confinada con dos ciclos de carga y descarga (ASTM D2166)

²⁹ Referencia: Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias.

CAPÍTULO IV

4. LOS RESULTADOS

4.1. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE CAMPO.

4.1.1. GRANULOMETRÍA POR MALLAS (ASTM D 422).

De los costales en los que se almacenaba la muestra de suelo, se separó una proporción que fue disgregada, homogenizada y cuarteada.

FIGURA N° 6 CUARTEO DE MUESTRA DE SUELO Y TAMIZAJE POR LAS MALLAS.



Después de ser cuarteada, se escogieron 2 cuartos de la muestra para realizarles el proceso de tamizaje para la granulometría por mallas.

Al realizarle el proceso de tamizaje se obtienen los siguientes resultados. Es importante aclarar que para este proceso se lavó todo el material que quedó retenido en la malla 200.

FIGURA N° 7 PESO DE LA FIBRA PARA UNA DOSIFICACIÓN DE 0.1%. Y DE LONGITUD DE 5CM



4.1.2. LÍMITES DE ATTERBERG (ASTM D 423 - D424).

Para encontrar los límites Atterberg, se comenzó con la prueba de límite líquido, la cual se hizo con el suelo que estuviera seco al aire, para este procedimiento se utilizó suelo pasa tamiz número 40, el cual fue humedecido para posteriormente moldearlo en la máquina de casa grande (figura N°12) y contar el número de golpes necesario para cerrar la ranura previamente hecha con el separador.

FIGURA N° 8 COPA DE CASAGRANDE Y LIMITE PLÁSTICO



Luego de este procedimiento se realizaron los cálculos.

FIGURA N° 9 DISTRIBUCIÓN MANUAL DE LA FIBRA EN EL SUELO PARA COMPACTACIÓN Y AÑADIDURA DE AGUA PARA ALCANZAR EL CONTENIDO ÓPTIMO DE HUMEDAD.



4.1.3. COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO (ASTM D 1556).

Para la ejecución de este ensayo fue necesario tomar 4 muestras de suelo que pasara por el tamiz número 4 para garantizar que solo se le fuera hacer la

prueba al suelo y no hubiera piedras, cada muestra tenía una masa de 3.5 kg y se organizaron en bolsas a las que se le agregaron 100, 200, 300 y 350 ml de agua, luego de esto se procedió a sacar la energía de compactación que arrojó un número de 25 golpes en 3 capas. A cada muestra se le realizó el mismo procedimiento. como resultado se obtuvo el contenido de humedad óptimo de 12.50% y la densidad máxima seca de 1.920 g/cm³ datos con los cuales se desarrollaron los ensayos de corte directo y CBR. En los anexos se muestran los resultados obtenidos con este ensayo.

FIGURA N° 10 PROCESO DE COMPACTACIÓN DEL AFIRMADO REFORZADO



FIGURA N° 11 SE ENRASA LA COMPACTACIÓN PARA EN ENSAYO DE CBR.



4.1.4. CALIFORNIA BEARING RATIO CBR (ASTM D 1883).

Los ensayos de CBR se hacen usualmente en muestras compactadas al contenido de humedad óptima para un suelo específico.

EXPANSIÓN

Método de sumergir la muestra y medir los cambios volumétricos.

Se coloca un filtro de papel sobre la superficie de la muestra compactada, luego la placa perforada con su vástago y sobre esta los pesos y sobre-pesos requeridos.

Se coloca un extensómetro junto con un trípode que sirva para sostenerlo.

Se sumerge la muestra en el recipiente y se deja allí durante cuatro días hasta que esté completamente saturada y no tenga más cambios volumétricos; se debe tomar la lectura de los extensómetros todos los días.

Al cabo de 4 días se saca el molde del agua, se seca y se deja escurrir por espacio de 15 minutos.

Se quitan los sobrepesos y se pesa la muestra saturada con el fin de apreciar la cantidad de agua absorbida por el espécimen. La muestra se encuentra lista para la penetración del pistón.

PENETRACIÓN

Procedimiento (Penetración del Pistón)

Se colocan de nuevo los sobrepesos sobre la muestra saturada.

Se coloca la muestra sobre la plataforma de prensa del C.B.R. La muestra debe estar alineada con el pistón; se levanta la plataforma por medio del gato hidráulico hasta que el pistón esté en contacto con la muestra y se le esté aplicando una carga de 10 libras. Después se vuelve a colocar en cero el indicador de carga. Se coloca también el extensómetro en cero.

Se aplica la carga por medio del gato hidráulico de la prensa del C.B.R. a una velocidad de 0.05" por minuto. Se toma la lectura de las cargas, aplicadas a 0.025, 0.050, 0.075, 0.1, 0.3, 0.4 y 0.5" de penetración del pistón.

Se saca la muestra de la prensa del C.B.R. y se toma la muestra de humedad alrededor del orificio dejado por el pistón.

Para sacar la muestra del molde se usa el extractor de muestras con la placa de 6" de diámetro.

Se determina el valor del C.B.R. para cada molde tomando en cuenta que: La relación C.B.R. generalmente se determina para 1" y 2" de penetración,

ósea para un esfuerzo de 1000 y 1500 libras por pulgada cuadrada en el patrón, respectivamente. De estos dos valores se usa el que sea mayor.

Se grafican los valores respectivos de Densidad Seca (antes de saturar) y C.B.R. de cada molde.

Se determina el C.B.R. de la muestra de acuerdo a la Densidad Seca Máxima obtenida en el ensayo de Compactación, como se muestra a continuación:

$$\text{C.B.R.} = \frac{\text{Esfuerzo en el Suelo Ensayado}}{\text{Esfuerzo en el Suelo Patrón}}$$

Los Valores para el patrón, se muestran a continuación:

PENETRACIÓN (plg.)	ESFUERZO (lb./plg. ²)
01	1.000
02	1.500
03	1.900
04	2.300
05	2.600

Fuente: Elaboración propia obtenida del análisis de revisión documentaria.

FIGURA N° 12 SATURACIÓN DE LAS MUESTRAS COMPACTADAS, MOLDE CBR Y EQUIPO CBR



Para la elaboración de los ensayos de corte directo se utilizaron 4 clases de muestras diferentes, de los cuales se sacaron los anillos para sus posteriores fallas, estas muestras fueron dispuestas de la siguiente manera: una muestra testigo, es decir, sin fibra sintética; otra muestra con una dosificación de fibra de 0.1 % , 0.5%, 1.0% y por último otra muestra con un porcentaje de 2.00 %.

Los ensayos de laboratorio fueron aquellos que nos permitieron medir tanto las características físicas como mecánicamente del afirmado reforzado, estos fueron realizados en la Dirección Regional de Transportes y Comunicaciones – Puno

4.2. DISEÑO DE LA PRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS

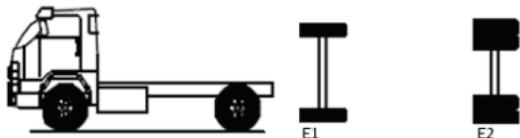
4.2.1. ANÁLISIS TENSO – DEFORMACIONAL DE LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO.

La dosificación óptima de fibra de polipropileno será aquella que satisfaga mínimamente las solicitudes exigidas por las cargas que actúan en un afirmado, para esto se utilizó los cuadros de Foster y Ahlvin (1954) para la determinación de los esfuerzos a los que se encontrará sometido un afirmado.

4.2.1.1. Carga De Diseño

³⁰La carga de diseño será aquella que produzca mayor daño a la estructura del afirmado, para esto debemos analizar no solo la magnitud de la carga, sino la distribución de estas.

FIGURA N° 13 DISTRIBUCIÓN Y MAGNITUD DE CARGAS

Configuración Vehicular	Descripción Gráfica de los Vehiculos	Long. Máxima (m)
C2		12.30

EJE	CARGA	CARGA POR RUEDA
CAMIÓN C2		
E1	7 Tn	3.5 Tn

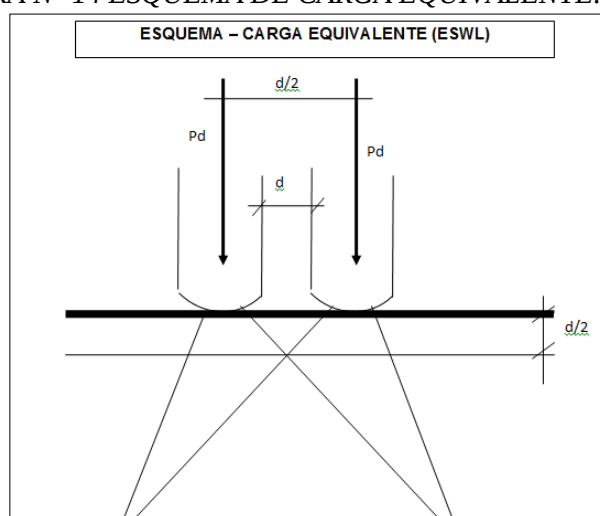
³⁰ Referencia: Dirección General de Caminos y Ferrocarriles M. Manual para el diseño de caminos no pavimentados de bajo volumen de tránsito

E2	10 Tn	2.5 Tn
CAMIÓN DE DISEÑO		
E1	3.57 Tn	1.78 Tn
E2	14.79 Tn	3.70 Tn
E3	14.79 Tn	3.70 Tn

CARGA EQUIVALENTE

Se realizó la conversión de cargas duales a una carga equivalente, para facilitar el estudio de esfuerzos y deformaciones, para esto se utilizó la fórmula de Boyd Foster (1950), el cual ha venido siendo usado por el Cuerpo de Ingenieros de los EE.UU.

FIGURA N° 14 ESQUEMA DE CARGA EQUIVALENTE.



Observación: Nótese que a una profundidad menor a $d/2$, no existe un incremento de los esfuerzos producto de la carga adyacente.
(Fórmula de Y. Huang 1993)

$$\text{Log}(ESWL) = \text{Log}(Pd) + \frac{0.301 \times \log\left(\frac{2z}{d}\right)}{\log\left(\frac{4Sd}{d}\right)}$$

Dónde:

ESWL = carga equivalente transmitida. (lb)

Pd = carga en una de las ruedas. (lb)

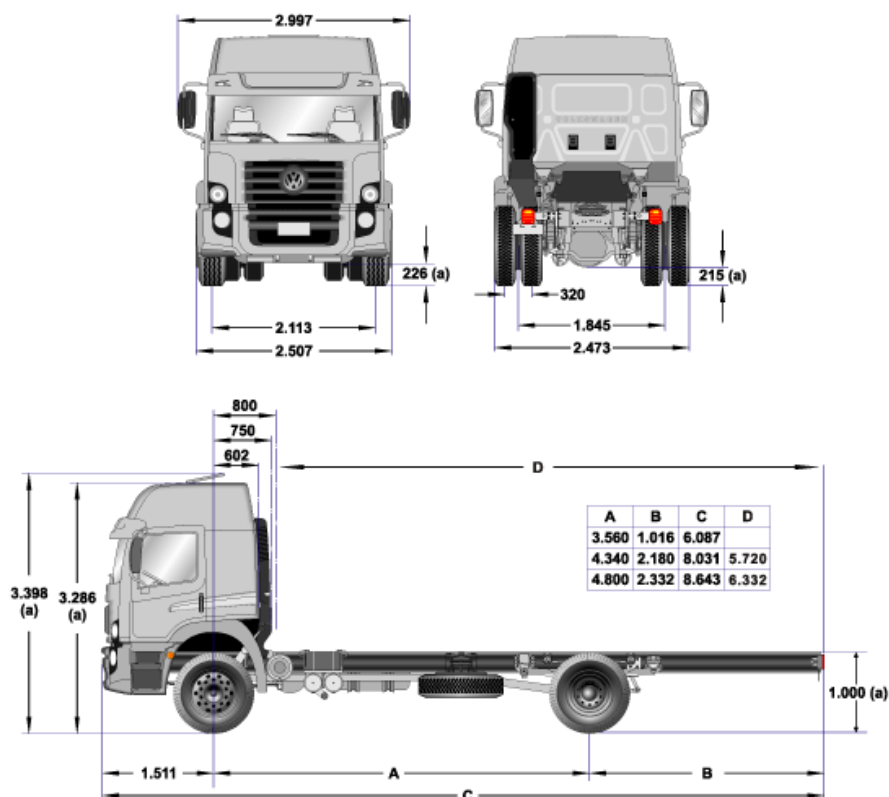
Z = profundidad de análisis (in.)

d = distancia entre caras exteriores de las ruedas (in.)

Sd = distancia entre los ejes de las cargas actuantes (in.)

El cálculo de las cargas equivalentes se realizará para cada tipo de vehículo en los que se encuentren ruedas dobles.

FIGURA N° 15 CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DE UN CAMION DE C2



De lo cual podemos obtener:

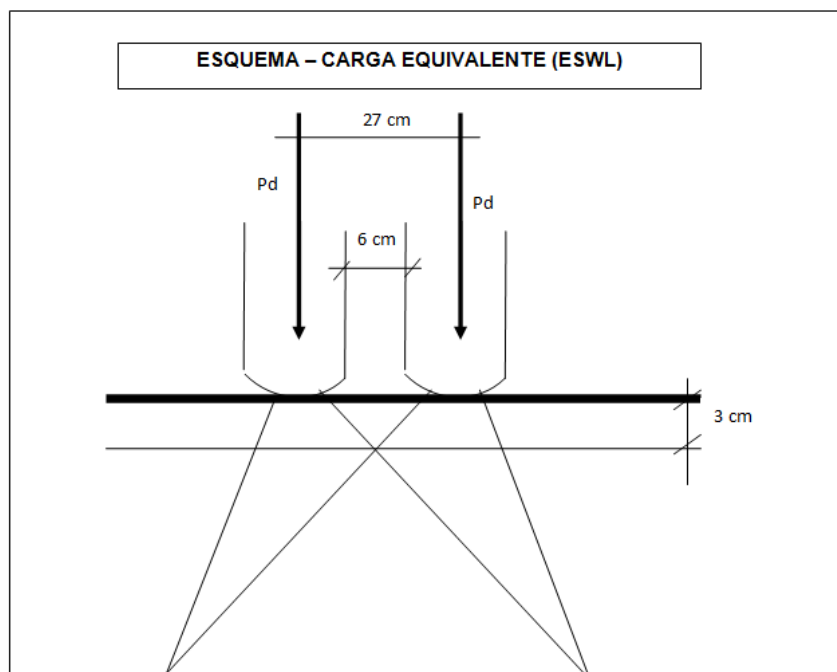
Ancho de la llanta = 0.22 m

Ancho de contacto = $0.22 \times 80\% = 0.18$ m

La carga equivalente para el camión C2 seria:

$$\text{Log}(ESWL) = \text{Log}(2.5) + \frac{0.301 \times \log\left(\frac{2 \times 15}{6}\right)}{\log\left(\frac{4 \times 27}{6}\right)} = 3.647Tn$$

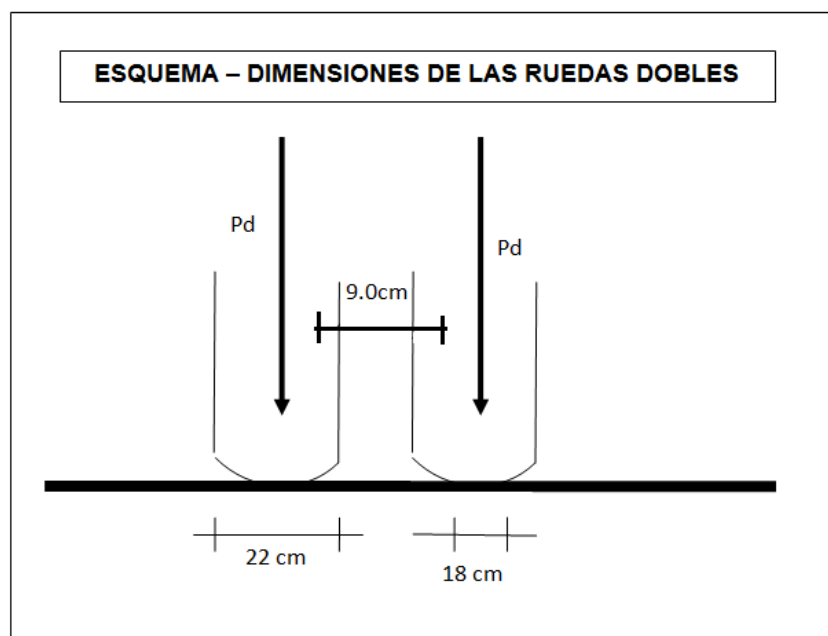
FIGURA N° 16 CARGA EQUIVALENTE CON DIMENSIONES REALES.



Fuente: Manual de carreteras Suelos y Pavimentos, MTC, 2014, pp 54 - 58.

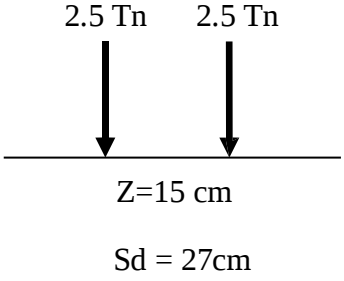
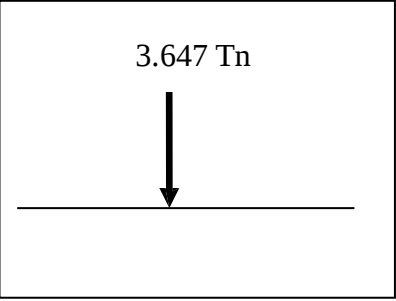
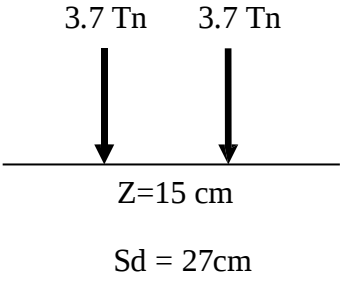
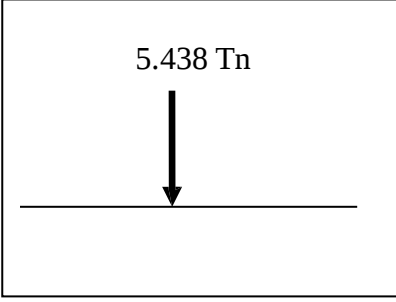
Esquema de las llantas:

FIGURA N° 17 GEOMETRIA DE LAS RUEDAS DOBLES



Fuente: Manual de carreteras Suelos y Pavimentos, MTC, 2014, pp 54 – 58

FIGURA N° 18 CARGAS EQUIVALENTES DE LOS DIFERENTES VEHÍCULOS

TIPO DE	CARGA EN RUEDAS	CARGA
C2	 2.5 Tn 2.5 Tn Z=15 cm Sd = 27cm	 3.647 Tn
CAMION DE DISEÑO	 3.7 Tn 3.7 Tn Z=15 cm Sd = 27cm	 5.438 Tn

Fuente: Manual de carreteras Suelos y Pavimentos, MTC, 2014, pp 58 – 61

4.2.1.2. Cálculo de esfuerzos.

La manera más simple de caracterizar el comportamiento de los afirmados bajo la acción de las cargas producidas por las ruedas de los vehículos es considerando un semi-espacio homogéneo. Un semi-espacio tiene una longitud y un espesor infinito, en el cual las cargas son aplicadas.

La teoría original de Boussinesq (1885) fue basada en la concentración de cargas aplicadas en un semi-espacio elástico. Los esfuerzos, deformaciones y deflexiones pueden ser obtenidos para una carga de área circular.

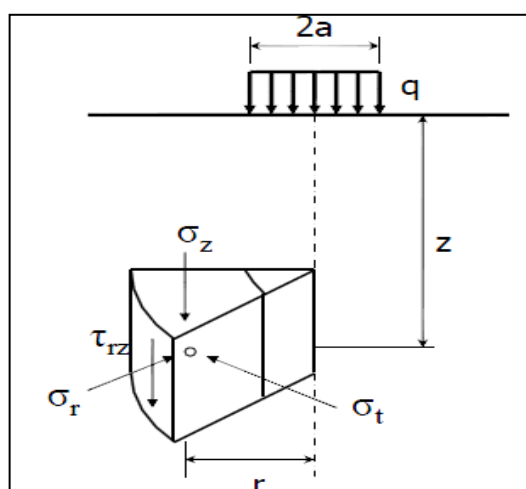
Para el cálculo se tomara como referencia los dos valores más altos obtenidos de carga de diseño, los cuales corresponden al vehículo C2 y al camión de diseño.

TIPO DE VEHÍCULO	CARGA EN RUEDAS
C2	3.647 Tn
CAMIÓN DE DISEÑO	5.438 Tn

4.2.1.2.1. Esfuerzo Normal

El esfuerzo normal será calculado mediante los cuadros de Foster y Ahlvin (1954). Se realizó los cálculos para diferentes puntos de la capa de afirmado.

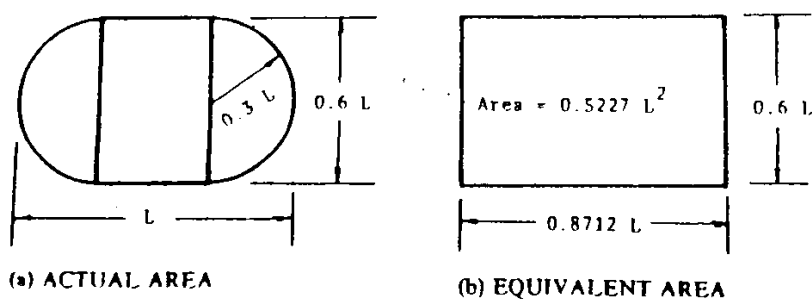
FIGURA N° 19 ESQUEMA DE APLICACIÓN DE UNA CARGA ASIMÉTRICA.



Fuente: Elaboración propia obtenida del análisis de revisión documentaria. Se realizarán los cálculos para los siguientes datos:

- $a = 4.82 \text{ in.}$
- $Z_1 = 0$
- $Z_2 = 7.5 \text{ cm} = 2.95 \text{ in.}$
- $Z_3 = 15 \text{ cm} = 5.91 \text{ in.}$
- $r_1 = 0$
- $r_2 = 9 \text{ cm} = 3.54 \text{ in.}$ (Donde el esfuerzo cortante es máximo)

FIGURA N° 20 ÁREA EQUIVALENTE DE UNA RUEDA



FUENTE: Foster y Ahlvin (1954).

TABLA N° 8 CÁLCULO DE LA PRESIÓN DE CONTACTO

C2			CAMIÓN DE DISEÑO	
CARGA	3647	KG	5438	KG
ANCHO DE RUEDA	7.09	IN	7.09	IN
LARGO DE RUEDA (L)	11.82	IN	11.82	IN
AREA	72.986	IN ²	72.986	IN ²
	470.880	CM ²	470.880	CM ²
ESFUERZO	7.745079	KG/CM ²	11.549	KG/CM ²
	110.162671	PSI	164.262	PSI

Fuente: Elaboración propia en base a los datos obtenidos.

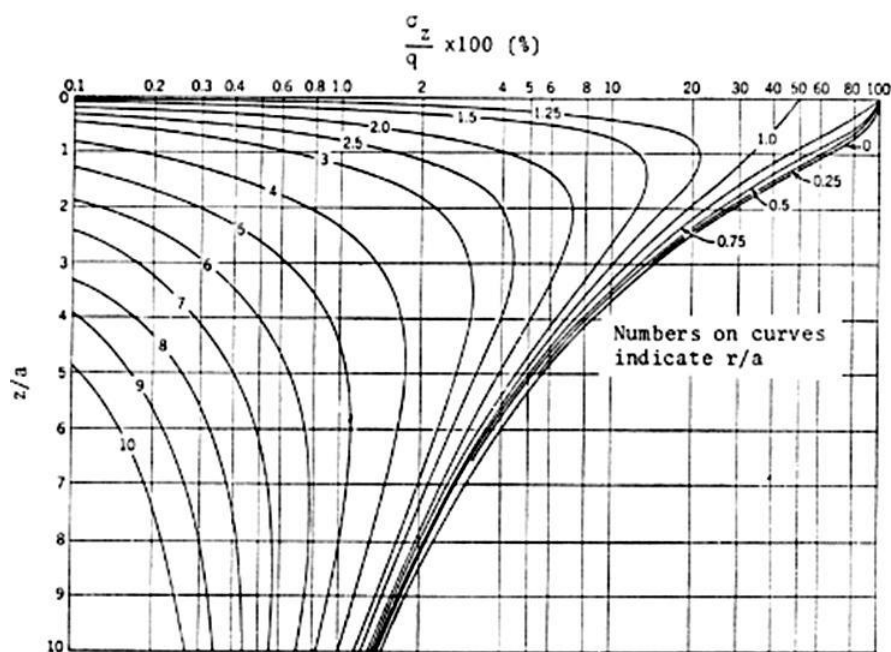
Por lo tanto:

Los esfuerzos actuantes en la capa de afirmado para ambos casos, serán:

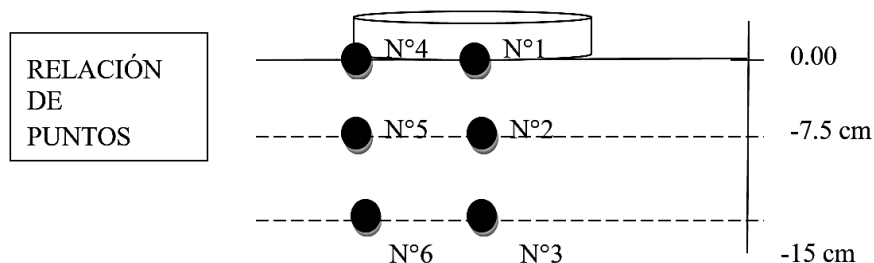
$$q_1 = 110.162671 \text{ PSI (VEHICULO C2)}$$

$$q_2 = 164.262 \text{ PSI (CAMION DE DISEÑO)}$$

FIGURA N° 21 ESFUERZO NORMAL.



$$a = 4.82 \text{ in.}$$



Resultados:

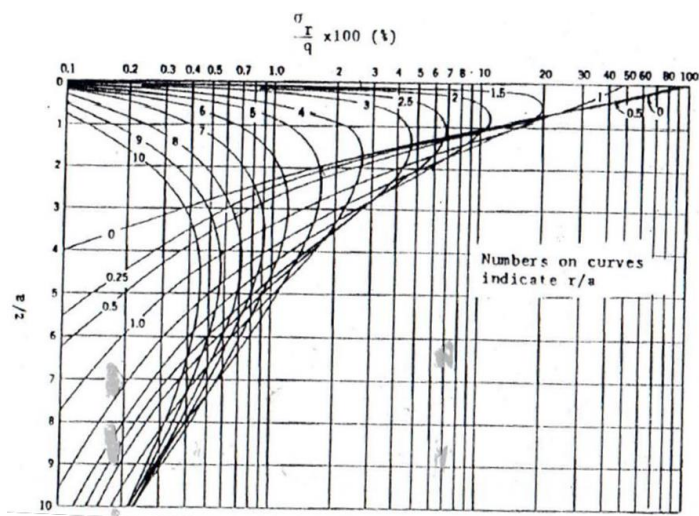
DATOS				C2		CAMIÓN DE	
PUNTO	Z (In.)	R (in)	a (in)	σ_z (PSI)	σ_z (Kg/cm ²)	σ_z (PSI)	σ_z (Kg/cm ²)
N° 1	0	0	4.820	110.163	7.745	164.262	11.549
N° 2	2.95	0	4.820	94.491	6.643	131.41	9.239
N° 3	5.91	0	4.820	59.894	4.141	82.131	5.774
N° 4	0	4.82	4.820	55.082	3.873	82.131	5.774
N° 5	2.95	4.82	4.820	39.064	2.745	62.420	4.388
N° 6	5.91	4.82	4.820	33.049	2.323	49.279	3.464

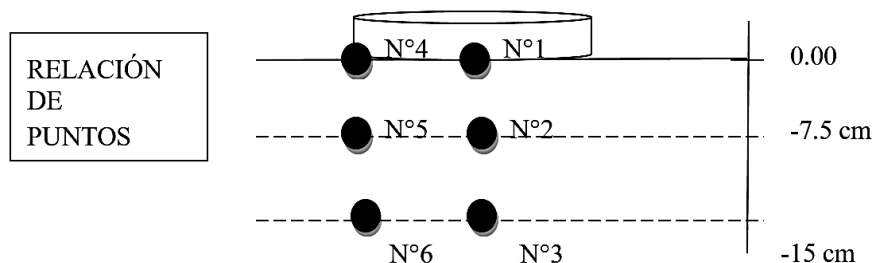
Fuente: Esfuerzo radiales debido a carga circular (por Foster y Ahlvin,1954)

4.2.1.2.2. Esfuerzo Radial

El esfuerzo Radial será calculado mediante los cuadros de Foster y Ahlvin (1954). Se realizarán los cálculos para diferentes puntos de la capa de afirmado.

FIGURA N° 22 ESFUERZO RADIAL.





Resultados:

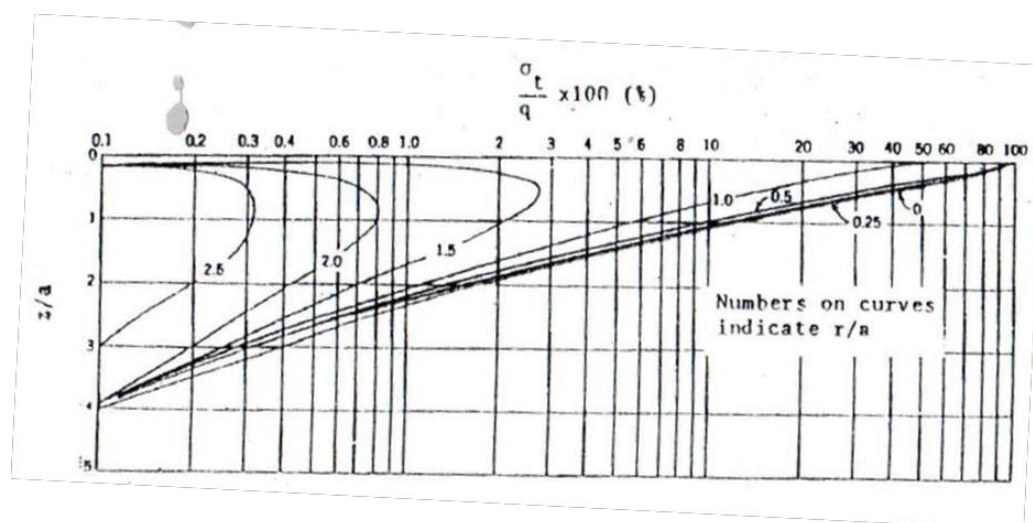
DATOS				C2		CAMIÓN DE DISEÑO	
PUNTO	Z (In.)	R (in)	a (in)	σ_z (PSI)	σ_r (Kg/cm ²)	σ_z (PSI)	σ_r (Kg/cm ²)
N° 1	0	0	4.820	110.163	7.745	164.262	11.549
N° 2	2.95	0	4.820	38.557	2.711	49.278	3.464
N° 3	5.91	0	4.820	8.810	0.619	13.141	0.924
N° 4	0	4.82	4.820	52.890	3.718	78.846	5.543
N° 5	2.95	4.82	4.820	30.846	2.169	45.993	3.233
N° 6	5.91	4.82	4.820	13.220	0.929	19.711	1.386

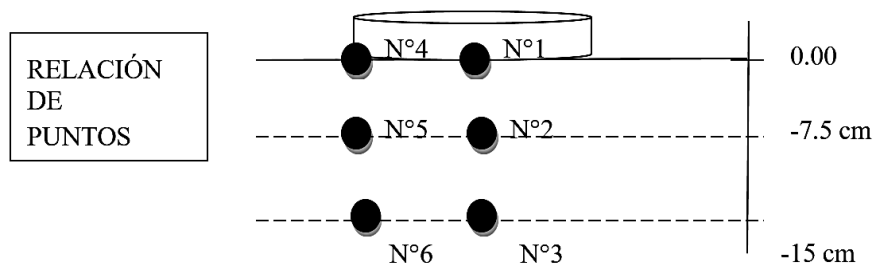
Fuente: Esfuerzo radiales debido a carga circular (por Foster y Ahlvin,1954)

4.2.1.2.3. Esfuerzo Tangencial

El esfuerzo Tangencial será calculado mediante los cuadros de Foster y Ahlvin (1954). Se realizarán los cálculos para diferentes puntos de la capa de afirmado.

FIGURA N° 23 ESFUERZO TANGENCIAL.





$$a = 4.82 \text{ in.}$$

Resultados:

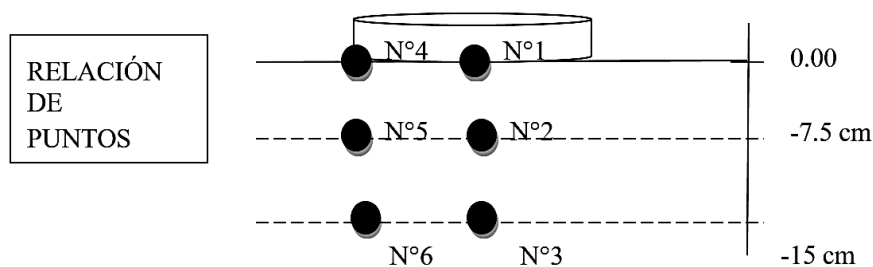
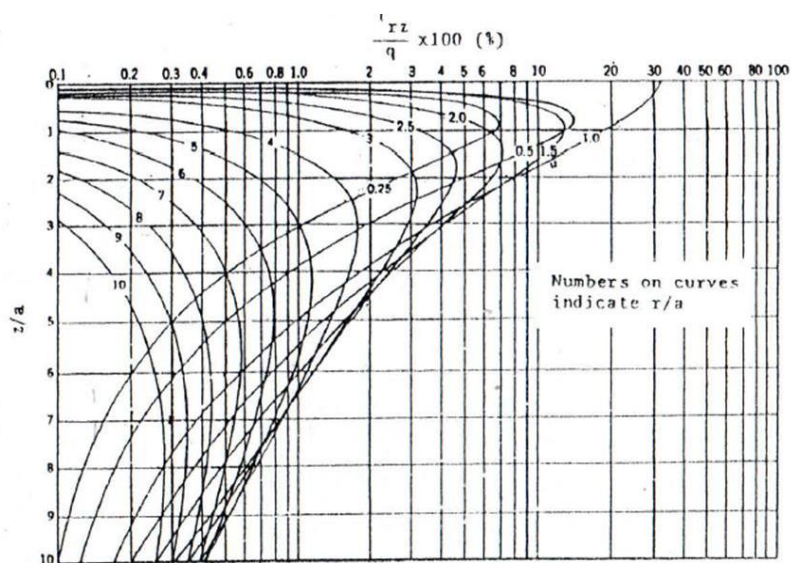
DATOS				C 2		CAMIÓN DE DISEÑO	
PUNTO	Z (In.)	R (in)	a (in)	σ_z (PSI)	σ_t (Kg/cm ²)	σ_z (PSI)	σ_t (Kg/cm ²)
N° 1	0	0	4.820	110.163	7.745	164.262	11.549
N° 2	2.95	0	4.820	38.557	2.711	57.492	4.042
N° 3	5.91	0	4.820	7.711	0.542	13.141	0.924
N° 4	0	4.82	4.820	55.082	3.873	82.131	5.774
N° 5	2.95	4.82	4.820	16.524	1.162	22.997	1.617
N° 6	5.91	4.82	4.820	4.957	0.349	6.570	0.462

Fuente: Esfuerzo radiales debido a carga circular (por Foster y Ahlvin,1954)

4.2.1.2.4. Esfuerzo de corte.

El esfuerzo al corte será calculado mediante los cuadros de Foster y Ahlvin (1954). Se realizarán los cálculos para diferentes puntos de la capa de afirmado.

FIGURA N° 24 ESFUERZO DE CORTE.



$$a = 4.82 \text{ in.}$$

Resultados:

DATOS				C 2		CAMION DE DISEÑO	
PUNTO	Z (In.)	R (in)	a (in)	σ_z (PSI)	τ_{rz} (Kg/cm ²)	σ_z (PSI)	τ_{rz} (Kg/cm ²)
N° 1	0	0	4.820	-----	-----	-----	-----
N° 2	2.95	0	4.820	-----	-----	-----	-----
N° 3	5.91	0	4.820	-----	-----	-----	-----
N° 4	0	4.82	4.820	34.151	2.401	52.564	3.696
N° 5	2.95	4.82	4.820	28.630	2.013	42.708	3.003
N° 6	5.91	4.82	4.820	18.720	1.316	29.567	2.079

Fuente: Esfuerzo radiales debido a carga circular (por Foster y Ahlvin,1954)

4.2.1.2.5. Comparación Esfuerzo Al Corte Con el esfuerzo tangencial

El esfuerzo de corte calculado se ha realizado hasta la profundidad de 15 cm. (suposición del espesor de la capa de afirmado).

TABLA N° 9 ESFUERZO PROMEDIO PARA EL CORTE

Esfuerzo al Corte						
DATOS			C2	CAMIÓN DE DISEÑO	C2	CAMIÓN DE DISEÑO
PUNTO	Z (In.)	Z (cm)	Trz (Kg/cm ²)	Trz (Kg/cm ²)	Trz (Kg/cm ²) Promedio	Trz (Kg/cm ²) Promedio
N° 4	0	0	2.401	3.696	1.911	2.926
N° 5	2.95	7.5	2.013	3.003		
N° 6	5.91	15.0	1.316	2.079		

Fuente: Elaboración propia en base a los resultados de esfuerzo radial.

Para poder garantizar un adecuado comportamiento de la capa de afirmado, debemos encontrar una dosificación de fibra que nos permita resistir dicho esfuerzo.

La comparación se realizó utilizando los gráficos de Mohr Coulomb obtenidos de los ensayos de corte directo.

La ecuación general de resistencia al corte para los suelos en general es:

$$\tau_{rz} = C + \sigma_z * (\tan(\phi))$$

Dónde:

τ_{rz} = Resistencia al corte (kg/cm²)

c = cohesión (kg/cm²)

σ_z = esfuerzo normal (kg/cm²)

ϕ = ángulo de fricción interna

TABLA N° 10 ESFUERZO TANGENCIAL PROMEDIO (NORMAL AL PLANO Y).

DATOS			C2	CAMIÓN DE DISEÑO	C2	CAMIÓN DE DISEÑO
PUNTO	Z (In.)	Z (cm.)	σ_t (kg/cm ²)	σ_t (Kg/cm ²)	σ_t (Kg/cm ²) Promedio	σ_t (Kg/cm ²) Promedio
N° 4	0	0	3.873	5.774		

N° 5	2.95	7.5	1.162	1.617	1.794	2.617
N° 6	5.91	15.0	0.349	0.462		

Fuente: Elaboración propia en base a los resultados de esfuerzo radial.

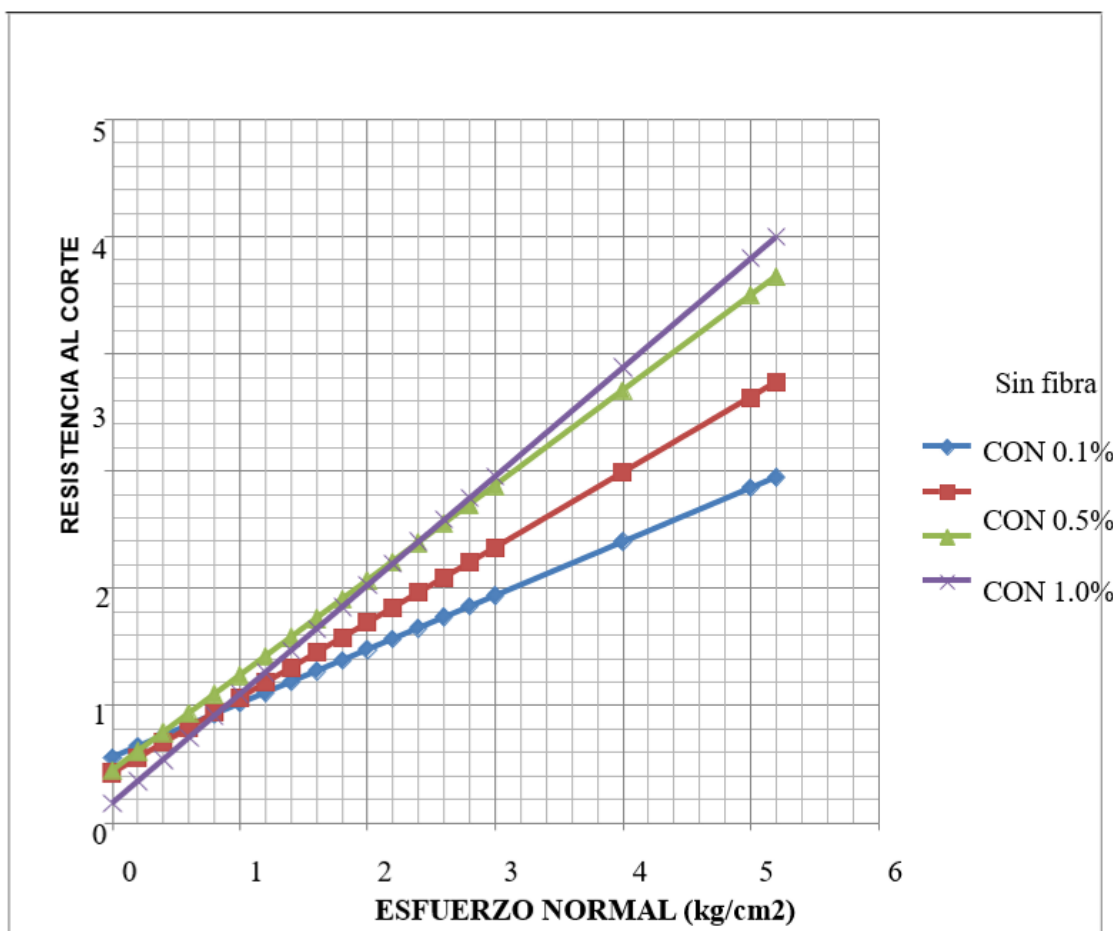
TABLA N° 11 ECUACIONES DE RESISTENCIA AL CORTE.

DESCRIPCION	COHESIÓN	ÁNGULO DE FRICCIÓN	ECUACIÓN DE RESISTENCIA
AFIRMADO SIN FIBRA	0.55	24.78	$\tau_{rz} = 0.55 + \sigma_n * (\text{tang}(24.78))$
AFIRMADO CON 0.1% DE FIBRA	0.42	32.76	$\tau_{rz} = 0.42 + \sigma_n * (\text{tang}(32.76))$
AFIRMADO CON 0.5% DE FIBRA	0.44	38.92	$\tau_{rz} = 0.44 + \sigma_n * (\text{tang}(39.92))$
AFIRMADO CON 1.0% DE FIBRA	0.16	42.80	$\tau_{rz} = 0.16 + \sigma_n * (\text{tang}(42.80))$
AFIRMADO CON 2.0% DE FIBRA	0.13	32.86	$\tau_{rz} = 0.13 + \sigma_n * (\text{tang}(32.86))$

Fuente: Elaboración propia en base a los parámetros de resistencia al corte

TABLA N° 12 RECTAS DE MOHR COULOMB PARA LAS DIFERENTES DOSIFICACIONES.

GRAFICAS DE RESISTENCIA AL CORTE



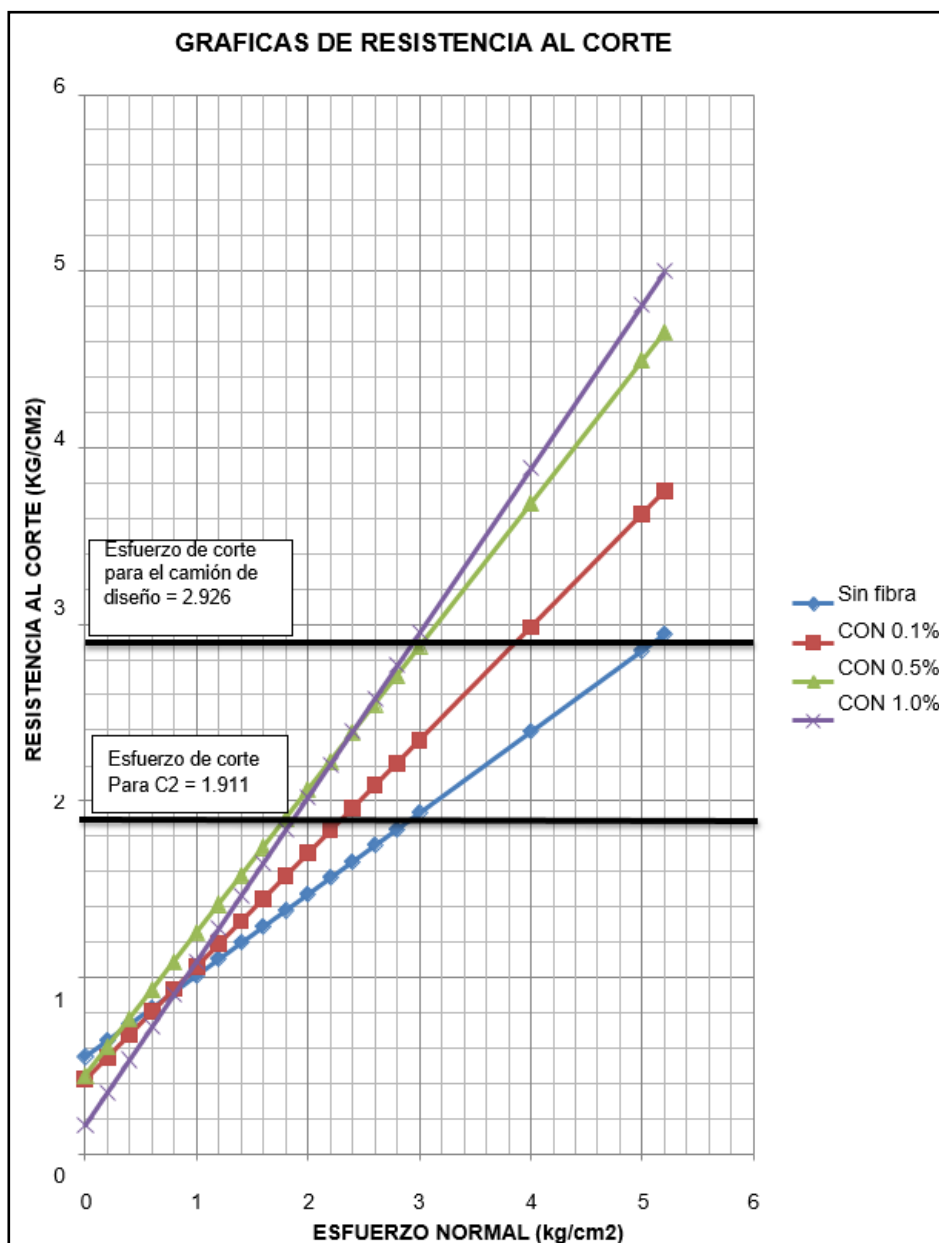
Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a los cálculos realizados la sollicitación de la capa de afirmado deberá ser:

TABLA N° 13 RESUMEN DE ESFUERZO DE CORTE Y TANGENCIAL

C2	CAMION DE DISEÑO	C2	CAMION DE DISEÑO
Trz (Kg/cm²) Promedio	Trz (Kg/cm²) Promedio	σ_t (Kg/cm²) Promedio	σ_t (Kg/cm²) Promedio
1.911	2.926	1.794	2.616

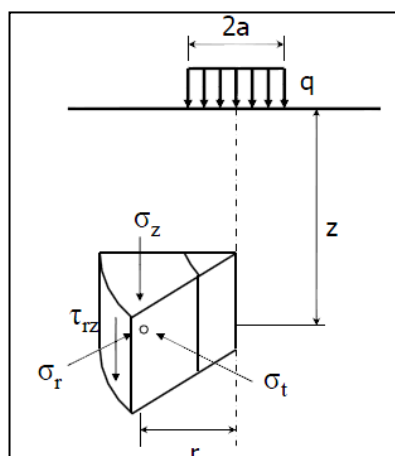
FIGURA N° 25 ESFUERZO NORMAL VS RESISTENCIA AL CORTE



Fuente: Elaboración propia.

Para calcular la resistencia del afirmado con o sin refuerzo ante las cargas establecidas, se debe realizar el dibujo de círculos de Mohr, los cuales se trazarán a partir de un estado inicial.

FIGURA N° 26 ESTADO DE TENSIONES.



- γ = densidad del suelo
- h = profundidad a la partícula
- k = coeficiente de empuje de suelos
- σ_z = esfuerzo vertical producto de la carga
- σ_h = esfuerzo horizontal producto de la carga (esfuerzo tangencial).

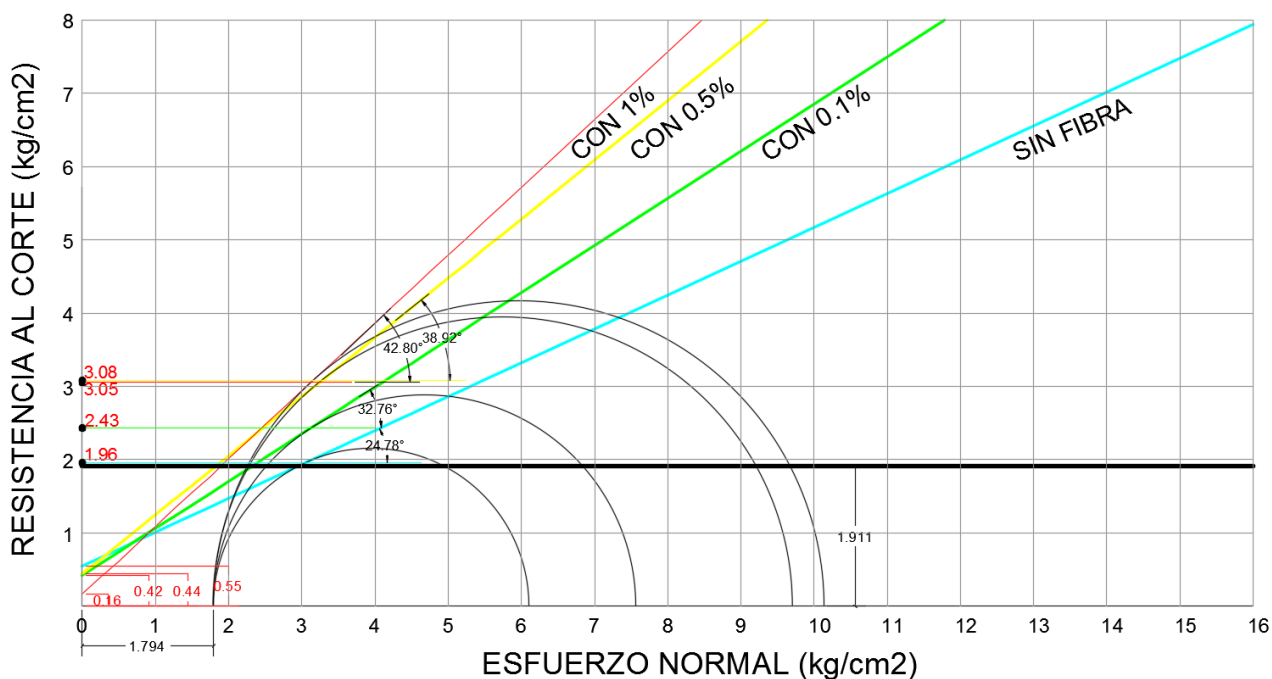
ESFUERZO HORIZONTAL	
C2	CAMION DE DISEÑO
σ_t (Kg/cm ²) Promedio	σ_t (Kg/cm ²) Promedio
1.794	2.617

4.2.1.3. Esfuerzo y Resistencia al corte para el camión C2

La siguiente figura muestra los círculos de Mohr trazados a partir del esfuerzo tangencial $\sigma_t = 1.794$, hasta tocar en un punto las líneas de resistencia de los suelos estudiados. Si proyectamos al eje vertical estos puntos obtendremos la resistencia al corte de los suelos para las condiciones reales de carga.

Se debe observar que la línea horizontal negra es la que representa el esfuerzo de corte que se produce al aplicar la carga de diseño.

FIGURA N° 27 RESISTENCIAS MÁXIMAS AL CORTE A PARTIR DEL ESFUERZO TANGENCIAL PARA EL CAMION C2



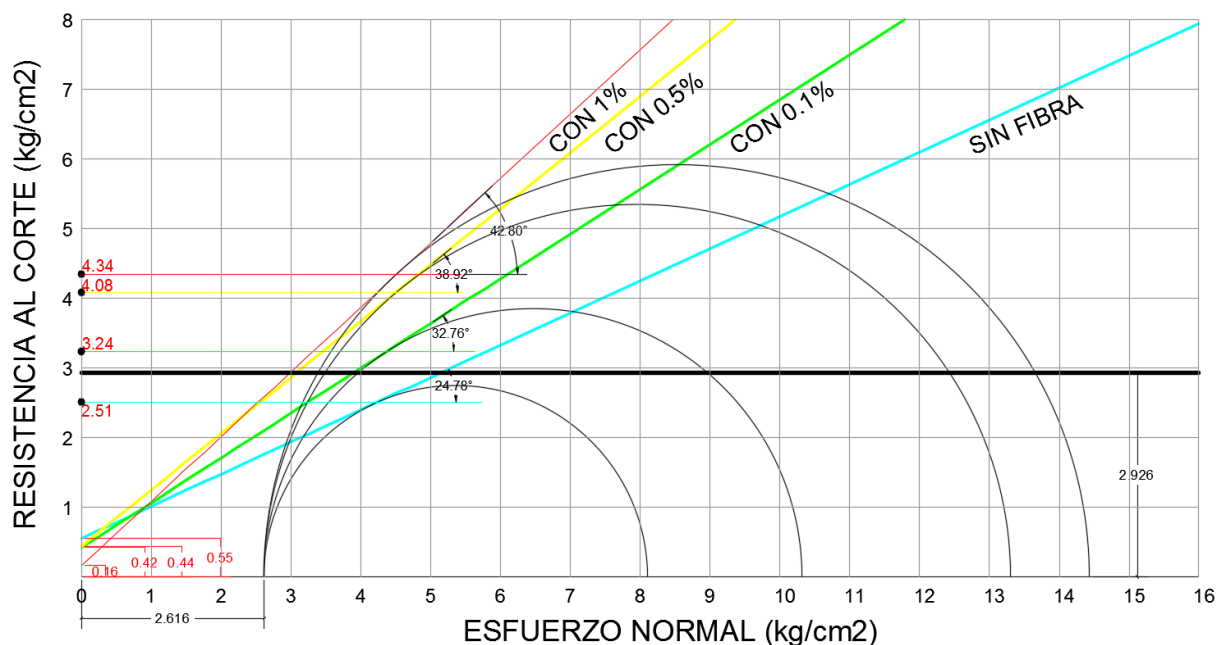
Fuente: Elaboración propia.

4.2.1.4. Esfuerzo y Resistencia al corte para el Camión de diseño

La siguiente figura muestra los círculos de Mohr trazados a partir del esfuerzo horizontal $\sigma_t = 2.616$ hasta tocar en un punto las líneas de resistencia de los suelos estudiados. Si proyectamos al eje vertical estos puntos obtendremos la resistencia al corte de los suelos para las condiciones reales de carga.

Se debe observar que la línea horizontal negra es la que representa el esfuerzo de corte que se produce al aplicar la carga de diseño.

FIGURA N° 28 RESISTENCIAS MÁXIMAS AL CORTE A PARTIR DEL ESFUERZO TANGENCIAL PARA EL CAMION DE DISEÑO



Fuente: Elaboración propia.

OBSERVACIONES:

- Se puede ver que los afirmados reforzados con fibra permiten mejorar notablemente las propiedades mecánicas.
- Se puede ver que los afirmados reforzados con fibra, poseen un comportamiento que les permite trabajar bajo la acción de esfuerzos de gran magnitud.
- Para el caso del camión tipo C2, se puede ver que el esfuerzo de corte al que se encuentra sometido la capa, está por encima a la resistencia al corte del afirmado sin refuerzo, lo cual nos indica que la capa se comporta adecuadamente.
- Para el caso del Camión de Diseño, se puede ver que el esfuerzo de corte al que se encuentra sometido la capa se encuentra por debajo de la resistencia al corte del afirmado sin refuerzo, lo cual nos indica que la capa debe ser reforzada, el refuerzo con 0.1% de fibra sería suficiente para poder satisfacer la solicitud de la carga.

4.2.1.5. DOSIFICACION DE FIBRA DE POLIPROPILENO

Para poder satisfacer las solicitudes de carga a las que se encuentra sometida la capa de afirmado, se realizaron los cálculos de esfuerzos de corte y se compararon con los de resistencia al corte producto de los ensayos de laboratorio.

En este cálculo se consideraron dos tipos de carga, una de ellas tomando como modelo el Camión tipo C2 y el segundo considerando el camión de diseño que propone el manual de puentes.

Dadas las relaciones y realizando las observaciones respectivas la dosificación de fibra de polipropileno que garantice el desempeño adecuado para las cargas reales es:

**Dosificación de fibra de polipropileno = 0.10% del peso del
afirmado suelto**

4.2.2. ESPESOR DE DISEÑO

4.2.2.1. Estudio De Tránsito

El tránsito es una de las variables más importantes para el análisis de los pavimentos, ya que nos permite prever la acción del tránsito sobre las vías y los efectos de éste sobre la vida útil de la carretera. El comportamiento de un pavimento (evolución del deterioro) está relacionado directamente con el volumen y los niveles de carga asociados al tránsito; influyendo en los programas de mantenimiento y conservación del camino. Es por ello la relevancia de esta variable.

Para el conocimiento de la clasificación y cuantificación del tránsito existente en las vías, su composición vehicular y su variación diaria y horaria, se realizó la recopilación de la información mediante el establecimiento de un punto de conteo, el más cercano posible al camino Jipata – Umuchi – Moho

4.2.2.2. Metodología Del Conteo

Para realizar este estudio de tránsito, se contabilizaron los vehículos

durante siete días seguidos en el mes de Agosto, clasificándolos por sentido, hora y tipo.

Descripción	Carretera	Ubicación	Progresiva (Km)	Período de conteo
Punto de Conteo 7	CU-785	Moho – Umuchi Jipata	14+000	Del 14 al 20 de Agosto del 2017

4.2.2.2.1. Resultados Del Punto De Conteo

Para el punto de conteo, que representa el volumen de tránsito vehicular que circula por el tramo definido según su ubicación en la carretera e indicados en el cuadro anterior, se calcularon los parámetros principales de un estudio de tránsito, los cuales se citan a continuación:

- a. Volumen de Tránsito Vehicular
- b. Índice Medio Diario Anual (IMDA)
- c. Factor de Corrección Horario
- d. Factores de Corrección
 - Horario
 - Diario

4.2.2.2.2. Volumen De Tránsito Vehicular

El conteo y clasificación vehicular corresponde a la realizada en el desvío Jipata – Umuchi – Moho del Proyecto. “Mejoramiento del camino vecinal Moho – Umuchi – Jipata”.

Las evaluaciones se efectuaron ininterrumpidamente durante el 14 al 20 de Agosto del 2017, en todos los puntos de conteo señalados en el párrafo anterior.

En los cuadros posteriores se muestran el resumen del volumen de tránsito contabilizados en el punto de conteo, clasificados según el tipo de vehículo, día y sentido de circulación.

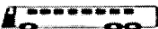
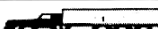
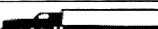
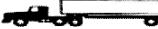
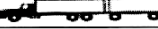
En la siguiente figura se muestran los esquemas de vehículos según su clasificación, extraída del Manual de Tránsito del Sistema de Gestión de Carreteras.

FIGURA N° 29 CLASIFICACION DE VEHÍCULOS.

Asociación BCEOM - OIST.

Sistema de Gestión de Carreteras

TIPOS DE VEHICULOS

CODIGO	DEFINICIONES	MODELOS	Nº DE EJES	PBV ML TM	DIAGRAMAS	SÍMBOLOS
AU	AUTO Vehículo motorizado de 4 ruedas. Transporte de personas. Tiene hasta 06 asientos	Automovil	02			AU
		Auto S.W	02			AU
CM	CAMIONETA Vehículo motorizado de 4 ruedas. Transporta personas y/o carga.	Pick Up	02			CM
		Sub Urbana	02			CM
		Panel	02			CM
		Otros	02		Ambulancia, patrullero	CM
CR	CAMIONETA RURAL (COMBI) Vehículo motorizado para transporte de pasajeros. De 7 a 12 asientos.	Camioneta Rural (Combi)	02			CR
MB	MICROBUS (CUSTER) Vehículo motorizado para transporte de pasajero. De 13 a 30 asientos.	Microbus	02			MB
B	OMNIBUS Vehículo motorizado para transporte de pasajeros. Tiene más de 30 asientos. Modelos: Bus convencional y bus articulado.	B2	02	18		B2
		B3	03	25		B3
		B4	04	32		B3
		BA	04	36		B3
C	CAMION SIMPLE Vehículo motorizado auto propulsado para transporte de carga. Su peso bruto vehicular (PBV) es igual o mayor a las 04 TM. C2ch : Camión pequeño con 2 ejes y 6 ruedas (aros # 16). PB <= 9 ton. C2gr : Camión grande con 2 ejes y 6 ruedas (aros # 20, 22.5 y/o 24.5). PB > 9 ton. También se incluye Cargador Frontal, Motoniveladora, Tractor agrícola y Rodillo, con el símbolo C2 gr. Modelos: plataforma, baranda, volquete, cisterna, furgon, otros.	C2 ch	02	9 (*)		C2 ch
		C2 gr	02	18		C2 gr
		C3	03	25		C3
		C4	04	32		C3
		8 X 4	04	32		C3
A	CAMION ARTICULADO Vehículos acoplados, siendo uno de ellos motorizado a) Semi trayler (S) -> Tractor camión más Semiremolque b) Trayler (T) -> Camion simple más Remolque	2S1	03	29		2S2
		2S2	04	36		2S2
		2S3	05	43		2S3
		3S1	04	36		3S2
		3S2	05	43		3S2
		3S3	06	48		3S3
		2T2	04	40		2T2
		2T3	05	47		2T3
		3T2	05	47		3T2
		4T2	06	48		3T2
		4T2	06	48		3T2
		3T3	06	48		3T3
		3T4	07	48		3T3
		4T3	07	48		3T3
		4T3	07	48		3T3

LEYENDA :
PBV ML : Peso bruto vehicular máximo legal en ton.
(*) Valor adoptado por el SGC
NOTA :
Tipos de vehículos más frecuentes del parque automotor peruano.

Fuente: Manual de carreteras Suelos y Pavimentos, MTC, 2014, pp 70

TABLA N° 14 RESUMEN EN EL PUNTO DE CONTEO JIAPATA, KM 14+000

DIAS	Sentido	Vehículos Livianos			Buses 2 Ejes		B+2E		Camión 2 Ejes		Camión + 2 Ejes										Total
		AU	CM	CR	MB	B2	B3	B4	C2 Chico	C2 Grande	C3	C4	2S2	2S3	3S2	3S3	2T2	2T3	3T2	3T3	
Lunes 14/08/2017	Ambos	15	33	17	0	7	0	0	5	7	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	89
	D	6	14	9	0	5	0	0	3	5	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	45
	I	9	19	8	0	2	0	0	2	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	44
Martes 15/08/2017	Ambos	21	34	25	3	0	0	0	15	7	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	108
	D	9	17	15	3	0	0	0	11	3	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	61
	I	12	17	10	0	0	0	0	4	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	47
Miércoles 16/08/2017	Ambos	22	35	20	0	2	0	0	0	7	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	92
	D	8	19	11	0	0	0	0	0	2	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	46
	I	14	16	9	0	2	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	46
Jueves 17/08/2017	Ambos	7	36	23	0	6	0	0	0	16	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	90
	D	4	17	13	0	3	0	0	0	6	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	44
	I	3	19	10	0	3	0	0	0	10	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	46
Viernes 18/08/2017	Ambos	21	40	21	0	0	0	0	9	27	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	119
	D	13	23	13	0	0	0	0	1	21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	71
	I	8	17	8	0	0	0	0	8	6	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	48
Sábado 19/08/2017	Ambos	15	29	17	0	0	0	0	8	15	6	1	0	0	0	0	0	0	0	0	91
	D	7	13	9	0	0	0	0	4	7	5	1	0	0	0	0	0	0	0	0	46
	I	8	16	8	0	0	0	0	4	8	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	45
Domingo 20/08/2017	Ambos	16	35	28	0	8	0	0	8	16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	111
	D	8	18	16	0	2	0	0	5	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	55
	I	8	17	12	0	6	0	0	3	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	56
PROMEDIO SEMANAL		17	35	22	0	3	0	0	6	14	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100

Fuente: Elaboración propia

TABLA N° 15 SIMBOLOGÍA USADA EN EL CONTEO

Sentido	Ambos	Conteo en Ambos sentidos
	D	Conteo en el Carril Derecho
	I	Conteo en el Carril Izquierdo
Vehículos Livianos	AU	Automóviles
	CM	Camionetas
	CR	Camioneta Rural (Combi)
Buses de 2 Ejes	MB	Microbús
Buses de más de 2 Ejes	B2	Ómnibus de 2 ejes
	B3	Ómnibus de 3 o más ejes
Camión de 2 Ejes	C2 Chico	Camión de 2 ejes
	C2 Grande	Camión de 2 ejes
Camión de más de 2 Ejes	C3	Camión de más de 2 ejes
	2S2	Semi Travler de 4 ejes
	2S3	Semi Travler de 5 ejes
	3S2	Semi Travler de 5 ejes
	3S3	Semi Travler de 6 ejes
	2T2	Trayler de 4 ejes
	2T3	Trayler de 5 ejes
	3T2	Trayler de 5 ejes
	3T3	Trayler de 6 ejes

Fuente: Manual de carreteras Suelos y Pavimentos, MTC, 2014, pp 70

4.2.2.2.3. Índice Medio Diario Anual (Imda)

El IMDA, que representa el tránsito promedio diario anual, se determina como el promedio aritmético del volumen de tránsito de los siete días (tránsito promedio diario semanal), para los cuales se realizó el conteo, multiplicado por el factor de corrección estacional (FCE).

Como en este caso no se tiene una serie histórica permanente, se asume el factor de corrección estacional (FCE) igual a 1.00, es decir, no se usa el FCE. De esta forma el IMDA, queda definido como el promedio aritmético del volumen de tránsito de los siete días de evaluación y se presenta en los siguientes cuadros.

En la primera tabla se muestra el IMDA para cada tipo de vehículo contabilizado y su porcentaje de participación, en la segunda tabla se muestra un resumen para los vehículos clasificados según las categorías.

TABLA N° 16 IMDA EN PUNTO DE CONTEO PARA CADA TIPO DE VEHÍCULO

Punto de Cuento	IMDA % Participación	Vehiculos Livianos			Buses 2 Ejes		B+2E		Camión 2 Ejes		Camión + 2 Ejes										IMDA TOTAL
		AU	CM	CR	MB	B2	B3	B4	C2 Chic o	C2 Grande	C3	C4	2S2	2S3	3S2	3S3	2T2	2T3	3T2	3T3	
Tungasuca	IMDA	17	35	22	0	3	0	0	6	14	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
	% Participación	16.71%	34.57 %	21.57 %	0.43%	3.29%	0.00 %	0.00 %	6.43 %	13.57%	3.00%	0.43 %	0.00%	0.00 %	0.00%	0.00%	0.00 %	0.00 %	0.00 %	0.00%	100.00%

TABLA N° 17 RESUMEN DE IMDA SEGÚN CLASIFICACION VEHICULAR EN PUNTO DE CONTEO.

Vehículos según Categorías	IMDA
	Jipata
Vehículos Livianos	74
Buses de 2 Ejes	3
Buses de más de 2 Ejes	0
Camiones de 2 Ejes	20
Camiones de más de 2 Ejes	3
TOTAL	100

Fuente: Elaboración propia

4.2.2.2.4. Cálculo De Ejes Equivalentes

Cálculo de Tasas de Crecimiento y la Proyección

Se puede calcular el crecimiento de tránsito utilizando una fórmula simple:

Para los datos:

$$T_n = T_o(1 + r)^{n+1}$$

T_n = Tránsito proyectado al año “n” en veh/día.

T_o = Tránsito actual (año base o IMD promedio en veh/día) de la Estación

n = Años del período de diseño de 5 años.

i = Tasa anual de crecimiento del tránsito. Definida en correlación con la dinámica de crecimiento socio-económico normalmente entre 2% y 6%, a criterio se asume el 5% promedio, por el crecimiento del PBI, producción y crecimiento poblacional. DE LA NORMATIVA:

El “Manual para la Conservación de Carreteras No Pavimentadas de Bajo Volumen de Tránsito”, se encuentra señalado que la Clasificaremos de acuerdo al volumen de tránsito, se identifican en la clase de carreteras:

En base el IMD, de los tipos de vehículos y al Transito Proyectado, obtenemos los ESAL’s en ejes equivalentes, como se muestra:

TABLA N° 18 CÁLCULO DE EJES EQUIVALENTES

Pto07 Jipata Sector 1:Dv. Jipata	IMDA	17	35	22	0	3	0	0	6	14	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
	% Participación	16.71%	34.57%	21.57%	0.43%	3.29%	0.00%	0.00%	6.43%	13.57%	3.00%	0.43%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
	Factor Crecimiento	6.80	6.80	6.80	6.80	6.80	6.80	6.80	6.80	6.80	6.80	6.80	6.80	6.80	6.80	6.80	6.80	6.80	6.80	6.80	
	Transito Diseño	41,497	85,830	53,555	-	8,157	-	-	15,960	33,694	7,448	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Factor Camion	0.0002	0.0004	0.1323	4.26	1.78	1.97	1.97	4.2600	4.2600	2.62	1.78	6.37	6.07	4.73	4.43	11.75	10.108	10.108	8.470	
	Factor distribución carriles	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	
	Factor distribución direccional	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	
	ESAL's Diseño	8	34	7,085	-	14,504	-	-	67,990	143,535	19,536	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,527.E+05

TABLA N° 19 CLASIFICACIÓN SEGÚN VOLUMEN DE TRÁNSITO, PARA CARRETERAS NO PAVIMENTADAS DE BAJO VOLUMEN DE TRANSITO

CLASE	T0	T1	T2	T3
IMDA (Total vehículos ambos sentidos)	<15	16 - 50	51 - 100	101 - 200
Vehículos pesados (carril de diseño)	<6	6 - 15	16 - 28	29 - 56
N° Rep. EE (carril de diseño)	< 2.5 x 10 ⁴	2.6x10 ⁴ -7.8x10 ⁴	7.9x10 ⁴ - 1.5x10 ⁵	1.6x10 ⁵ -3.1x10 ⁵

Fuente: Elaboración propia

4.2.2.2.5. Suelo De Fundación

Las características de CBR de las capas superficiales de Afirmado Existente, que conforman la plataforma y el terreno natural como subrasante registra las siguientes características de soporte:

TABLA N° 20 MODULO RESILENTE (KPSI) Y CBR (%) DE LA SUBRASANTE

Sector	RED VIAL 01	Mr	CBR
		kpsi	%
	Moho-Umuchi-Jipata 22.00		
1	Moho - Umuchi 7.00	16.5	22.9
2	Umuchi - Jipata 15.00	14.02	17.00

Fuente: Elaboración propia.

4.2.2.3. Método de diseño NASSRA.

Dentro de los Métodos de Diseño, los Elementos y Parámetros Básicos, tenemos una necesidad justificada, social y económica en beneficio de la comunidad que requiere del servicio, normalmente en situación de limitaciones muy estrechas de recursos locales y nacionales.

Los procedimientos de diseño estructural con los parámetros y elementos específicos para caminos con bajo volumen de tránsito a nivel de afirmado, se encuentran consignados en el capítulo 2 del manual para el diseño de carreteras no pavimentadas de bajo volumen de tránsito, y tiene una aceptación generalizada.

Para el presente proyecto, se empleará la ecuación de la Metodología N A A S R A, que utiliza el “Catálogo Estructural de Superficie de Rodadura” del manual de bajo Volumen de tránsito. Finalmente, se escogerá el diseño del afirmado, entre las alternativas del catálogo adjunto, que corresponda a una solución que, en razón de los materiales y la tecnología disponibles, signifique un menor costo de construcción.

Donde el espesor se puede obtener de la siguiente ecuación:

$$e = [219 - 211 \times (\log_{10} \text{CBR}) + 58 \times (\log_{10} \text{CBR})^2] \times \log_{10} \times (\text{Nrep}/120) \dots (I)$$

Dónde:

e = Espesor de la capa de afirmado en mm

CBR = Valor del CBR de la subrasante

Nrep = Número de Repeticiones de EE para el carril de Diseño

$$E = (219 - 211 \times \log(17) + 58 \times \log((17)^2)) \times \log\left(\frac{253000}{120}\right)$$

$$.E = 156.84 \text{ mm}$$

TABLA N° 21 DISEÑO DE AFIRMADO – METODO NAASRA

DISEÑO DEL AFIRMADO					
METODO NAASRA					
PROYECTO :	Refuerzo con fibra sintética en afirmados			FECHA	10/2017
1. REQUISITOS DEL DISEÑO					
a. PERIODO DE DISEÑO (Años)					5
b. NUMERO DE EJES EQUIVALENTES TOTAL (W18)					2.53E+05
2. PROPIEDADES DE MATERIALES					
a. VALOR CBR DE LA SUBRASANTE					17.00
3. ESPESOR DE LA CAPA					
ESPESOR (mm)					156.84
ESPESOR (cm)					15.68

Fuente: Elaboración propia.

TABLA N° 22 OBTENCIÓN DE ESPESOR POR CUADRO DE DOBLE ENTRADA

Resumen

CBR% Diseño	Ejes Equivalentes																		
	10,000	20,000	25,000	30,000	40,000	50,000	60,000	70,000	75,000	80,000	90,000	100,000	110,000	120,000	130,000	140,000	150,000	200,000	300,000
	Espesor de Material de Afirmado (mm)																		
6	200	200	250	250	250	250	250	250	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	350
7	200	200	200	200	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	300	300	300	300
8	150	200	200	200	200	200	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	300
9	150	200	200	200	200	200	200	200	200	200	250	250	250	250	250	250	250	250	250
10	150	150	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	250	250	250	250	250
11	150	150	150	150	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	250
12	150	150	150	150	150	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
13	150	150	150	150	150	150	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
14	150	150	150	150	150	150	150	150	150	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
15	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	200	200	200	200	200	200	200
16	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	200	200	200	200
17	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	200	200
18	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	200
19	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
20	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
21	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
22	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
23	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
24	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
25	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
26	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
27	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
28	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
29	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
30	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
> 30 *	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150

(*) Subrasante con CBR <6%, serán materia de estabilización o mejoramiento de subrasante, según los criterios expuestos en el Capítulo 9 Estabilización de Suelos

Fuente: Manual de carreteras Suelos y Pavimentos, MTC, 2014, pp 80.

FIGURA N° 30 ESTRUCTURA DEL AFIRMADO RECOMENDADO

Catálogo de capas de afirmado (Revestimiento Granular)
Periodo de Diseño 10 Años

EE		Tnp1	Tnp2	Tnp3	Tnp4
CBR %		< 25,000	25,001-75,000	75,001-150,000	150,001-300,000
6% ≤ CBR < 10%	CBR % < 6%	25 cm (x)	30 cm (x)	30 cm (x)	35 cm (x)
	CBR 6% - 8%	25 cm	30 cm	30 cm	35 cm
	CBR 8% - 10%	20 cm	25 cm	25 cm	30 cm
	10% ≤ CBR < 20%	CBR 10% - 12%	20 cm	25 cm	25 cm
		CBR 12% - 20%	15 cm	20 cm	20 cm
	20% ≤ CBR < 30%	CBR 20% - 30%	15 cm	15 cm	15 cm
		CBR ≥ 30%	15 cm	15 cm	15 cm

 Afirmado

Fuente: Elaboración propia en base a ecuación NAASRA.

CONCLUSIÓN MÉTODO DISEÑO NASSRA:

El Método NASSRA solo es aplicable para carreteras no pavimentadas de bajo volumen de Transito, obteniéndose un espesor de 16 cm de acuerdo a la ecuación, obteniéndose 20 cm para el cuadro del mismo Método.

4.2.2.4. Espesor de la capa con relación a su CBR.

El espesor antes calculado mediante el método NAASRA no hace distinción alguna del CBR de la capa de afirmado, es por eso que en esta parte de la investigación se hará un análisis de la relación entre el CBR de la capa de afirmado y el espesor que se puede disminuir considerando un mayor CBR.

Para este análisis se utilizó la Metodología AASTHO 1993.

4.2.2.4.1. Método De Diseño AASHTO 1993

El Método de Diseño “AASHTO GUIDE FOR DESIGN OF PAVEMENT STRUCTURES” básicamente en lo referente al CHAPTER 4 LOW-VOLUME ROAD DESIGN (año 1993), se fundamenta básicamente en los siguientes parámetros básicos:

- Demanda del tránsito medida en número de ejes equivalentes para el período de diseño de pavimentos.
- Tipo de subrasante sobre el cual se asienta el pavimento.

Estos parámetros permiten definir la capacidad estructural requerida, en términos del número estructural, del paquete del pavimento.

Finalmente se dan las características de los componentes de la estructura del pavimento, los mismos que corresponden a capas de materiales seleccionados.

Cada una de las capas proporciona una capacidad en base a su aporte estructural

La ecuación básica de equilibrio en el diseño para estructuras de pavimentos flexibles es la siguiente:

$$\text{LOG}_{10}W_{18} = Z_R S_O + 9.36 [\text{LOG}_{10}(\text{SN}+1)] - 0.20 + \frac{\text{LOG}_{10}[\Delta\text{PSI}/2.7]}{0.40 + [1094/(\text{SN}+1)^{5.19}]} + 2.32\text{LOG}_{10}M_R - 8.07$$

Dónde:

- W₁₈ : Número total de ejes equivalentes, para el período de diseño
- Z_R : Coeficiente estadístico asociado a la confiabilidad respecto a la Predicción del tráfico. AASHTO recomienda para vías rurales de bajo volumen tránsito un nivel de confiabilidad en el rango de 50% - 80%
- S_O : Desviación estándar combinada en la estimación de los parámetros y del comportamiento del modelo (0.45)
- S_N : Número estructural
- Δ PSI : Diferencial de Serviciabilidad (Serviciabilidad inicial p_i, depende del tipo de superficie de rodadura – Serviciabilidad final p_f (1.8)
- M_R : Módulo de resiliencia de la subrasante.

El número estructural de resistencia del pavimento flexible viene dado por

la fórmula: $SN = a_1 \times D_1 + a_2 \times D_2 \times m_2 + a_3 \times D_3 \times m_3$

Dónde:

a_1 : Coeficiente estructural de la capa de rodadura

D_1 : Espesor de la capa de rodadura (cm)

a_2 : Coeficiente estructural de la capa de base granular

D_2 : Espesor de la capa de base granular (cm)

m_2 : Coeficiente que refleja el drenaje de la capa 2.

a_3 : Coeficiente estructural de la capa de sub base granular

D_3 : Espesor de la capa de sub base granular (cm)

m_3 : Coeficiente que refleja el drenaje de la capa 3

SN, número estructural, es un valor abstracto que representa la resistencia total de la estructura de un pavimento para una determinada categoría de subrasante, condición de tráfico e índice de servicio al final de la vida útil.

Ya que nuestro análisis se realizó para una capa de afirmado, se debe eliminar algunas variables (capa asfáltica y base granular).

TABLA N° 23 DISEÑO DE PAVIMENTO METODO AASHTO 1993

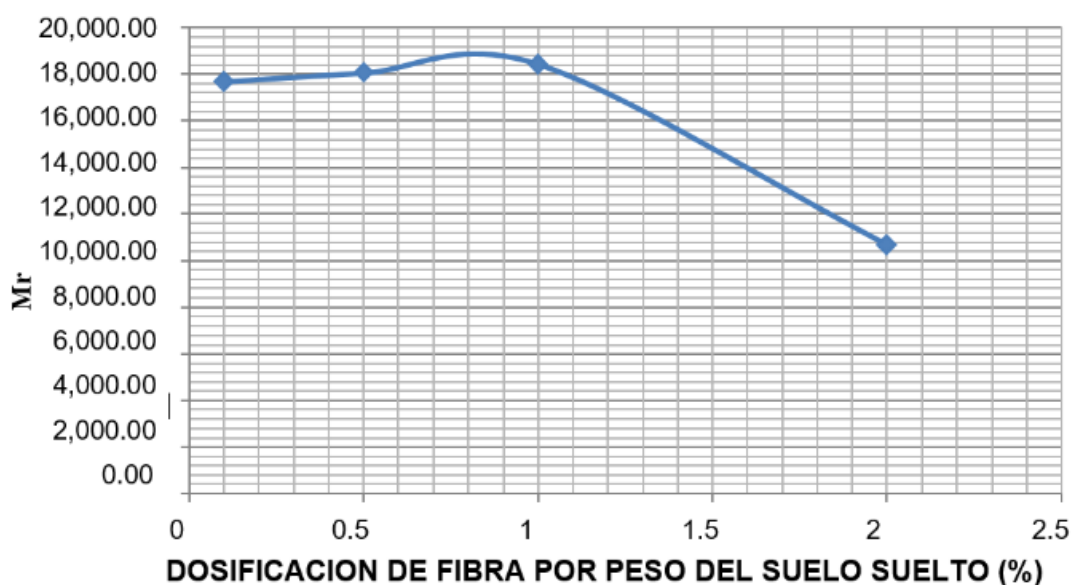
DISEÑO DEL PAVIMENTO							
METODO AASHTO 1993							
PROYECTO :	Refuerzo con Fibra Sintética en Afirmados					FECHA :	11/2017
1. REQUISITOS DEL DISEÑO							
a. PERIODO DE DISEÑO (Años)							5
b. NUMERO DE EJES EQUIVALENTES TOTAL (W18)							2.53E+05
c. SERVICIABILIDAD INICIAL (pi)							3.8
d. SERVICIABILIDAD FINAL (pt)							2.0
e. FACTOR DE CONFIABILIDAD (R)							80%
STANDARD NORMAL DEVIATE (Zr)							-0.842
OVERALL STANDARD DEVIATION (So)							0.45

Fuente: Elaboración propia en base a los datos obtenidos.

Por lo tanto, se utilizará la tercera ecuación, para obtener los siguientes Módulos Resilientes:

DOSIFICACIÓN	CBR (%)	Mr(PSI)	
0.1% DE FIBRA	54.03	17,499.75	
0.5% DE FIBRA	58.90	17,873.09	
1.0 % DE FIBRA	64.23	18,247.85	
2.0 % DE FIBRA	10.68	10,486.58	

FIGURA N° 32 Mr vs DOSIFICACION DE FIBRA



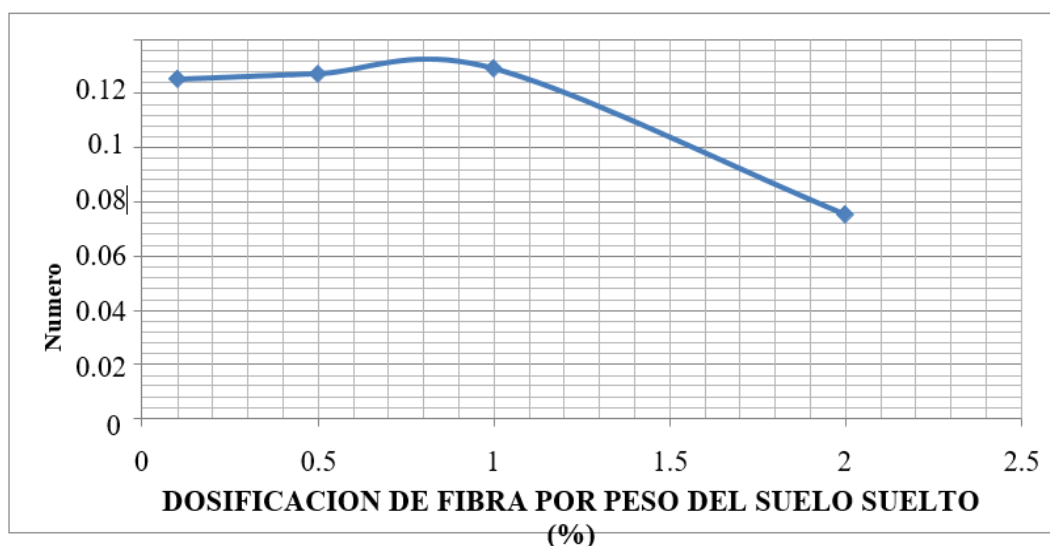
Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a los módulos resilientes antes calculados, se puede calcular el número estructural con la siguiente ecuación:

$$a_3 = 0.227(\log Mr) - 0.839$$

DOSIFICACIÓN	CBR (%)	Mr(PSI)	coeficiente estructural
0.1% DE FIBRA	54.03	17,499.75	0.12416822
0.5% DE FIBRA	58.90	17,873.09	0.12624931
1.0 % DE FIBRA	64.23	18,247.85	0.12829504
2.0 % DE FIBRA	10.68	10,486.58	0.07368390

FIGURA N° 33 NUMERO ESTRUCTURAL vs DOSIFICACION DE FIBRA



Fuente: Elaboración propia

El número Estructural para el afirmado que tiene un espesor de 20cm (el cual fue calculado previamente mediante el método NAASRA), será:

$$SN = a_3 \times D_3 \times m_3$$

El manual de diseño considera que el afirmado deberá tener mínimamente un CBR de 40%, por lo que el módulo resiliente deberá ser:

$$Mr = 4326 \times \ln(40\%) + 241 \quad Mr = 16,199.092518$$

Entonces el coeficiente estructural para la capa de afirmado en general debe ser:

$$a_3 = 0.217 \times \log(Mr) - 0.839 \quad a_3 = 0.116554386$$

El número estructural al que debe alcanzar la capa de afirmado sin refuerzo será:

$$SN = (0.116554386 \times 1.00 \times 20.00) / 2.54$$

SN

Requerido

0.9177510

Por lo tanto los espesores de acuerdo a la metodología AASHTO, serán: Se tomara el valor de $m_3 = 1.00$

$$0.9177510 = a_3 \times D_3$$

TABLA N° 24 ESPESOR PLANTEADO PARA CADA DOSIFICACION DE FIBRA

DOSIFICACIÓN	CBR (%)	Mr(Psi)	Numero estructural (a3)	Espesor (cm)
0.1% DE FIBRA	54.03	17,499.75	0.12416822	18
0.5% DE FIBRA	58.90	17,873.09	0.12624931	18
1.0 % DE FIBRA	64.23	18,247.85	0.12829504	18
2.0 % DE FIBRA	10.68	10,486.58	0.07368390	32

Fuente: Elaboración propia

4.2.2.4.3. Conclusión de la comparación CBR versus el espesor de la capa de afirmado:

El Método AASHTO es aplicable para carreteras pavimentadas y del tipo flexible, la ventaja de este método es el uso del Módulo Resiliente, de acuerdo al análisis planteado se observó que el aumento del CBR tendrá una influencia logarítmica sobre el espesor de la capa, para lo cual no se obtiene demasiada diferencia entre un CBR entre 40 y 100 %.

Se obtuvo un espesor mínimo de 18cm.

4.2.3. DOSIFICACIÓN OPTIMA DE FIBRA DE POLIPROPILENO

La dosificación de fibra de polipropileno se ha enfocado mediante dos criterios, el corte directo y el CBR, ambos han brindado resultados que nos permiten analizar el comportamiento.

En el caso del corte directo se realizó un análisis estático de las cargas actuantes, para las cuales es necesaria la utilización de 0.1 % de fibra con respecto al peso del afirmado es estado suelto.

En el caso del CBR, se hizo un análisis que compara cuanto podría reducir el espesor del afirmado en función al incremento del CBR producto de la añadidura de fibra, en este caso resulto como máxima reducción de espesor 2 cm, lo cual significaría un ahorro del 10%. La dosificación que nos permite disminuir el espesor es de 0.1%.

Producto de los resultados de laboratorio y teniendo en cuenta las premisas anteriores se ha demostrado que la dosificación óptima de fibra de polipropileno será de 0.1 % de fibra, la cual será la definitiva y la resultante de esta investigación.

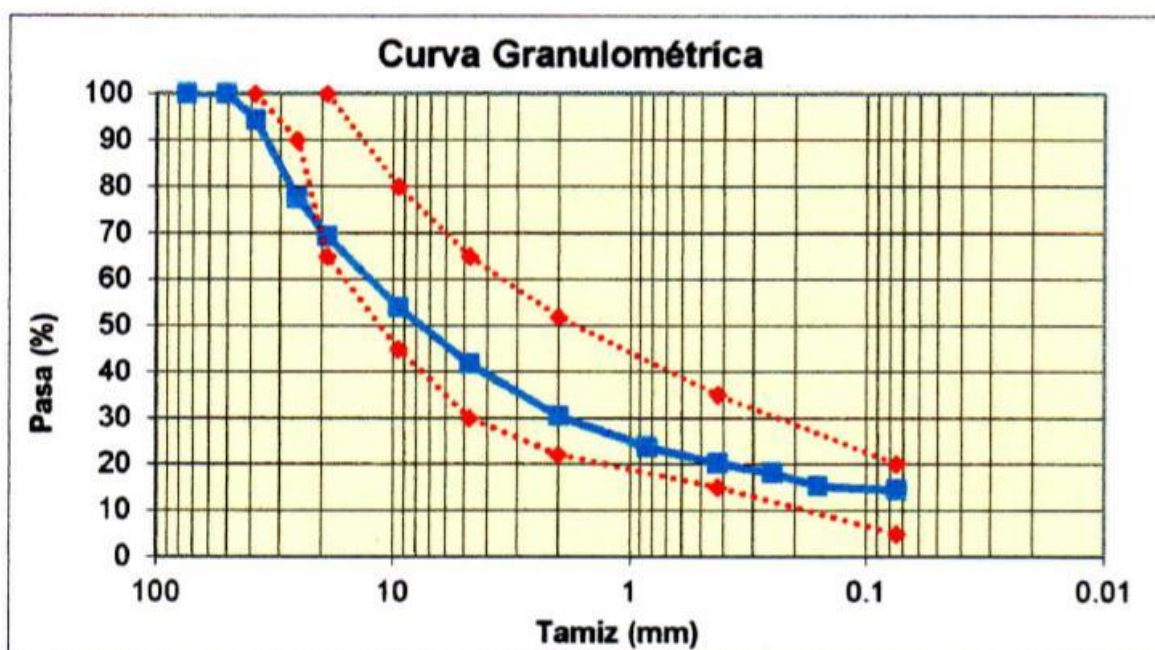
Dosificación de fibra de polipropileno = 0.1 % del peso del afirmado en estado suelto

4.3. PRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS

4.3.1.1. Análisis Granulométrico

El análisis granulométrico se realizó mediante la norma MTC E 107-2000 ASTM D 422 a través de tamizado.

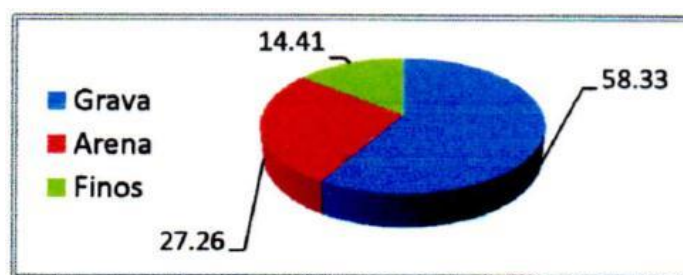
FIGURA N° 34 CURVA GRANULOMÉTRICA



Fuente: Elaboración propia

Observación: El material que se utilizó proveniente de la cantera de M (km 11+000 del camino Umuchi - Moho), como demuestra la curva posee un desfase al comienzo debido a la presencia de piedra de 2'' a 2.5''.

FIGURA N° 35 CLASIFICACIÓN MÉTODO ASTM



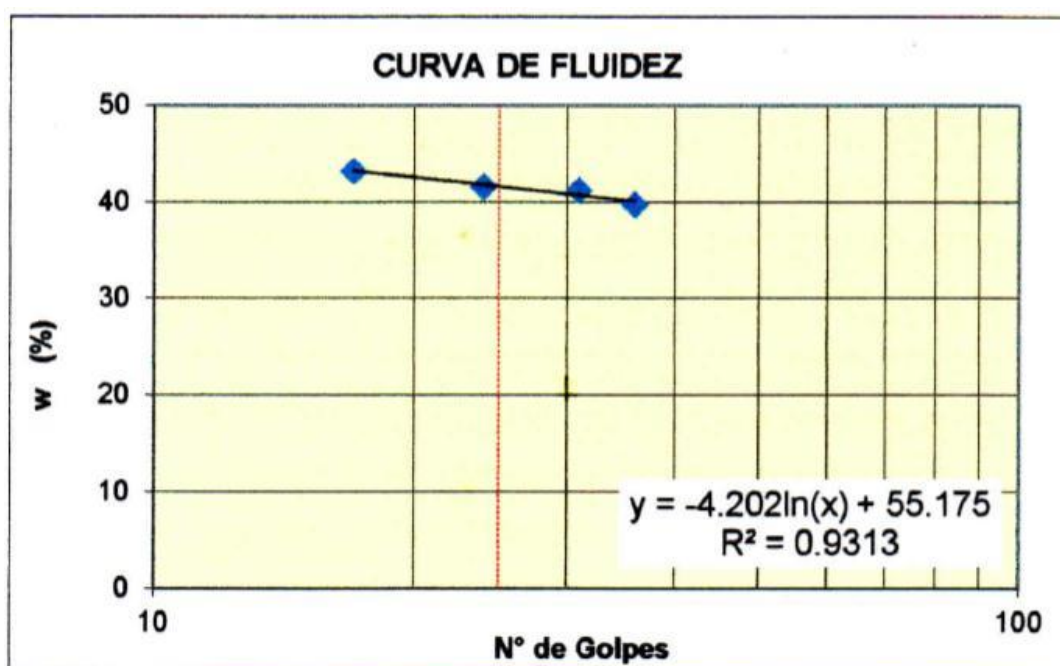
Fuente: Elaboración propia

4.3.1.2. Límites De Consistencia

A) LIMITE LÍQUIDO Y PLÁSTICO.

El límite líquido fue realizado mediante la norma ASTM D 423, y el límite plástico se realizó mediante la norma ASTM D 424.

FIGURA N° 36 LIMITES DE CONSISTENCIA



Fuente: Elaboración propia

Dando los siguientes resultados:

TABLA N° 25 Resultados Límites de Consistencia

Límite líquido	41.65
Límite Plástico	29.97
Índice de Plasticidad	11.68

B) Clasificación de suelo.

- Clasificación SUCS.- Suelo de partículas gruesas. Suelo de partículas gruesas de con finos (suelo sucio)

Grava Limosa con arena GM

- Clasificación AASHTO.

Material granular excelente o bueno como subrasante.

A-2-7 Grava y arena arcillosa o limosa

Valor del índice de grupo (IG): 0

4.3.1.3. Desgaste por abrasión e impacto máquina de los ángeles.

La abrasión del material de afirmado fue realizada mediante la norma MTC E 207 – 2000 ASTM C 131.

TABLA N° 26 DESGASTE POR ABRASIÓN

GRADACION	N° REVOLUCIONES	N° BILLAS	PESO MUESTRA ANTES DE ENSAYO	PESO DE MUESTRA DESPUES DE ENSAYO	% TOTAL PERDIDA
B	500	11	5000.07	3304.2	33.92

FUENTE: Elaboracion propia de datos obtenidos de laboratorio.

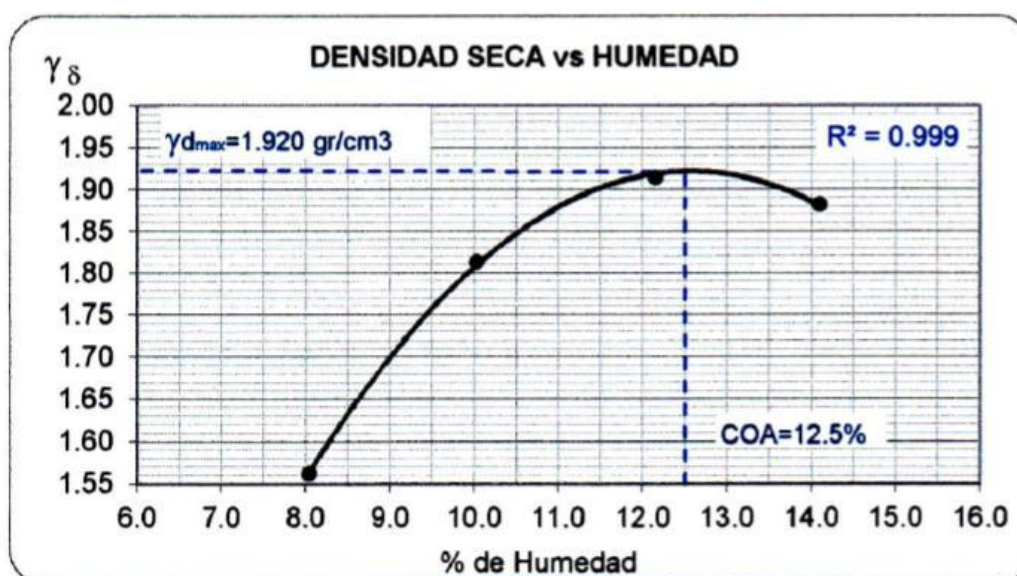
Resultado:

% de desgaste	33.92
---------------	-------

4.3.1.4. Ensayo De Compactación Proctor Modificado

El ensayo de Proctor modificado del material de afirmado fue realizado mediante la norma MTC E 115 – 2000ASTM D 1557.

FIGURA N° 37 CURVA DE COMPACTACIÓN



Fuente: Elaboración propia

Resultado:

TABLA N° 27 Resultados Proctor Modificado

Densidad máxima seca	1.920 gr/cm ³
Optimo % de humedad	12.50 %

4.3.2. PROPIEDADES MECÁNICAS.

4.3.2.1. California bearing ratio (CBR en laboratorio).

El ensayo de CBR se realizó mediante la norma **MTC E 132 – 2000 / ASTM D 1883 – AASTHO 1993**. Los ensayos de CBR se hicieron con la finalidad de encontrar una dosificación adecuada para reforzar el afirmado, para esto se realizó varias pruebas, considerando las siguientes dosificaciones.

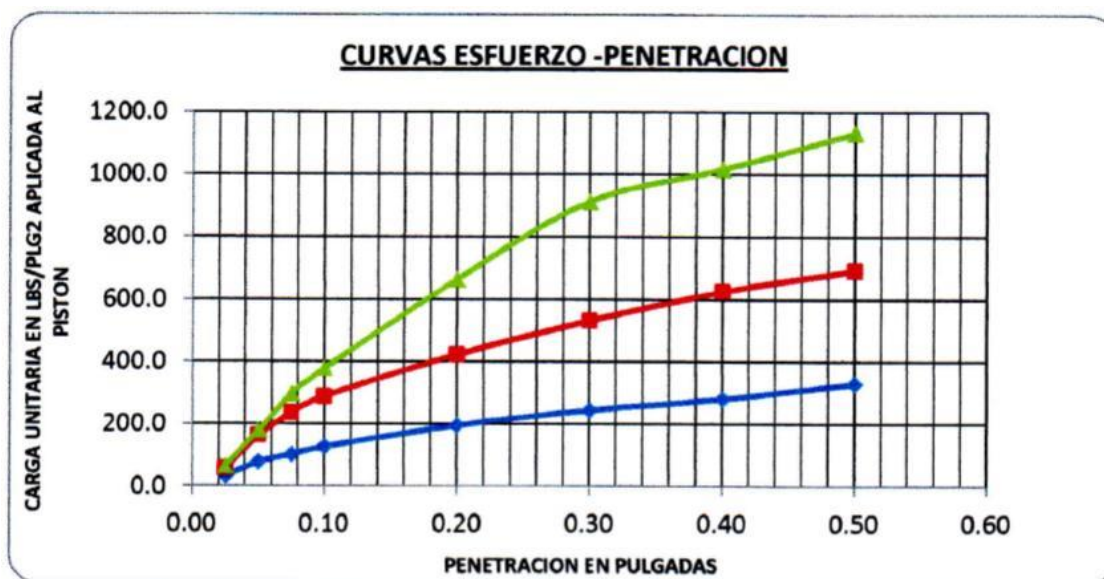
- Dosificación al 0.1% del peso de suelo en estado suelto.
- Dosificación al 0.5% del peso de suelo en estado suelto.
- Dosificación al 1.0% del peso de suelo en estado suelto.
- Dosificación al 2.0% del peso de suelo en estado suelto.

Para la dosificación de fibra de polipropileno se ha enfocado mediante dos propiedades mecánicas de los afirmados el de compactación y el CBR, ambos han brindado resultados que nos permiten analizar el comportamiento del suelo.

Un afirmado es una estructura cuya función fundamental es distribuir suficientemente las cargas concentradas de las ruedas de los vehículos, de manera que el suelo subyacente pueda soportarlas sin falla o deformación excesiva. Además el afirmado debe ofrecer una superficie lisa no resbaladiza que resista la intemperie y, por último, debe proteger el suelo de la pérdida de sus propiedades por efecto del sol, las lluvias y la helada.

4.3.2.1.1. CBR CON DOSIFICACIÓN DE FIBRA AL 0.1% DEL PESO DE AFIRMADO SUELTO

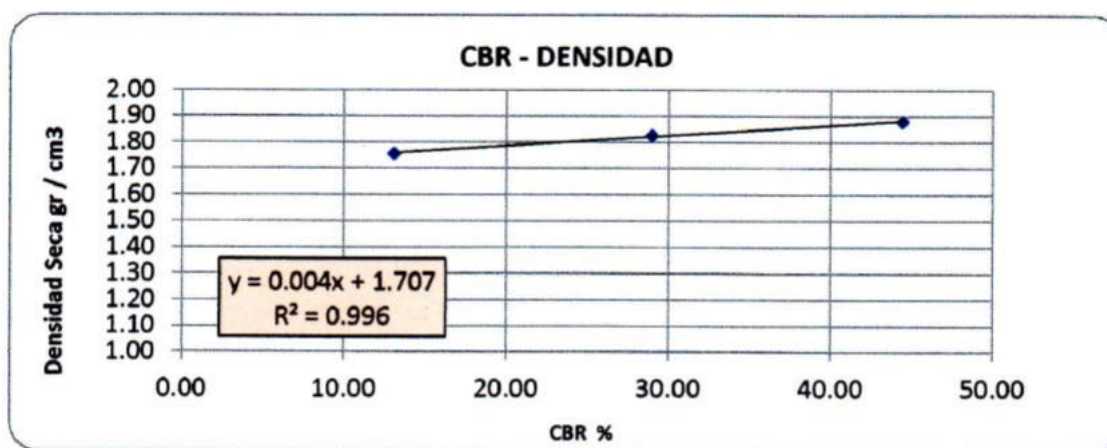
FIGURA N° 38 CURVA ESFUERZO PENETRACIÓN PARA 0.1% DE FIBRA FIBRA



Fuente: Elaboración propia

Para el caso **CURVA ESFUERZO PENETRACIÓN PARA 0.1% DE FIBRA**, se realizó 3 ensayos de CBR el primero de color verde con 56 golpes, color rojo de 25 golpes y el color azul de 12 golpes, donde se tienen los siguientes resultados en 0.5 pulg corresponde 360lb/pulg² (12 golpes), 720.3 lb/pulg² (25 golpes), 1190.12 lb/pulg² (56 golpes), de la misma forma para penetración desde 0.1pulg hasta 0.4 pulg

FIGURA N° 39 RECTA DE CBR-DENSIDAD PARA 0.1% DE FIBRA



Fuente: Elaboración propia

- De la gráfica, para al grado de compactación de 95 % para una densidad seca de 1.824 gr/cm³, se obtuvo un CBR de diseño de 29.73 %, que se encuentra dentro de los límites permisibles para la base, así mismo se determinó para el afirmado que viene a ser la capa de rodadura con un grado de compactación del 100 %, para una densidad seca de 1.920 gr/cm³, se obtuvo un CBR de diseño de 54.03 %, que se encuentra dentro de los límites permisibles para el afirmado. Estas propiedades repercuten de manera positiva la durabilidad del afirmado.

Resultado:

TABLA N° 28 Resultados CBR con dosificación de fibra al 0.1 %.

Compactación	Densidad	CBR
Al 95 %	1.824	29.73
Al 100 %	1.920	54.03

Fuente: Elaboración propia

Discusión frente a los Antecedentes:

De acuerdo a los Antecedentes Nacionales del Autor GARCIA AYMAR PEDRO ANTONIO: Al aumentar la dosificación de fibra sintética el asentamiento obtenido será menor, independientemente de la relación agua – cemento. Aquí, es donde actúa el aditivo Poliheed 770R controlando la trabajabilidad del concreto con fibras sintéticas, de similar forma sucede con nuestra Fibra SikaCem -1 Fiber con dosificación al 0.1 % del peso de afirmado suelto, se reduce el espesor del Afirmado en función al incremento del CBR producto de la añadidura de fibra, siendo la máxima reducción de espesor 2 cm, lo cual significaría un ahorro del 10% de afirmado. La dosificación que nos permite disminuir el espesor es de 0.10% de fibra sintética.

TABLA N° 29 Espesor de Diseño de afirmado (cm)

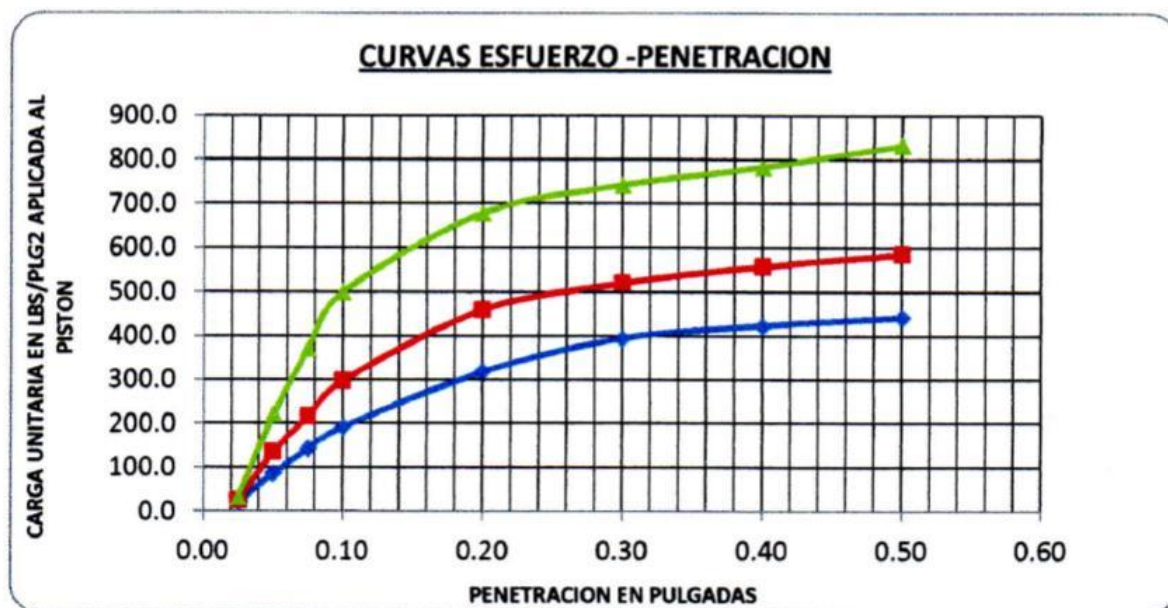
CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR)	CBR (%)	Mr(PSI)	Número estructural a3	Espesor (cm)
Afirmado sin adición de fibra sintética	40	16,199.09	0.11655439	20.00
Afirmado con dosificación de fibra sintética a 0.1% del peso del suelo	54.03	17,499.75	0.12416822	18.00

Fuente: Elaboración propia

Por lo que se concluye que es OPTIMO para diseño de Afirmado

4.3.2.1.2. CBR CON DOSIFICACIÓN DE FIBRA AL 0.5% DEL PESO DE AFIRMADO SUELTO

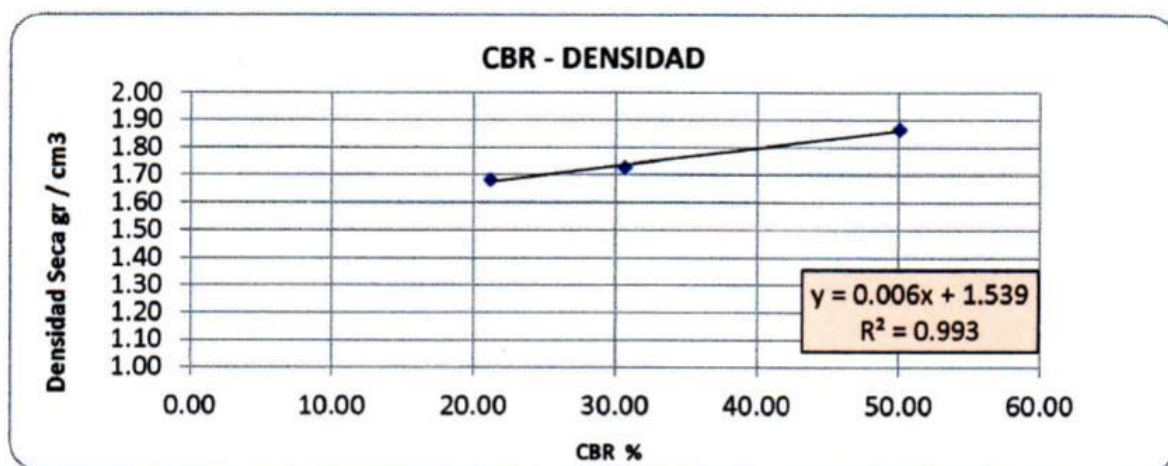
FIGURA N° 40 CURVA ESFUERZO PENETRACIÓN PARA 0.5% DE FIBRA.



Fuente: Elaboración propia

Para el caso **CURVA ESFUERZO PENETRACIÓN PARA 0.5% DE FIBRA**, se realizó 3 ensayos de CBR el primero de color verde con 56 golpes, color rojo de 25 golpes y el color azul de 12 golpes, donde se tienen los siguientes resultados en 0.5 pulg corresponde 444.04lb/pulg2 (12 golpes), 585.58 lb/pulg2 (25 golpes), 831.70 lb/pulg2 (56 golpes), de la misma forma para penetración desde 0.1pulg hasta 0.4 pulg.

FIGURA N° 41 RECTA DE CBR-DENSIDAD PARA 0.5% DE FIBRA



Fuente: Elaboración propia

De la gráfica, para al grado de compactación de 95 % para una densidad seca de 1.824 gr/cm³, se obtuvo un CBR de diseño de 44.04 %, que se encuentra dentro de los límites permisibles para la base, así mismo se determinó para el afirmado que viene a ser la capa de rodadura con un grado de compactación del 100 %, para una densidad seca de 1.920 gr/cm³, se obtuvo un CBR de diseño de 58.90 %, que se encuentra dentro de los límites permisibles para el afirmado. Estas propiedades repercuten de manera positiva la durabilidad del afirmado.

Resultado:

TABLA N° 30 Resultados CBR con dosificación de fibra al 0.5 %.

Compactación	Densidad	CBR
Al 95 %	1.824	44.04
Al 100 %	1.920	58.90

De acuerdo a los Antecedentes Nacionales del Autor GARCIA AYMAR PEDRO ANTONIO: Al aumentar la dosificación de fibra sintética el asentamiento obtenido será menor, independientemente de la relación agua – cemento. Aquí, es donde actúa el aditivo Poliheed 770R controlando la trabajabilidad del concreto con fibras sintéticas, de similar forma sucede con nuestra Fibra SikaCem -1 Fiber con dosificación al 0.5 % del peso de afirmado suelto, se reduce el espesor del Afirmado en función al incremento del CBR producto de la añadidura de fibra, siendo la máxima reducción de espesor 2 cm, lo cual significaría un ahorro del 10% de afirmado. La dosificación que nos permite disminuir el espesor es de 0.50% de fibra sintética.

TABLA N° 31 Espesor de Diseño de afirmado (cm).

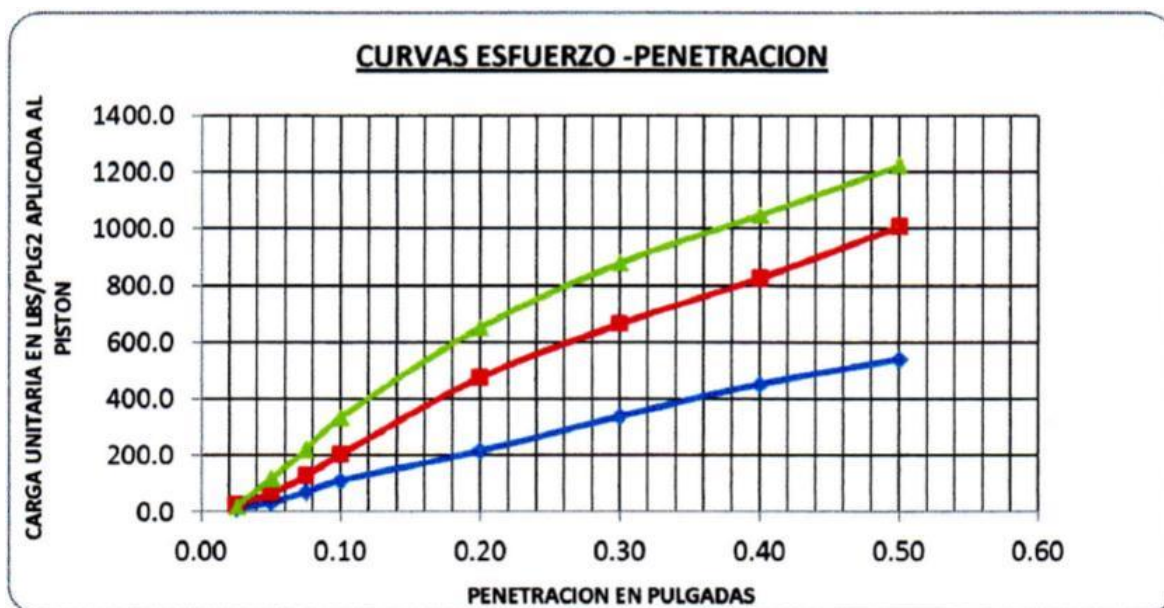
CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR)	CBR (%)	Mr(PSI)	Número estructural a3	Espesor (cm)
Afirmado sin adición de fibra sintética	40	16,199.09	0.11655439	20.00
Afirmado con dosificación de fibra sintética a 0.5% del peso del suelo	58.9	17,873.09	0.12624931	18.00

Fuente: Elaboración propia

Por lo que se concluye que es REGULAR para diseño de Afirmado

4.3.2.1.3. CBR CON DOSIFICACIÓN DE FIBRA AL 1.0 % DEL PESO DE AFIRMADO SUELTO.

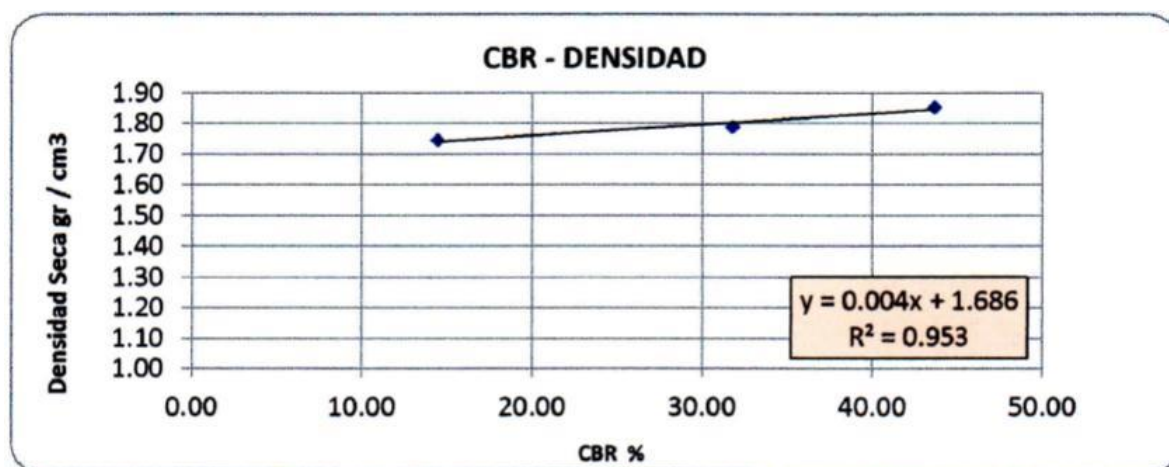
FIGURA N° 42 CURVA ESFUERZO PENETRACIÓN PARA 1.0% DE FIBRA



Fuente: Elaboración propia

Para el caso **CURVA ESFUERZO PENETRACIÓN PARA 1.0% DE FIBRA**, se realizó 3 ensayos de CBR el primero de color verde con 56 golpes, color rojo de 25 golpes y el color azul de 12 golpes, donde se tienen los siguientes resultados en 0.5 pulg corresponde 541.20lb/pulg2 (12 golpes), 1006.51 lb/pulg2 (25 golpes), 1224.75 lb/pulg2 (56 golpes), de la misma forma para penetración desde 0.1pulg hasta 0.4 pulg.

FIGURA N° 43 RECTA DE CBR-DENSIDAD PARA 1.0 % DE FIBRA



Fuente: Elaboración propia

De la gráfica, para al grado de compactación de 95 % para una densidad seca de 1.824 gr/cm³, se obtuvo un CBR de diseño de 37.86 %, que se encuentra dentro de los límites permisibles para la base, así mismo se determinó para el afirmado que viene a ser la capa de rodadura con un grado de compactación del 100 %, para una densidad seca de 1.920 gr/cm³, se obtuvo un CBR de diseño de 64.23 %, que se encuentra dentro de los límites permisibles para el afirmado. Estas propiedades repercuten de manera positiva la durabilidad del afirmado.

Resultado:

TABLA N° 32 Resultados CBR con dosificación de fibra al 1.0 %.

Compactación	Densidad	CBR
Al 95 %	1.824	37.86
Al 100 %	1.920	64.23

De acuerdo a los Antecedentes Nacionales del Autor GARCIA AYMAR PEDRO ANTONIO: Al aumentar la dosificación de fibra sintética el asentamiento obtenido será menor, independientemente de la relación agua – cemento. Aquí, es donde actúa el aditivo Poliheed 770R controlando la trabajabilidad del concreto con fibras sintéticas, de similar forma sucede con nuestra Fibra SikaCem -1 Fiber con dosificación al 1.0 % del peso de afirmado suelto, se reduce el espesor del Afirmado en función al incremento del CBR producto de la añadidura de fibra, siendo la máxima reducción de espesor 2 cm, lo cual significaría un ahorro del 10% de afirmado. La dosificación que nos permite disminuir el espesor es de 0.50% de fibra sintética.

TABLA N° 33 Espesor de Diseño de afirmado (cm)

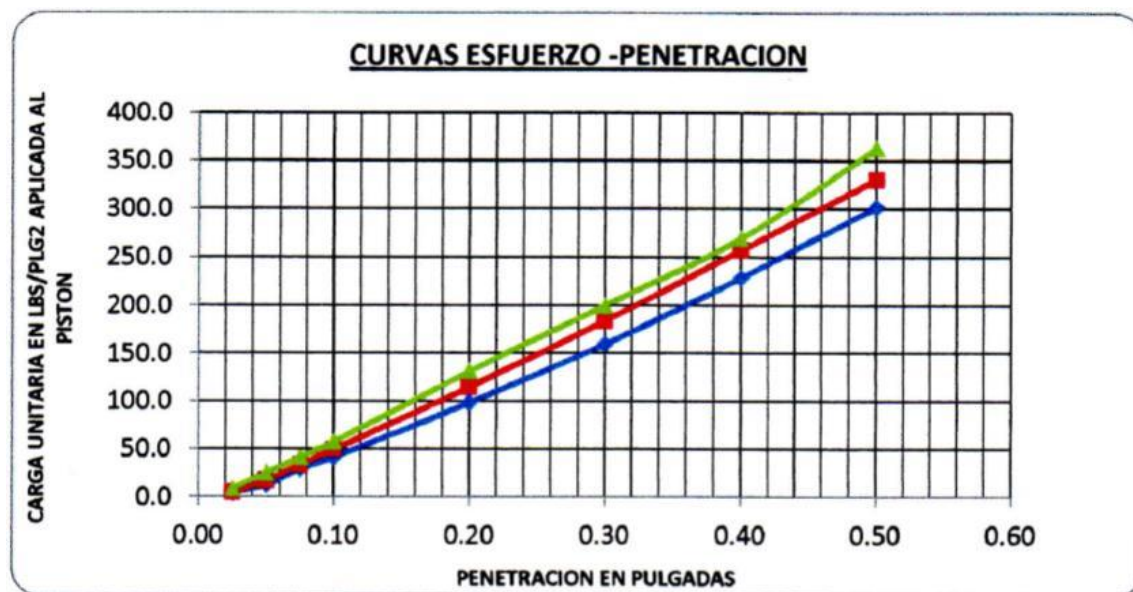
CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR)	CBR (%)	Mr(PSI)	Número estructural a3	Espesor (cm)
Afirmado sin adición de fibra sintética	40	16,199.09	0.11655439	20.00
Afirmado con dosificación de fibra sintética a 1.0% del peso del suelo	64.23	18,247.85	0.12829504	18.00

Fuente: Elaboración propia

Por lo que se concluye que es REGULAR para diseño de Afirmado

4.3.2.1.4. CBR CON DOSIFICACIÓN DE FIBRA AL 2.0 % DEL PESO DE AFIRMADO SUELTO.

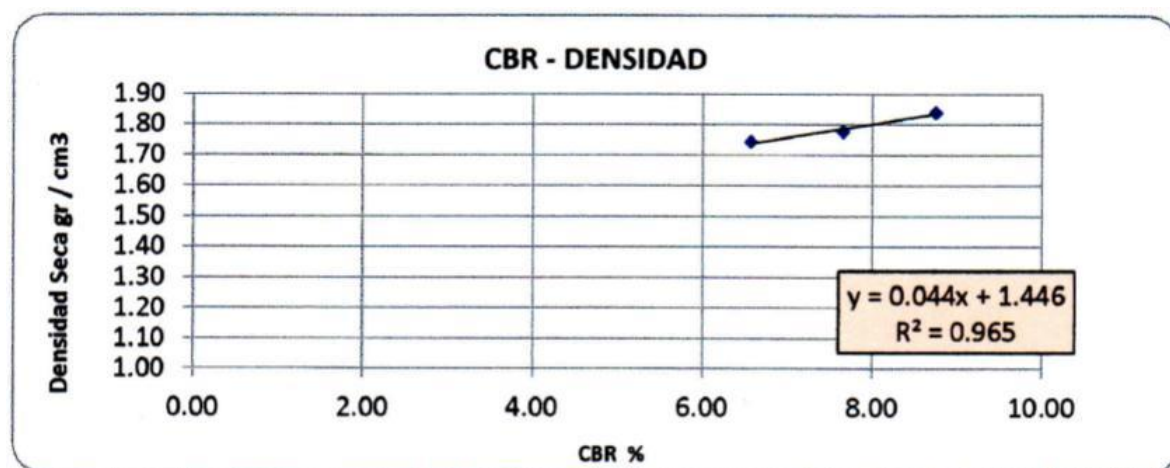
FIGURA N° 44 CURVA ESFUERZO PENETRACIÓN PARA 2.0% DE FIBRA.



Fuente: Elaboración propia

Para el caso **CURVA ESFUERZO PENETRACIÓN PARA 2.0% DE FIBRA**, se realizó 3 ensayos de CBR el primero de color verde con 56 golpes, color rojo de 25 golpes y el color azul de 12 golpes, donde se tienen los siguientes resultados en 0.5 pulg corresponde 302.06lb/pulg² (12 golpes), 330.48 lb/pulg² (25 golpes), 362.95 lb/pulg² (56 golpes), de la misma forma para penetración desde 0.1pulg hasta 0.4 pulg.

FIGURA N° 45 RECTA DE CBR-DENSIDAD PARA 2.0 % DE FIBRA



Fuente: Elaboración propia

De la gráfica, para al grado de compactación de 95 % para una densidad seca de 1.824 gr/cm³, se obtuvo un CBR de diseño de 8.51 %, que se encuentra dentro de los límites permisibles para la base, así mismo se determinó para el afirmado que viene a ser la capa de rodadura con un grado de compactación del 100 %, para una densidad seca de 1.920 gr/cm³, se obtuvo un CBR de diseño de 10.68 %, que se encuentra dentro de los límites permisibles para el afirmado. Estas propiedades repercuten de manera positiva la durabilidad del afirmado.

Resultado:

TABLA N° 34 Resultados CBR con dosificación de fibra al 2.0 %.

Compactación	Densidad	CBR
Al 95 %	1.824	8.51
Al 100 %	1.920	10.68

De acuerdo a los Antecedentes Nacionales del Autor GARCIA AYMAR PEDRO ANTONIO: Al aumentar la dosificación de fibra sintética el asentamiento obtenido será menor, independientemente de la relación agua – cemento. Aquí, es donde actúa el aditivo Poliheed 770R controlando la trabajabilidad del concreto con fibras sintéticas, de similar forma sucede con nuestra Fibra SikaCem -1 Fiber con dosificación al 2.0 % del peso de afirmado suelto, se incrementa el espesor del Afirmado en función al incremento del CBR producto de la añadidura de fibra, siendo el máximo incremento de espesor 11 cm, lo cual significaría un gasto sobre el 50% de afirmado. La dosificación que nos permite aumentar el espesor es de 2.0% de fibra sintética.

TABLA N° 35 Espesor de Diseño de afirmado (cm).

CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR)	CBR (%)	Mr(PSI)	Número estructural a3	Espesor (cm)
Afirmado sin adición de fibra sintética	40	16,199.09	0.11655439	20.00
Afirmado con dosificación de fibra sintética a 2.0% del peso del suelo	10.68	10,486.58	0.07368390	31.00

Fuente: Elaboración propia

Por lo que se concluye que es MALO para diseño de Afirmado

4.3.2.2. Ensayo De Corte Directo

Los ensayos de Corte directo se hicieron con la finalidad de poder comprobar la resistencia al corte del afirmado y poder compararlo con un

modelo matemático.

Se realizaron los ensayos mediante las siguientes dosificaciones.

Afirmado sin refuerzo y con fibra sintética.

- Dosificación al 0.1% del peso de suelo en estado suelto.
- Dosificación al 0.5% del peso de suelo en estado suelto.
- Dosificación al 1.0% del peso de suelo en estado suelto.
- Dosificación al 2.0% del peso de suelo en estado suelto.

4.3.2.3. Afirmado sin refuerzo de fibra sintética.

TABLA N° 36 AFIRMADO SIN REFUERZO DE FIBRA SINTÉTICA.

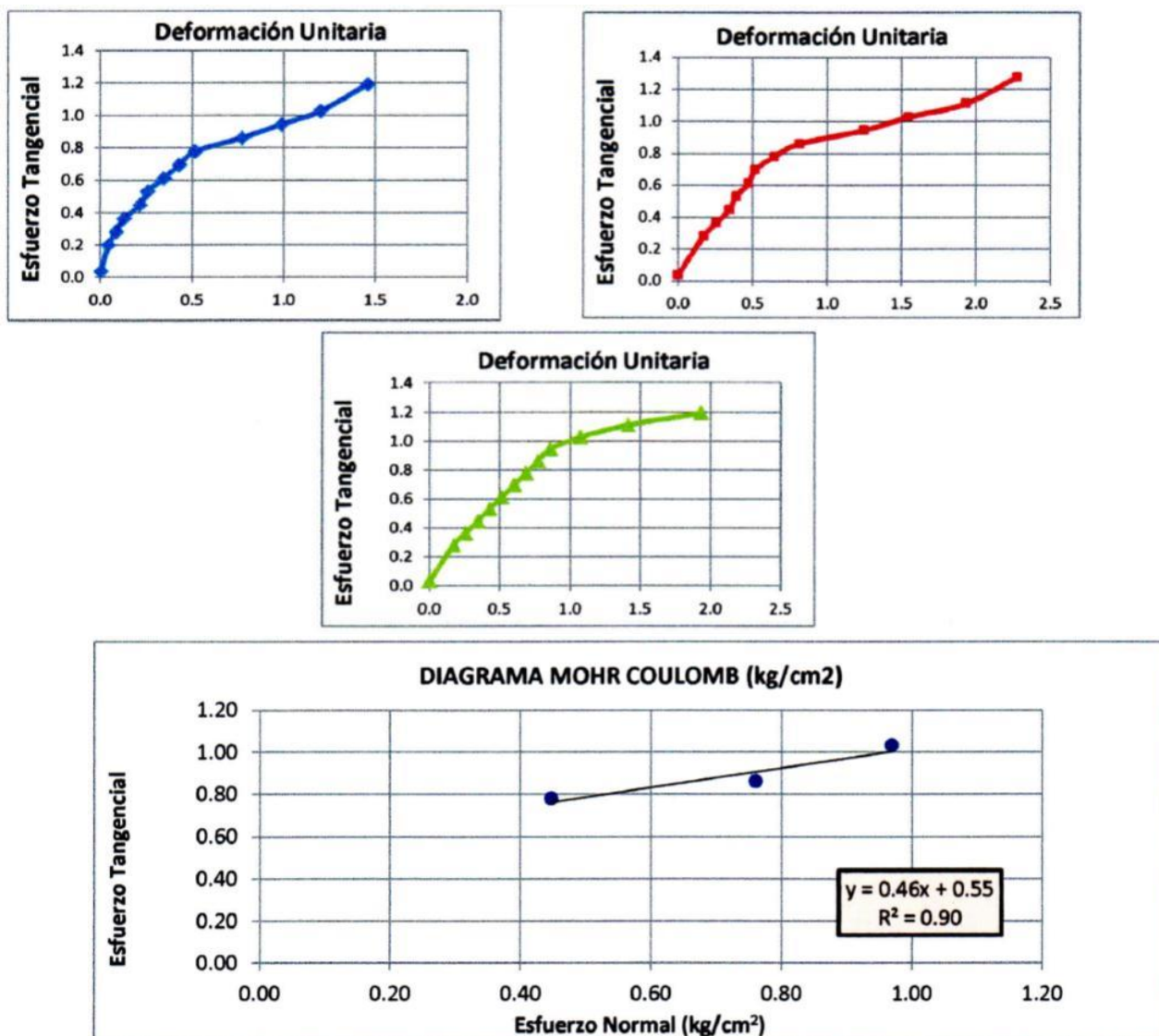
SIN FIBRA			
Wn=	17.71	Kg.	
DATOS DE ENSAYO			
Lecturas			Est.
W	Def	Unit	Tang.
Kg.	mm	%	Kg.
Psi	0	0	0.04
p/ps	0	0	0.04
4	1	0	0.2
6	2	0.1	0.28
8	3	0.1	0.37
10	5	0.2	0.45
12	6	0.3	0.53
14	8	0.3	0.61
16	10	0.4	0.7
18	12	0.5	0.78
20	18	0.8	0.86
22	23	1	0.94
24	28	1.2	1.03
28	34	1.5	1.19

SIN FIBRA			
Wn=	31.4	Kg.	
DATOS DE ENSAYO			
Lecturas			Est.
W	Def	Unit	Tang.
Kg.	mm	%	Kg.
Psi	0	0	0.04
p/ps	0	0	0.04
6	4	0.2	0.28
8	6	0.3	0.37
10	8	0.3	0.45
12	9	0.4	0.53
14	11	0.5	0.61
16	12	0.5	0.7
18	15	0.6	0.78
20	19	0.6	0.86
22	29	1.2	0.94
24	36	1.5	1.03
26	45	1.9	1.11
30	53	2.3	1.26

SIN FIBRA			
Wn=	40.5	Kg.	
DATOS DE ENSAYO			
Lecturas			Est.
W	Def	Unit	Tang.
Kg.	mm	%	Kg.
Psi	0	0	0.04
p/ps	0	0	0.04
6	4	0.2	0.28
8	6	0.3	0.37
10	8	0.3	0.45
12	10	0.4	0.53
14	12	0.5	0.61
16	14	0.6	0.7
18	16	0.7	0.78
20	18	0.8	0.86
22	20	0.9	0.94
24	25	1.1	1.03
26	33	1.4	1.11
28	45	1.9	1.19

Fuente: Elaboración propia

FIGURA N° 46 CURVAS ESFUERZO DEFORMACION SIN FIBRA.



Fuente: Elaboración propia

Resultado:

Esfuerzo Normal	0.45	0.76	0.97	Angulo de fricción interna = 24.78°
Esfuerzo Tangencial	0.78	0.86	1.03	Cohesión = 0.55 kg/cm²

Se aplicaron cargas de 17.71, 31.40 y 40.50 kg de peso. Que actúan sobre el plano de la fuerza tangencial aplicada a velocidad constante. La magnitud de la fuerza horizontal se mide con un dial de carga. En los gráficos de deformación y esfuerzo se tomó los esfuerzos tangenciales próximos al límite de elasticidad del suelo, siendo de un régimen elástico lineal.

4.3.2.4. Corte directo con dosificación del 0.1 % del peso del afirmado suelto.

TABLA N° 37 CORTE DIRECTO CON DOSIFICACIÓN DEL 0.1 % DEL PESO DEL AFIRMADO SUELTO.

CON 0.1% DE FIBRA SINTETICA			
Wn=	17.71 Kg.		
DATOS DE ENSAYO			
Lecturas			Est.
W	Def	Unit	Tang.
Kg.	mm	%	Kg.
Psi	0	0	0.04
p/ps	0	0	0.04
4	2	0.1	0.2
6	4	0.2	0.28
8	6	0.3	0.37
10	8	0.3	0.45
12	10	0.4	0.53
14	11	0.5	0.61
16	13	0.6	0.7
18	17	0.7	0.78
20	23	1	0.86
22	29	1.2	0.94
24	35	1.5	1.03
26	41	1.8	1.11

CON 0.1% DE FIBRA SINTETICA			
Wn=	31.4 Kg.		
DATOS DE ENSAYO			
Lecturas			Est.
W	Def	Unit	Tang.
Kg.	mm	%	Kg.
Psi	0	0	0.04
p/ps	0	0	0.04
4	4	0.2	0.2
6	6	0.3	0.28
8	8	0.3	0.37
10	10	0.4	0.45
12	11	0.5	0.53
14	13	0.6	0.61
16	15	0.6	0.7
18	16	0.7	0.78
20	18	0.8	0.86
22	21	0.9	0.94
24	28	1.2	1.03
26	38	1.6	1.11

CON 0.1% DE FIBRA SINTETICA			
Wn=	40.5 Kg.		
DATOS DE ENSAYO			
Lecturas			Est.
W	Def	Unit	Tang.
Kg.	mm	%	Kg.
Psi	0	0	0.04
p/ps	0	0	0.04
6	4	0.2	0.28
8	6	0.3	0.37
10	8	0.3	0.45
12	10	0.4	0.53
14	12	0.5	0.61
16	14	0.6	0.7
18	16	0.7	0.78
20	18	0.8	0.86
22	20	0.9	0.94
24	22	0.9	1.03
26	28	1.2	1.11
28	37	1.6	1.19
30	44	1.9	1.28

Fuente: Elaboración propia

Interpretación de los gráficos de esfuerzo deformación

En los gráficos de esfuerzo contra deformación se busca los puntos en correlación con una línea recta.

Los puntos experimentales van alineados en una línea recta. Esta es la zona elástica, en esta zona se aplica esfuerzos al suelo produciendo una deformación y este regresa a su estado original.

Al aplicarle más esfuerzo llegamos a una zona plástica. Los suelos se deforman y no vuelve a su estado original

Al aplicarle más esfuerzo llegamos a un punto de falla del suelo.

Por lo tanto, tomamos el esfuerzo tangencial que se encuentre dentro de la zona elástica para el diseño en todos los casos.

FIGURA N° 48 CURVAS ESFUERZO DEFORMACION PARA 0.1% DE FIBRA.

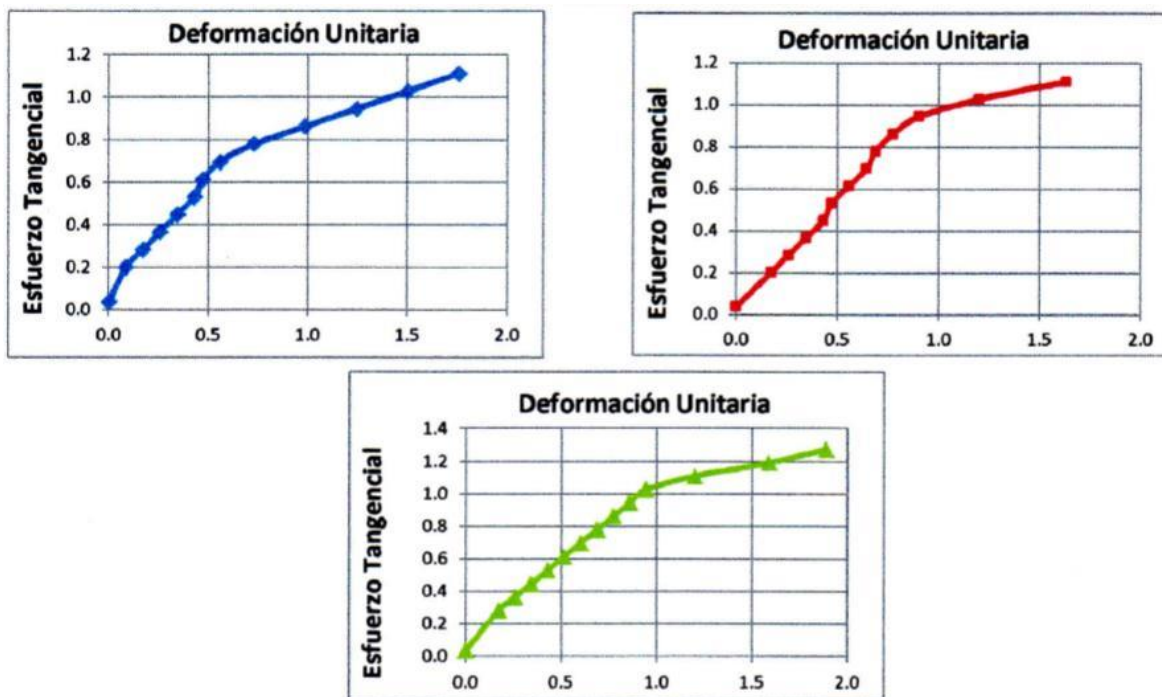
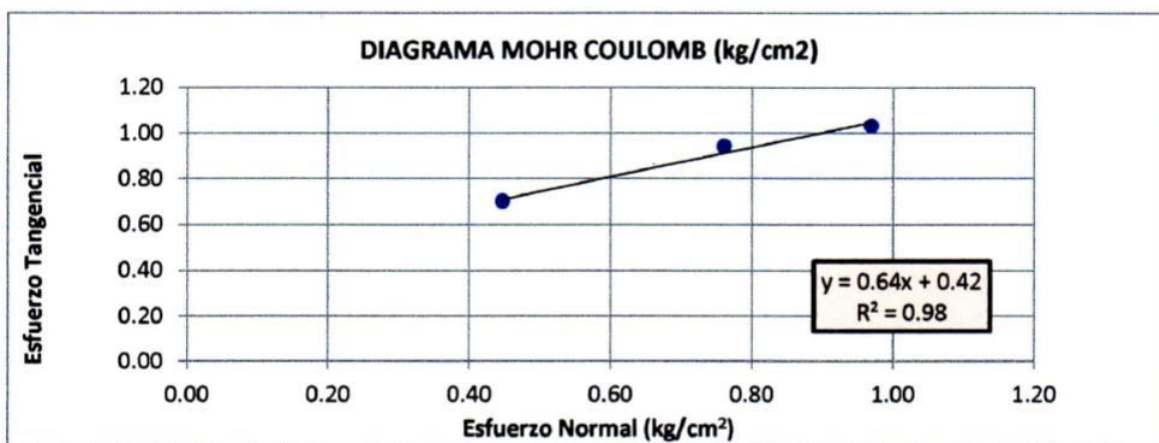


FIGURA N° 49 DIAGRAMA MOHR COULOMB PARA 0.1% DE FIBRA.



Fuente: Elaboración propia

Resultado:

Esfuerzo Normal	0.45		0.76	0.97	Angulo de fricción interna = 32.76°
Esfuerzo	0.70		0.94	1.03	Cohesión = 0.42 kg/cm²

En cuanto al corte directo, en general se observa que la cohesión presenta disminución de 0.55 a 0.42 kg/cm², siendo la diferencia de 0.13 kg/cm², mientras que el ángulo de rozamiento interno experimenta aumentos significativos en la mezcla con fibra sintética. Dicho aumento llega a ser de 7.98°.

4.3.2.5. Corte directo con dosificación del 0.5 % del peso del afirmado suelto.

FIGURA N° 50 CURVAS ESFUERZO DEFORMACION PARA 0.5% DE FIBRA.

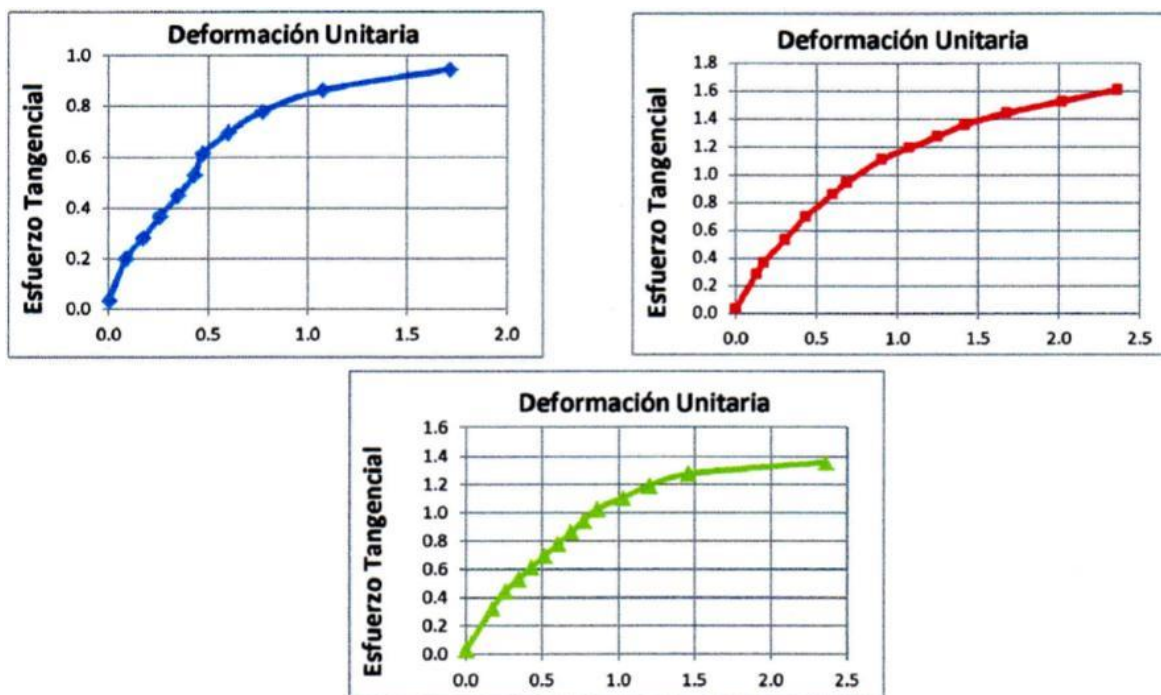
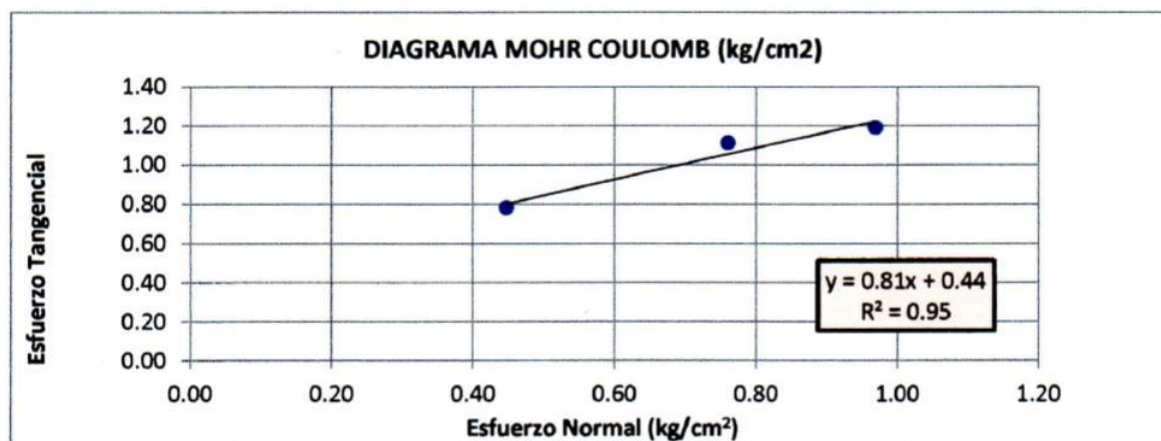


FIGURA N° 51 DIAGRAMA MOHR COULOMB PARA 0.5% DE FIBRA.



Fuente: Elaboración propia

Resultado:

Esfuerzo Normal	0.45	0.76	0.97	Angulo de fricción interna = 38.92°
Esfuerzo	0.78	1.11	1.19	Cohesión = 0.44 kg/cm²

En cuanto al corte directo, en general se observa que la cohesión presenta disminución de 0.55 a 0.44 kg/cm², siendo la diferencia de 0.11 kg/cm², mientras que el ángulo de rozamiento interno experimenta aumentos significativos en la mezcla con fibra sintética. Dicho aumento llega a ser de 14.14°.

4.3.2.6. Corte directo con dosificación del 1.0 % del peso del afirmado suelto.

FIGURA N° 52 CURVAS ESFUERZO DEFORMACION PARA 1.0% DE FIBRA.

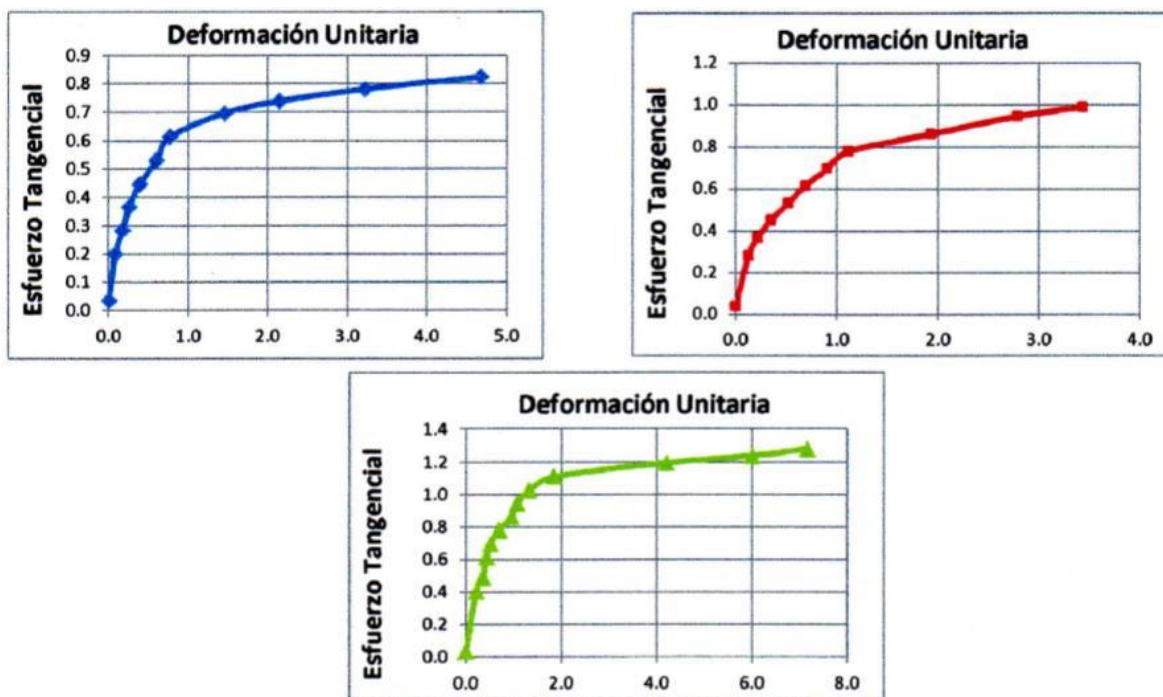
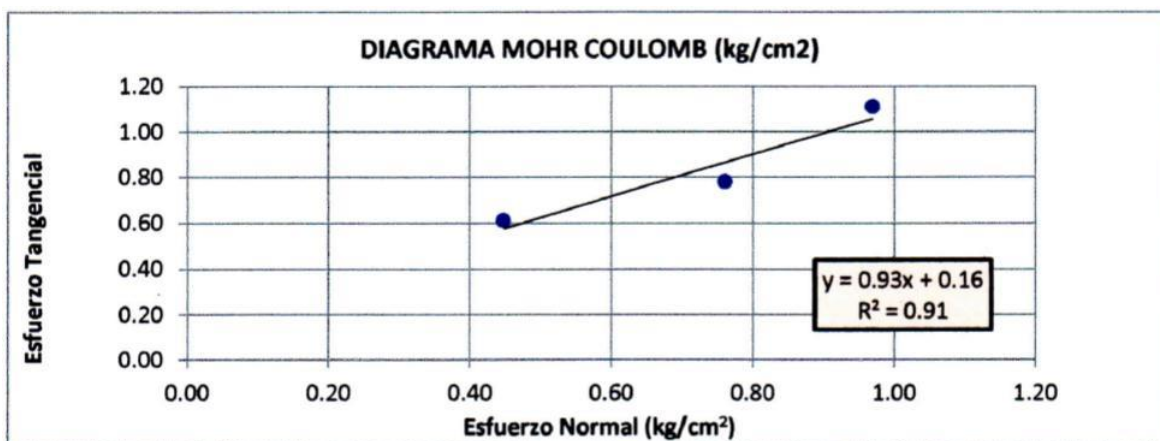


FIGURA N° 53 DIAGRAMA MOHR COULOMB PARA 1.0% DE FIBRA.



Fuente: Elaboración propia

Resultado:

Esfuerzo Normal	0.45	0.76	0.97	Angulo de fricción interna = 42.80°
Esfuerzo	0.61	0.78	1.11	Cohesión = 0.16 kg/cm²

En cuanto al corte directo, en general se observa que la cohesión presenta disminución de 0.55 a 0.16 kg/cm², siendo la diferencia de 0.39 kg/cm², mientras que el ángulo de rozamiento interno experimenta aumentos significativos en la mezcla con fibra sintética. Dicho aumento llega a ser de 18.02°.

4.3.2.7. Corte directo con dosificación del 2.0 % del peso del afirmado suelto.

FIGURA N° 54 CURVAS ESFUERZO DEFORMACION PARA 2.0% DE FIBRA.

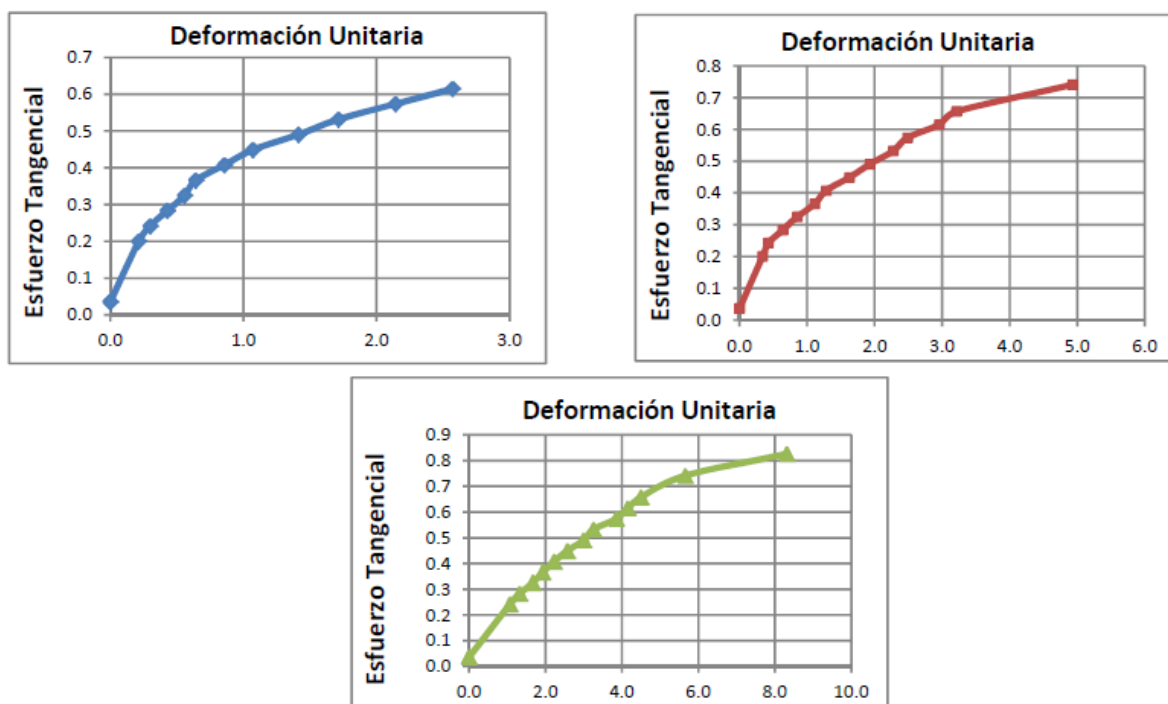
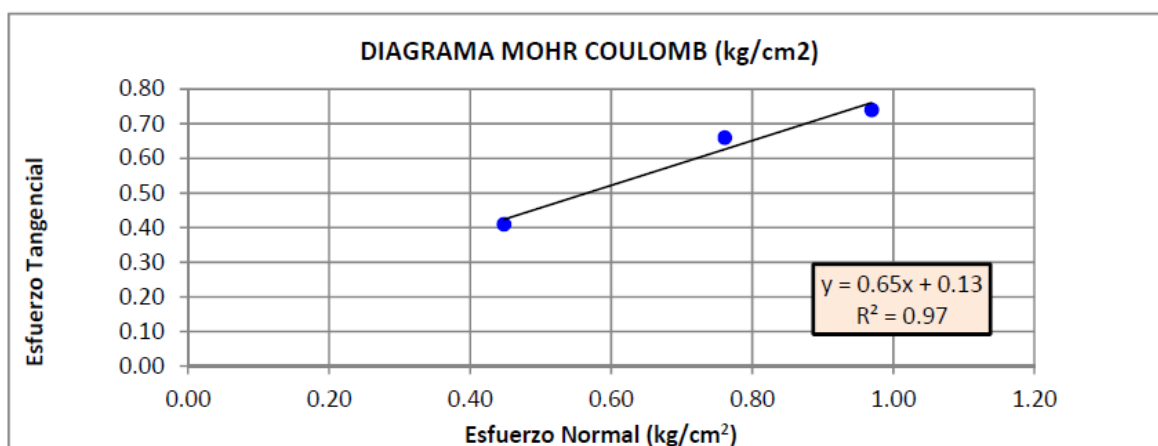


FIGURA N° 55 DIAGRAMA MOHR COULOMB PARA 2.0% DE FIBRA.



Fuente: Elaboración propia

Resultado:

Esfuerzo Normal	0.45	0.76	0.97	Angulo de fricción interna = 32.86°
Esfuerzo	0.41	0.66	0.74	Cohesión = 0.13 kg/cm²

En cuanto al corte directo, en general se observa que la cohesión presenta disminución de 0.55 a 0.13 kg/cm², siendo la diferencia de 0.42 kg/cm², mientras que el ángulo de rozamiento interno experimenta aumentos significativos en la mezcla con fibra sintética. Dicho aumento llega a ser de 8.08°.

CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR)	CBR (%)	Mr(PSI)	Número estructural a3	Espesor (cm)
Afirmado sin adición de fibra sintetica	40	16,199.09	0.11655439	20.00
Afirmado con dosificación de fibra sintetica a 0.1% del peso del suelo	54.03	17,499.75	0.12416822	18.00
Afirmado con dosificación de fibra sintetica a 0.5% del peso del suelo	58.9	17,873.09	0.12624931	18.00
Afirmado con dosificación de fibra sintetica a 1.0% del peso del suelo	64.23	18,247.85	0.12829504	18.00
Afirmado con dosificación de fibra sintetica a 2.0% del peso del suelo	10.68	10,486.58	0.07368390	31.00

Fuente: Elaboración propia

En el caso del CBR, se hizo un análisis que compara cuanto podría reducir el espesor del afirmado en función al incremento del CBR producto de la añadidura de fibra, en este caso resulto como máxima reducción de espesor 2 cm, lo cual significaría un ahorro del 10%. La dosificación que nos permite disminuir el espesor es de 0.1%.

El ensayo de CBR, produjo incrementos; para 0.10% de dosificación de fibra, en 14.03%; para 0.5% de dosificación, en 18.90%; para 1.0% de dosificación en 24.23%; pero para la dosificación de 2.0 % el CBR disminuyo en 29.32%, todos con respecto al afirmado sin fibra sintética.

La dosificación mayor a 1.0 % no es recomendable, ya que las características mecánicas se ven afectadas, esto producto al acolchonamiento que no permite una adecuada homogenización, haciendo que las partículas entren en suficiente contacto.

La capa de afirmado reforzada con fibra sintética, necesitará el 0.10% de fibra para resistir el afirmado y provocar una disminución de 2cm.

Producto de los resultados de laboratorio y teniendo en cuenta las premisas anteriores se ha demostrado que la dosificación optima de fibra de polipropileno será de 0.1 % de fibra, la cual será la definitiva y la resultante de esta investigación.

4.4.2. ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO

El afirmado reforzado ha sido colocado a la salida de la cantera Umuchi – Jipata, el cual ha tenido un excelente comportamiento ante grandes solicitudes, como fue el caso de los volquetes cargados que pasaron innumerables veces por el tramo.

La fibra que no tuvo mucho contacto con el agua se agrupó en pequeños moños, los cuales no presentaron buena adherencia con el afirmado.

La mayor parte del afirmado reforzado presentó una adecuada homogenización, esta condición ha hecho que el tramo se desempeñe muy bien.

Se pudo apreciar que las fibras se adherían con mucha facilidad al material pétreo, esto evidencia que existe un enlace eléctrico, lo cual ha sido evidenciado en las fotografías mostradas, esta condición hace que la adherencia suelo-fibra sea mayor, siendo causa importante para el buen comportamiento que ha tenido el tramo de prueba.

No se presentaron ahuellamientos, encalaminados ni deterioros similares.

Todos los puntos de evaluación pasan el valor de CBR de diseño = 54%.

La observación principal del proceso constructivo ha sido la parte del mezclado del afirmado con la fibra, en este proceso pudo ver que cuando la fibra es mezclada previamente con el agua esta se desagrupa, facilitando su mezcla con el afirmado.

4.5. PRUEBA ESTADÍSTICA

Para la comparación de deformaciones sin refuerzo de fibra sintética ($\bar{X} 1$), versus deformaciones con refuerzo óptimo de fibra sintética ($\bar{X} 2$). Se aplicó el cálculo del coeficiente de correlación r de Pearson de dos muestras.

VARIABLES INDEPENDIENTES.

Deformaciones sin refuerzo de fibra sintética:

– Deformación (mm)

Deformaciones con refuerzo óptimo de fibra sintética:

– Deformación (mm)

VARIABLES DEPENDIENTES:

– $\bar{X} 1$, Deformación (mm) sin refuerzo de fibra sintética

– $\bar{X} 2$, Deformación (mm) con refuerzo de fibra sintética optima

La unidad de medida para las deformaciones será mm. (Milímetros).

REALIZANDO LOS CÁLCULOS PARA DETERMINAR EL COEFICIENTE DE CORRELACIÓN R DE PEARSON DOS MUESTRAS EN EL REFUERZO DE AFIRMADOS

Se determinó la medida de tendencia central, usando la fórmula:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^N X_i}{N} = \frac{X_1 + X_2 + X_3 + \dots + X_N}{N}$$

donde

X_i = es el elemento i de la población

N = es el número de elementos de la población

Se determinó la medida de dispersión como varianza de una muestra usando la fórmula:

$$S^2 = \sum \frac{(X - \bar{X})^2}{n-1}$$

Para la prueba de hipótesis se realizó el cálculo del coeficiente de correlación producto o momento r de Pearson

Ensayo de Hipótesis:

$$H_0; \mu_1 - \mu_2 \neq 0$$

$$H_1; \mu_1 - \mu_2 = 0$$

El estadístico de prueba de correlación de Pearson fue:

La fórmula para el coeficiente de correlación de r de Pearson es la siguiente:

$$r = \frac{\sum (x - \bar{x})(y - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x - \bar{x})^2 \sum (y - \bar{y})^2}}$$

Donde

$\bar{x}$ = Media de muestra promedio de la matriz x

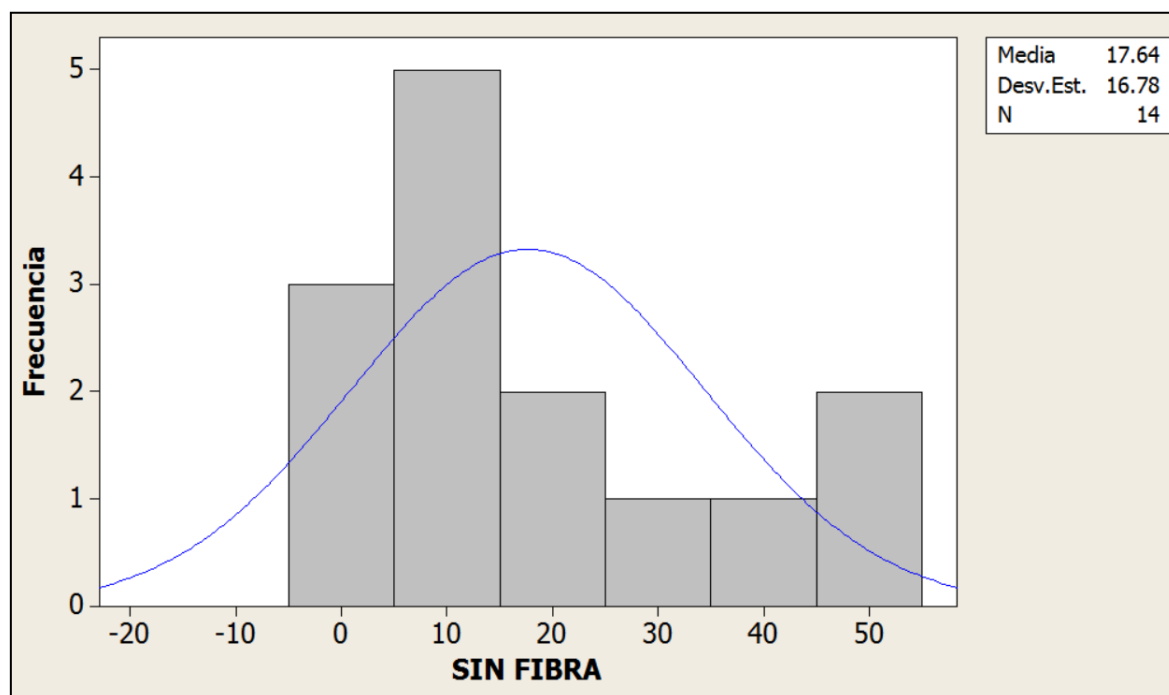
$\bar{y}$ = Media de muestra promedio de la matriz y

**TABLA N° 39 DOSIFICACIÓN DE FIBRA SINTÉTICA (KG) SIN FIBRA SINTÉTICA
COMPARADO CON LA DOSIFICACIÓN DE 0.10% DE FIBRA SINTÉTICA A $W_n = 17.71$ Kg.**

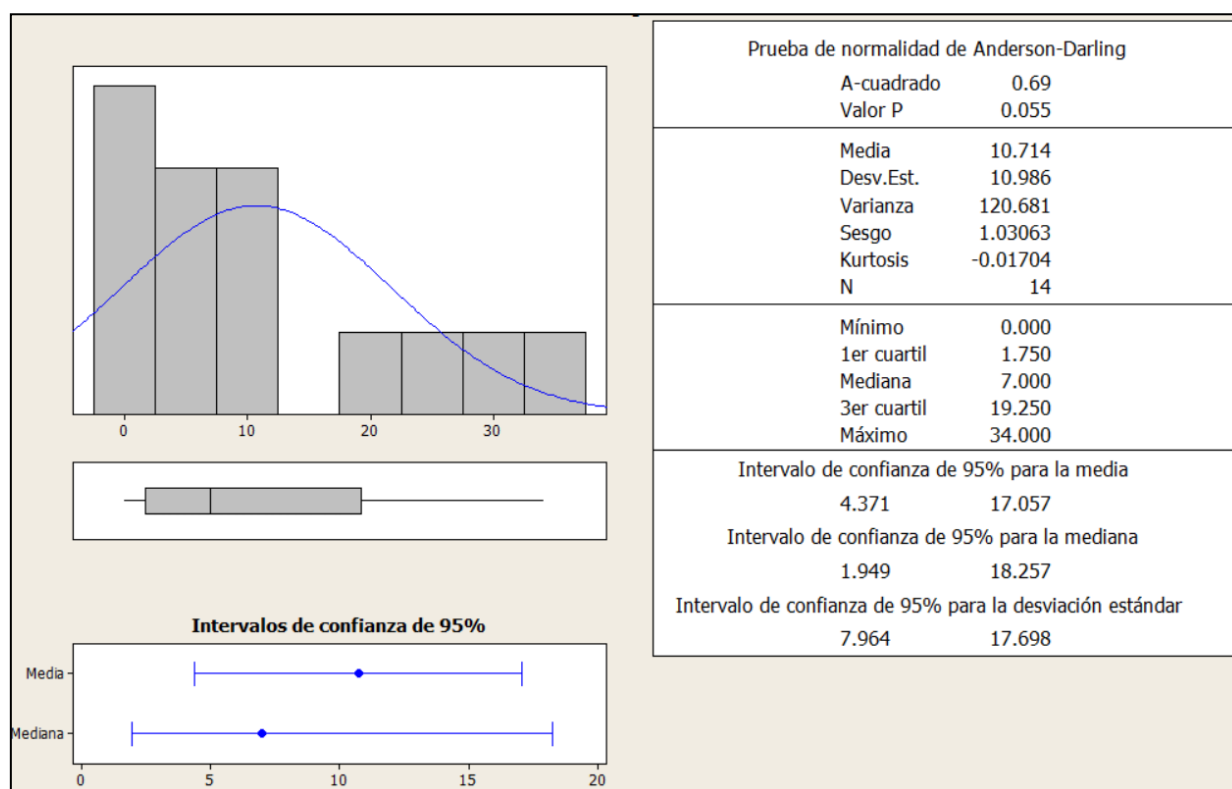
DATO	SIN FIBRA	CON 0.10% DE FIBRA	CÁLCULOS ESTADÍSTICOS			
	Deformación (mm)	Deformación n (mm)	$(X_1 - \bar{X}_1)$	$(X_1 - \bar{X}_1)^2$	$(X_2 - \bar{X}_2)$	$(X_2 - \bar{X}_2)^2$
1	0	0	-10.71	114.80	-14.21	202.05
2	0	0	-10.71	114.80	-14.21	202.05
3	1	2	-9.71	94.37	-12.21	149.19
4	2	4	-8.71	75.94	-10.21	104.33
5	3	6	-7.71	59.51	-8.21	67.47
6	5	8	-5.71	32.65	-6.21	38.62
7	6	10	-4.71	22.22	-4.21	17.76
8	8	11	-2.71	7.37	-3.21	10.33
9	10	13	-0.71	0.51	-1.21	1.47
10	12	17	1.29	1.65	2.79	7.76
11	18	23	7.29	53.08	8.79	77.19
12	23	29	12.29	150.94	14.79	218.62
13	28	35	17.29	298.80	20.79	432.05
14	34	41	23.29	542.22	26.79	717.47
$\sum_{i=1}^n (n)$	150.00	199.00	$\sum (X_1 - \bar{X}_1)^2 = \mathbf{1568.86}$		$\sum (X_2 - \bar{X}_2)^2 = \mathbf{2246.36}$	
$\bar{X} =$	10.71	14.21	$\frac{\sum (X_1 - \bar{X}_1)^2}{n-1} = \mathbf{120.68}$		$\frac{\sum (X_2 - \bar{X}_2)^2}{n-1} = \mathbf{172.80}$	

FUENTE: Elaboración propia

FIGURA N° 56 HISTOGRAMA SIN FIBRA SINTÉTICA CON $W_n = 17.71$ Kg.

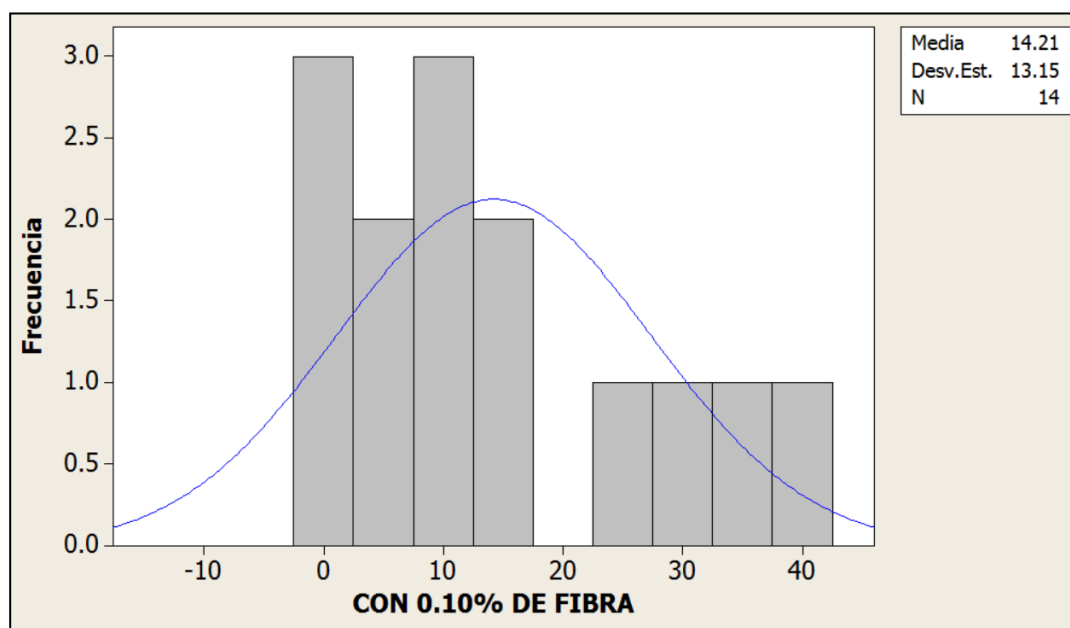


RESUMEN SIN FIBRA

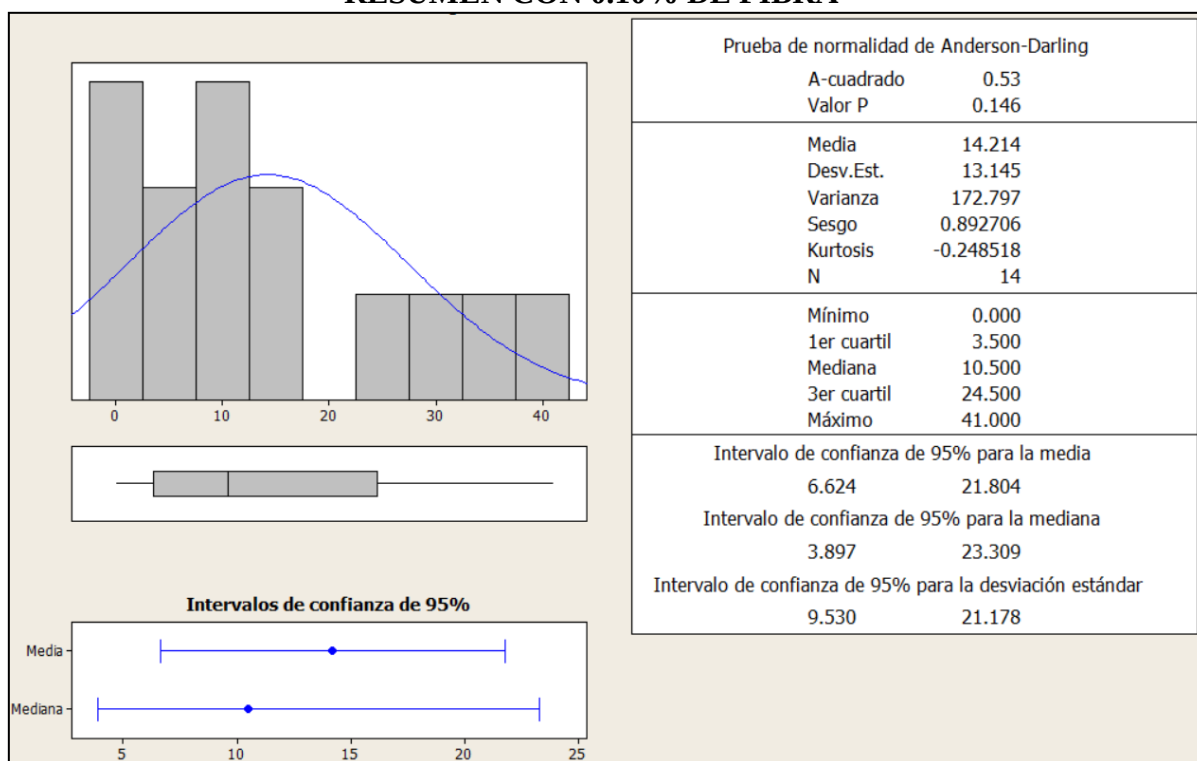


FUENTE: Elaboración propia

FIGURA N° 57 HISTOGRAMA CON 0.10% DE DOSIFICACIÓN DE FIBRA SINTÉTICA CON $W_n = 17.71$ Kg.



RESUMEN CON 0.10% DE FIBRA



FUENTE: Elaboración propia

Del análisis estadístico se obtuvieron los siguientes resultados:

TABLA N° 40 RESULTADOS DEL ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA EL REFUERZO DE FIBRA SINTÉTICA EN AFIRMADOS.

Análisis estadístico para la deformación a $W_n = 17.71\text{kg}$	
Número de datos (sin fibra sintética)	$n_1 = 14$
Número de datos (con dosificación de fibra sintética a 0.10%)	$n_2 = 14$
Media (sin fibra sintética)	$\mu_1 = 10.71\text{ mm}$
Media (con dosificación de fibra sintética a 0.10%)	$\mu_2 = 14.21\text{ mm}$
Varianza (sin fibra sintética)	$S_1^2 = 120.68$
Varianza (con dosificación de fibra sintética a 0.10%)	$S_2^2 = 172.80$
Grados de libertad	$\nu_1 = 28-2 = 26$ y $\nu_2 = 28-2=26$
Correlación perfecta	$[-1 \leq r \leq 1]$
Valor de v:	$v=26$
Intervalo de confianza aproximado del 95%.	$[1.96 \leq x - \bar{y} \leq 1.96]$
Valor del coeficiente de correlación r de Pearson:	0.997

FUENTE: Elaboración propia

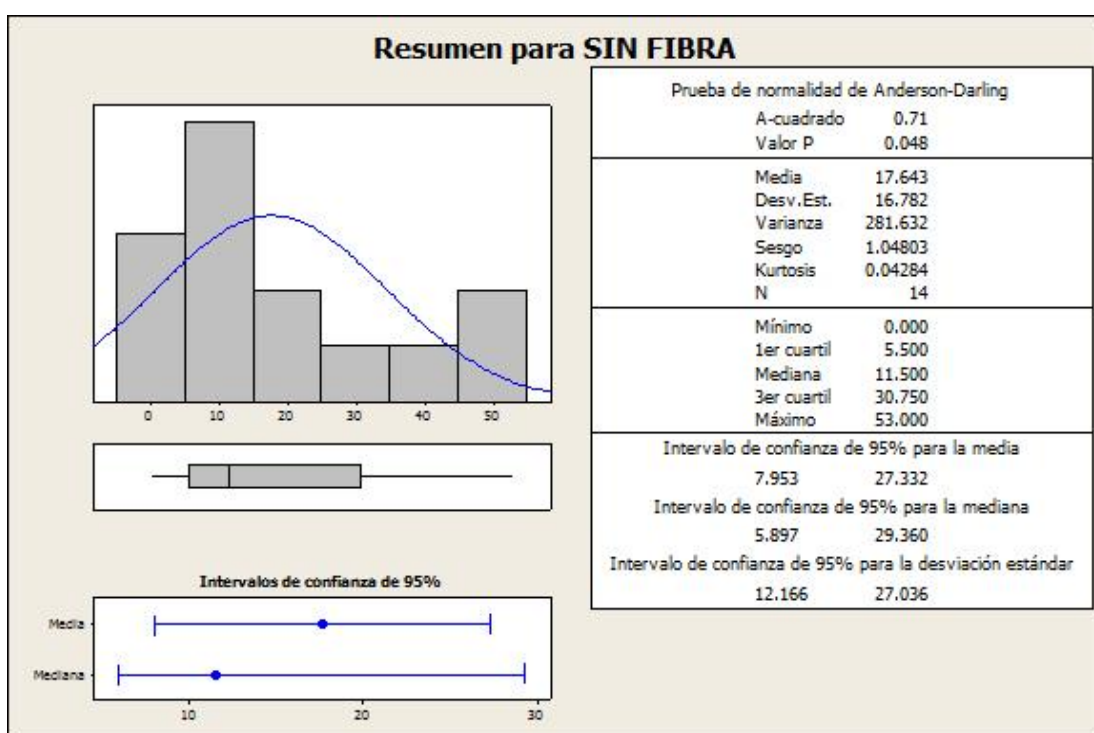
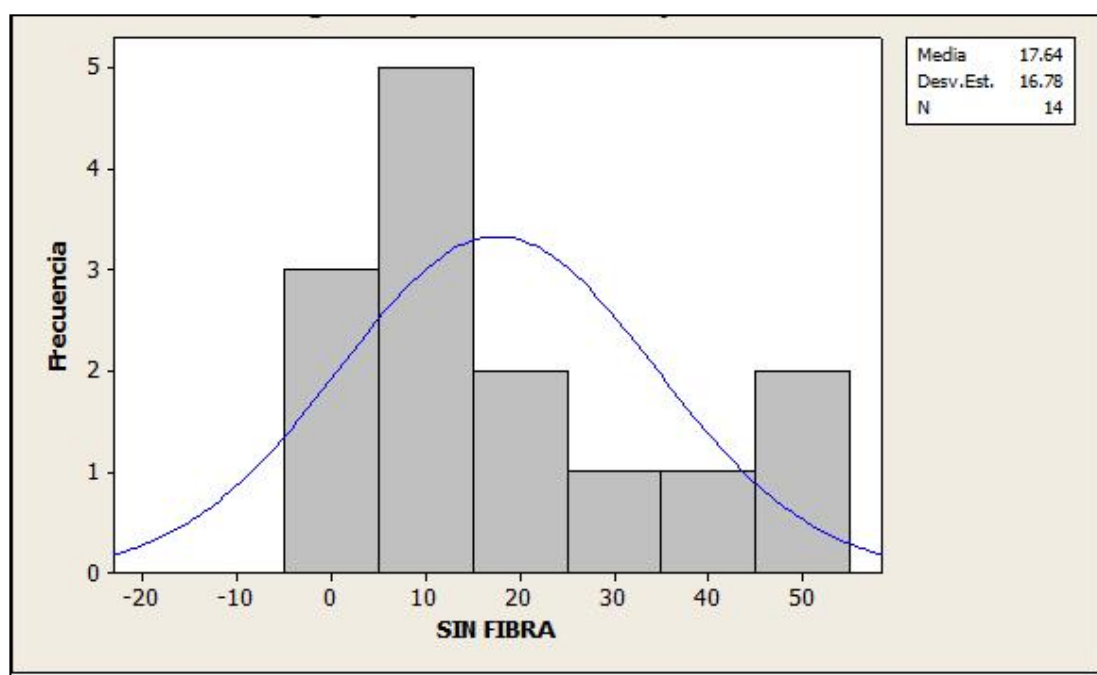
Como $r=0.997$ está en el rango de $(-1 \leq r \leq 1)$, se acepta la hipótesis H_0 , se concluye existe correlación entre la deformación sin fibra versus la deformación con dosificación de fibra sintética optima de 0.1%.

**TABLA N° 41 DOSIFICACIÓN DE FIBRA SINTÉTICA (KG) SIN FIBRA SINTÉTICA
COMPARADO CON LA DOSIFICACIÓN DE 0.10% DE FIBRA SINTÉTICA A $W_n = 31.40$ Kg.**

DATO	SIN FIBRA	CON 0.10% DE FIBRA	CÁLCULOS ESTADÍSTICOS			
	Deformación (mm)	Deformación n (mm)	$(X_1 - \bar{X}_1)$	$(X_1 - \bar{X}_1)^2$	$(X_2 - \bar{X}_2)$	$(X_2 - \bar{X}_2)^2$
1	0	0	-17.64	311.27	-13.43	180.33
2	0	0	-17.64	311.27	-13.43	180.33
3	4	4	-13.64	186.13	-9.43	88.90
4	6	6	-11.64	135.56	-7.43	55.18
5	8	8	-9.64	92.98	-5.43	29.47
6	9	10	-8.64	74.70	-3.43	11.76
7	11	11	-6.64	44.13	-2.43	5.90
8	12	13	-5.64	31.84	-0.43	0.18
9	15	15	-2.64	6.98	1.57	2.47
10	19	16	1.36	1.84	2.57	6.61
11	29	18	11.36	128.98	4.57	20.90
12	36	21	18.36	336.98	7.57	57.33
13	45	28	27.36	748.41	14.57	212.33
14	53	38	35.36	1250.13	24.57	603.76
$\sum_{i=1}^n (n)$	247	188.00	$\sum (X_1 - \bar{X}_1)^2 = \mathbf{3661.21}$		$\sum (X_2 - \bar{X}_2)^2 = \mathbf{1455.43}$	
$\bar{X} =$	17.64	13.43	$\frac{\sum (X_1 - \bar{X}_1)^2}{n-1} = \mathbf{281.63}$		$\frac{\sum (X_2 - \bar{X}_2)^2}{n-1} = \mathbf{111.96}$	

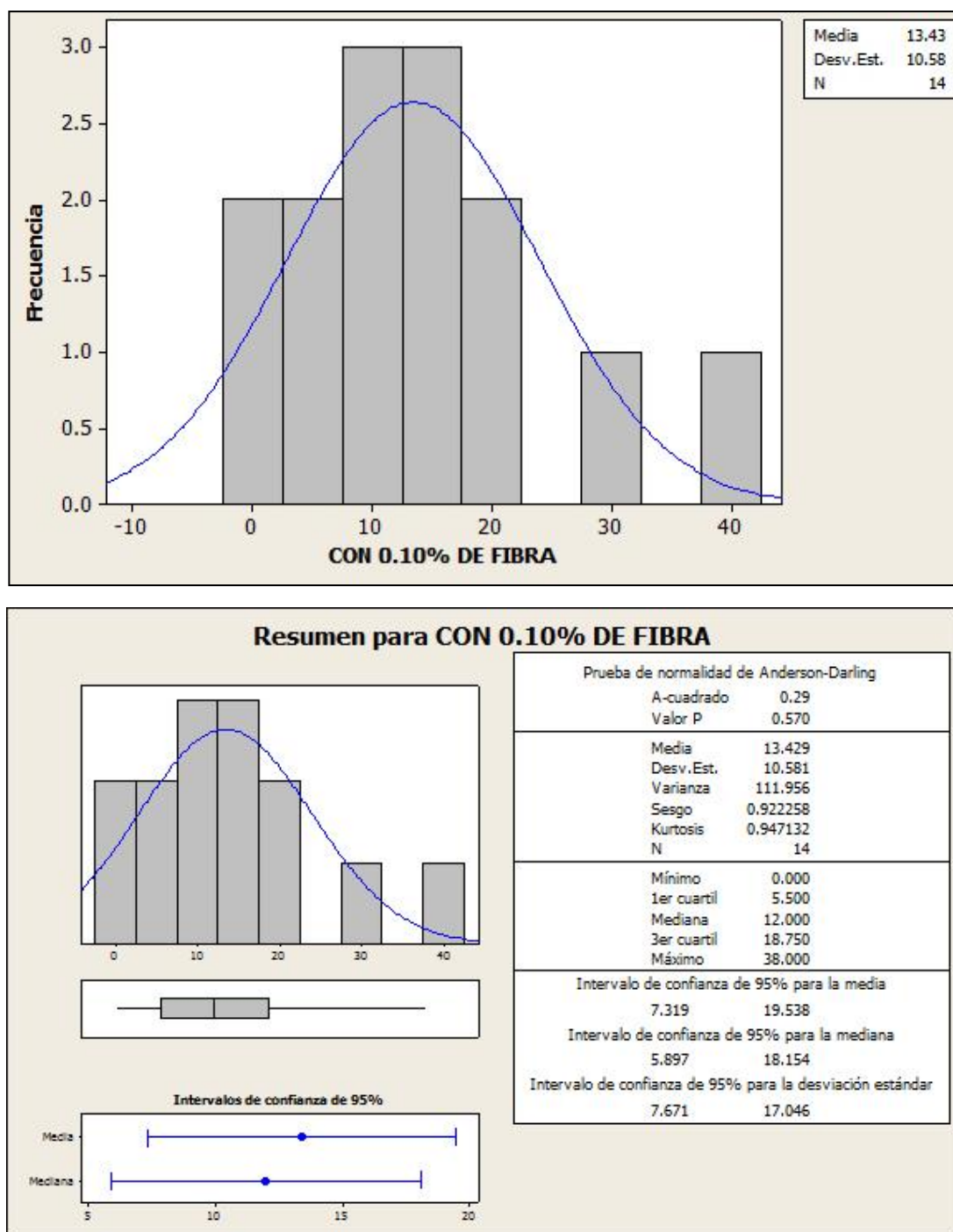
FUENTE: Elaboración propia

FIGURA N° 58 HISTOGRAMA SIN FIBRA SINTÉTICA CON $W_n = 31.40$ Kg.



FUENTE: Elaboración propia

FIGURA N° 59 HISTOGRAMA CON 0.10% DE DOSIFICACIÓN DE FIBRA SINTÉTICA CON $W_n = 31.40 \text{ Kg.}$



FUENTE: Elaboración propia

Del análisis estadístico se obtuvieron los siguientes resultados:

TABLA N° 42 RESULTADOS DEL ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA EL REFUERZO DE FIBRA SINTÉTICA EN AFIRMADOS.

Análisis estadístico para la deformación a $W_n = 31.40$ kg	
Número de datos (sin fibra sintética)	$n_1 = 14$
Número de datos (con dosificación de fibra sintética a 0.10%)	$n_2 = 14$
Media (sin fibra sintética)	$\mu_1 = 17.64$ mm
Media (con dosificación de fibra sintética a 0.10%)	$\mu_2 = 13.43$ mm
Varianza (sin fibra sintética)	$S_1^2 = 281.63$
Varianza (con dosificación de fibra sintética a 0.10%)	$S_2^2 = 111.96$
Grados de libertad	$\nu_1 = 28-2 = 26$ y $\nu_2 = 28-2=26$
Correlación perfecta	$[-1 \leq r \leq 1]$
Valor de v:	$v=26$
Intervalo de confianza aproximado del 95%.	$[1.96 \leq x - \bar{y} \leq 1.96]$
Valor del coeficiente de correlación r de Pearson:	0.973

FUENTE: Elaboración propia

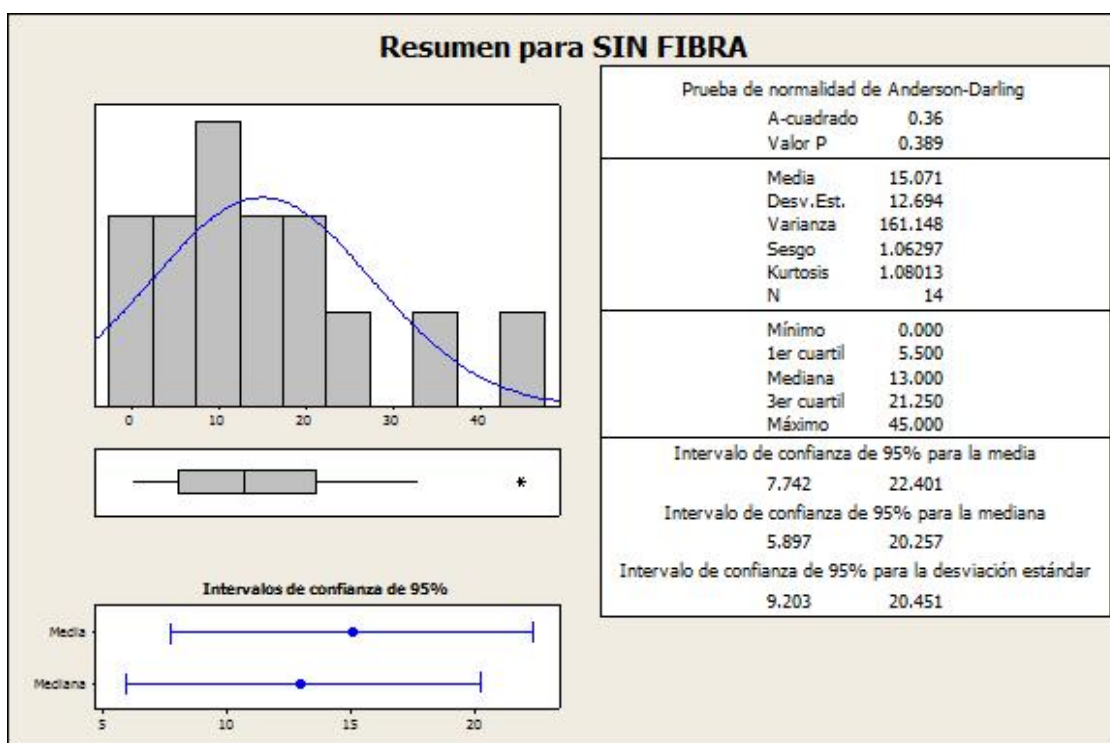
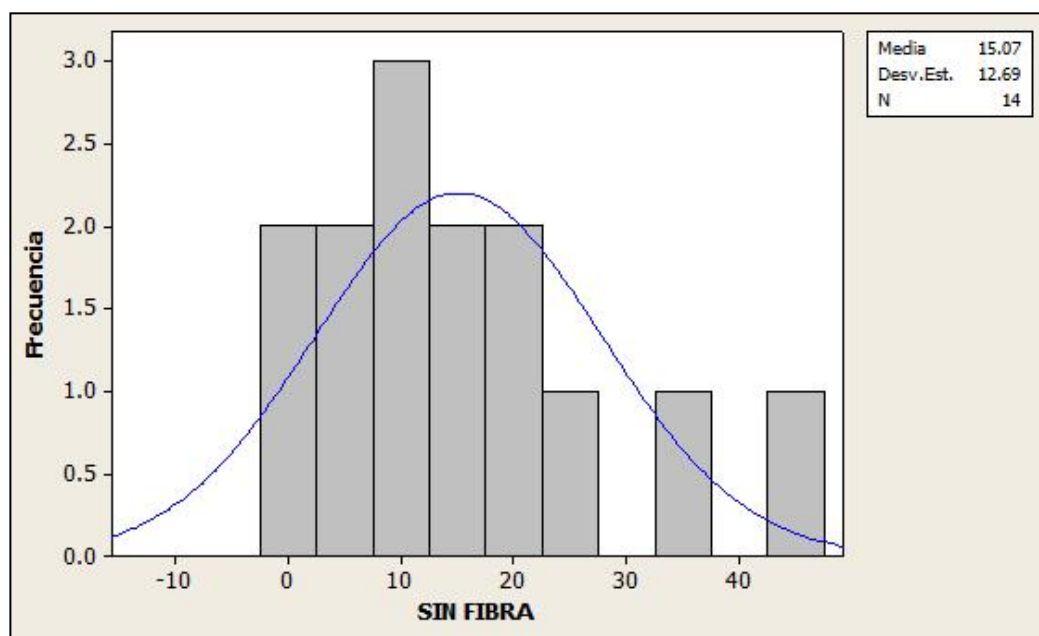
Como $r=0.973$ está en el rango de $(-1 \leq r \leq 1)$, se acepta la hipótesis H_0 , se concluye existe correlación entre la deformación sin fibra versus la deformación con dosificación de fibra sintética optima de 0.1%.

**TABLA N° 43 DOSIFICACIÓN DE FIBRA SINTÉTICA (KG) SIN FIBRA SINTÉTICA
COMPARADO CON LA DOSIFICACIÓN DE 0.10% DE FIBRA SINTÉTICA A $W_n = 40.50$ Kg.**

DATO	SIN FIBRA	CON 0.10% DE FIBRA	CÁLCULOS ESTADÍSTICOS			
	Deformación (mm)	Deformación n (mm)	$(X_1 - \bar{X}_1)$	$(X_1 - \bar{X}_1)^2$	$(X_2 - \bar{X}_2)$	$(X_2 - \bar{X}_2)^2$
1	0	0	-15.07	227.15	-13.93	194.01
2	0	0	-15.07	227.15	-13.93	194.01
3	4	4	-11.07	122.58	-9.93	98.58
4	6	6	-9.07	82.29	-7.93	62.86
5	8	8	-7.07	50.01	-5.93	35.15
6	10	10	-5.07	25.72	-3.93	15.43
7	12	12	-3.07	9.43	-1.93	3.72
8	14	14	-1.07	1.15	0.07	0.01
9	16	16	0.93	0.86	2.07	4.29
10	18	18	2.93	8.58	4.07	16.58
11	20	20	4.93	24.29	6.07	36.86
12	25	22	9.93	98.58	8.07	65.15
13	33	28	17.93	321.43	14.07	198.01
14	45	37	29.93	895.72	23.07	532.29
$\sum_{i=1}^n (n)$	211	195.00	$\sum (X_1 - \bar{X}_1)^2 = \mathbf{2094.93}$		$\sum (X_2 - \bar{X}_2)^2 = \mathbf{1456.93}$	
$\bar{X} =$	15.07	13.93	$\frac{\sum (X_1 - \bar{X}_1)^2}{n-1} = \mathbf{161.15}$		$\frac{\sum (X_2 - \bar{X}_2)^2}{n-1} = \mathbf{112.07}$	

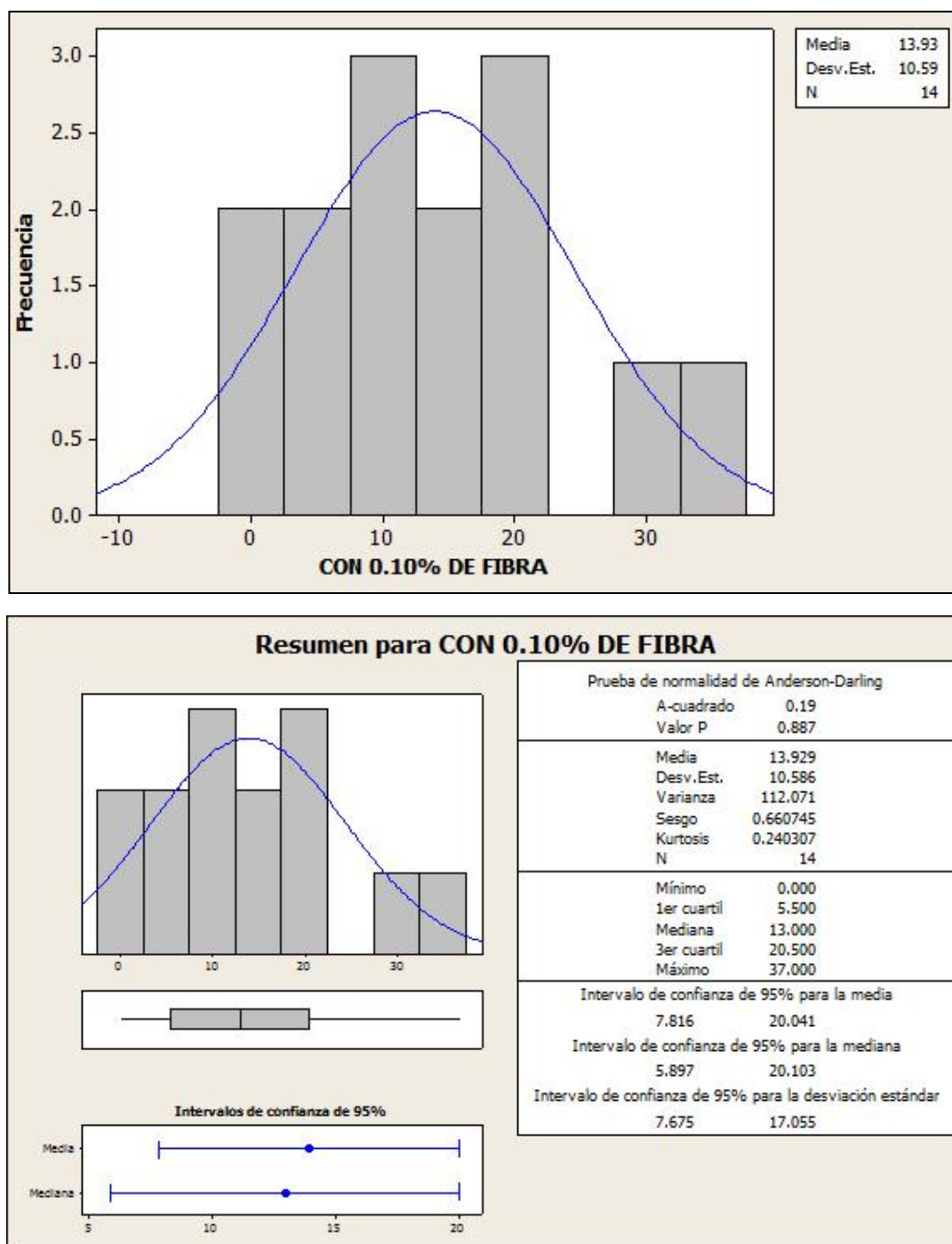
FUENTE: Elaboración propia

FIGURA N° 60 HISTOGRAMA SIN FIBRA SINTÉTICA CON $W_n = 40.50 \text{ Kg}$.



FUENTE: Elaboración propia

FIGURA N° 61 HISTOGRAMA CON 0.10% DE DOSIFICACIÓN DE FIBRA SINTÉTICA CON $W_n = 40.50$ Kg.



FUENTE: Elaboración propia

Del análisis estadístico se obtuvieron los siguientes resultados:

TABLA N° 44 RESULTADOS DEL ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA EL REFUERZO DE FIBRA SINTÉTICA EN AFIRMADOS.

Análisis estadístico para la deformación a $W_n = 40.50$ kg	
Número de datos (sin fibra sintética)	$n_1 = 14$
Número de datos (con dosificación de fibra sintética a 0.10%)	$n_2 = 14$
Media (sin fibra sintética)	$\mu_1 = 15.07$ mm
Media (con dosificación de fibra sintética a 0.10%)	$\mu_2 = 13.93$ mm
Varianza (sin fibra sintética)	$S_1^2 = 161.15$
Varianza (con dosificación de fibra sintética a 0.10%)	$S_2^2 = 112.07$
Grados de libertad	$\nu_1 = 28-2 = 26$ y $\nu_2 = 28-2=26$
Correlación perfecta	$[-1 \leq r \leq 1]$
Valor de v:	$v=26$
Intervalo de confianza aproximado del 95%.	$[1.96 \leq x - \bar{y} \leq 1.96]$
Valor del coeficiente de correlación r de Pearson:	0.994

FUENTE: Elaboración propia

Como $r=0.994$ está en el rango de $(-1 \leq r \leq 1)$, se acepta la hipótesis H_0 , se concluye existe correlación entre la deformación sin fibra versus la deformación con dosificación de fibra sintética optima de 0.1%., y por lo tanto mejora las propiedades mecánicas del esfuerzo cortante.

4.6. COMPROBACIÓN DE LA HIPÓTESIS

Para la hipótesis general planteada indica que el refuerzo con fibra sintética tiene efecto positivo en las propiedades mecánicas de las vías a nivel de afirmado en la región de Puno en el año 2017

4.6.1. HIPOTESIS

- La Incorporación de Fibras Sintéticas NO tiene efecto positivo en las propiedades de un suelo, aplicado en el camino vecinal Jipata -Umuchi del distrito de Moho en la región de Puno 2017.

H_0 = Variables no son Independientes

4.6.2. HIPÓTESIS ALTERNA

- La Incorporación de Fibras Sintéticas tiene efecto positivo en las propiedades de un suelo, aplicado en el camino vecinal Jipata -Umuchi del distrito de Moho en la región de Puno 2017.

- H_1 = Variables son Independientes

4.6.3. VARIABLES

FIBRAS SINTÉTICAS

PROPIEDADES MECÁNICAS

4.6.4. PROCESO DE CONTRASTE

De los resultados se tiene como resumen el siguiente cuadro que someteremos a prueba de χ^2 de Pearson

TABLA N° 45 Resumen de la etapa de Resultados

DOSIFICACIÓN	CBR AL 95 (%)	CBR AL 100 (%)
0.1% DE FIBRA	29.73	54.03
0.5% DE FIBRA	44.04	58.90
1.0 % DE FIBRA	37.86	64.23
2.0 % DE FIBRA	8.51	10.68

Realizamos la suma de filas y columnas

TABLA N° 46 Valores o Frecuencias Observadas (f_o)

DOSIFICACIÓN	PROPIEDADES MECÁNICAS		TOTAL
	CBR AL 95 (%)	CBR AL 100 (%)	
0.1% DE FIBRA	29.73	54.03	83.76
0.5% DE FIBRA	44.04	58.9	102.94
1.0 % DE FIBRA	37.86	64.23	102.09
2.0 % DE FIBRA	8.51	10.68	19.19
TOTAL	120.14	187.84	307.98

Fuente: Elaboración propia

Con el cuadro anterior aplicamos la siguiente fórmula:

$$f_e = \frac{\text{Total Columna} \times \text{Total Fila}}{\text{Suma Total}}$$

Se obtiene los siguientes valores o frecuencias esperadas

TABLA N° 47 Valores o Frecuencias Esperadas (f_e).

DOSIFICACIÓN	PROPIEDADES MECÁNICAS	
	CBR AL 95 (%)	CBR AL 100 (%)
0.1% DE FIBRA	32.67	51.09
0.5% DE FIBRA	40.16	62.78
1.0 % DE FIBRA	39.82	62.27
2.0 % DE FIBRA	7.49	11.70

Fuente: Elaboración propia

Procedemos a calcular el

$$\chi^2_{\text{calculado}} = \sum \frac{(f_o - f_e)^2}{f_e}$$

$$\chi^2_{\text{calculado}} = 1.44$$

Según el nivel de significancia de

$$\alpha = 0.01$$

Calculamos los grados de libertad

$$n = \text{grados de libertad} = (\# \text{filas} - 1) \times (\# \text{columnas} - 1)$$

$$n = 3$$

Ahora calculamos el

$$\chi^2_{\text{crítico}} = \text{cuadro de Pearson}$$

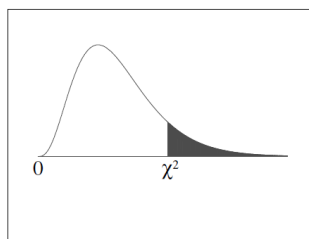
$$\chi^2_{\text{crítico}} = \chi^2_{3, 0.01}$$

$$\chi^2_{\text{crítico}} = 11.345$$

Valor obtenido de la siguiente tabla de Pearson

TABLA N° 48 Tabla de Distribución de χ^2 de Pearson

Chi-Square Distribution Table



The shaded area is equal to α for $\chi^2 = \chi^2_{\alpha}$.

df	$\chi^2_{.995}$	$\chi^2_{.990}$	$\chi^2_{.975}$	$\chi^2_{.950}$	$\chi^2_{.900}$	$\chi^2_{.100}$	$\chi^2_{.050}$	$\chi^2_{.025}$	$\chi^2_{.010}$	$\chi^2_{.005}$
1	0.000	0.000	0.001	0.004	0.016	2.706	3.841	5.024	6.635	7.879
2	0.010	0.020	0.051	0.103	0.211	4.605	5.991	7.378	9.210	10.597
3	0.072	0.115	0.216	0.352	0.584	6.251	7.815	9.348	11.345	12.838
4	0.207	0.297	0.484	0.711	1.064	7.779	9.488	11.143	13.277	14.860
5	0.412	0.554	0.831	1.145	1.610	9.236	11.070	12.833	15.086	16.750

Fuente: Tabla de Pearson

Por lo tanto se obtiene como resultado final

$$\chi^2_{\text{calculado}} = 1.44 < \chi^2_{\text{crítico}} = 11.345$$

Se dice que se cumple la hipótesis nula cuando

$$\chi^2_{\text{calculado}} < \chi^2_{\text{crítico}}$$

Se dice que se cumple la hipótesis alternativa cuando

$$\chi^2_{\text{calculado}} > \chi^2_{\text{crítico}}$$

CONCLUSIÓN DE χ^2 de Pearson

Por lo que corresponde a la hipótesis nula, Entonces diremos que las FIBRAS SINTÉTICAS Y LAS PROPIEDADES MECÁNICAS no son independientes, significa que están Altamente relacionados.

Por otra parte

Se determinó la medida de dispersión como varianza de una muestra usando la fórmula:

$$S^2 = \sum \frac{(X - \bar{X})^2}{n-1}$$

Para la prueba de hipótesis se realizó el cálculo del coeficiente de correlación producto o momento r de Pearson

Ensayo de Hipótesis:

$$H_0; \mu_1 - \mu_2 \neq 0$$

$$H_1; \mu_1 - \mu_2 = 0$$

El estadístico de prueba de correlación de Pearson fue:

La fórmula para el coeficiente de correlación de r de Pearson es la siguiente:

$$r = \frac{\sum (x - \bar{x})(y - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x - \bar{x})^2 \sum (y - \bar{y})^2}}$$

Donde

$\bar{x}$ = Media de muestra promedio de la matriz x

$\bar{y}$ = Media de muestra promedio de la matriz y

TABLA N° 49 Cálculos Estadísticos Pearson

DATO	CBR	CBR	CÁLCULOS ESTADÍSTICOS			
	95	100	$(X_1 - \bar{X}_1)$	$(X_1 - \bar{X}_1)^2$	$(X_2 - \bar{X}_2)$	$(X_2 - \bar{X}_2)^2$
	%	%				
1	29.73	54.03	-0.31	0.09	7.07	49.98
2	44.04	58.9	14.01	196.14	11.94	142.56
3	37.86	64.23	7.83	61.23	17.27	298.25
4	8.51	10.68	-21.53	463.33	-36.28	1316.24
$\sum_{i=1}^n (n)$	120.14	187.84	$\sum (X_1 - \bar{X}_1)^2 =$	720.79	$\sum (X_2 - \bar{X}_2)^2 =$	1807.04
$\bar{X} =$	30.04	46.96	$\frac{\sum (X_1 - \bar{X}_1)^2}{n-1} =$	240.26	$\frac{\sum (X_2 - \bar{X}_2)^2}{n-1} =$	602.35

Fuente: Elaboración propia

Del análisis estadístico se obtuvieron los siguientes resultados:

TABLA N° 50 Resultados del análisis estadístico para dosificación de fibra sintética respecto de sus propiedades mecánicas CBR.

Análisis estadístico para dosificación de fibra sintética respecto de sus propiedades mecánicas CBR	
Número de datos (sin fibra sintética)	$n_1 = 04$
Número de datos (con dosificación de fibra sintética a 0.10%)	$n_2 = 04$
Media (CBR AL 95 %)	$\mu_1 = 30.04\%$
Media (CBR AL 95 %)	$\mu_2 = 46.96\%$
Varianza (sin fibra sintética)	$S_1^2 = 240.26$
Varianza (con dosificación de fibra sintética a 0.10%)	$S_2^2 = 602.35$
Grados de libertad	$\nu_1 = 3$ y $\nu_2 = 3$
Correlación perfecta	$[-1 \leq r \leq 1]$
Valor de v:	$v=3$
Intervalo de confianza aproximado del 95%.	$[1.96 \leq x - \bar{y} \leq 1.96]$
Valor del coeficiente de correlación r de Pearson:	0.947

FUENTE: Elaboración propia

CONCLUSIÓN DE r de Pearson

Como $r=0.947$ está en el rango de $(-1 \leq r \leq 1)$, se acepta la hipótesis H_0 , se concluye existe correlación ALTA entre la dosificación de la FIBRA SINTÉTICA versus PROPIEDADES MECANICAS CBR.

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

PRIMERA. - La fibra sintética para el refuerzo de afirmados utilizando la dosificación óptima de fibra sintética al 0.10% en el camino vecinal Jipata, mejora las propiedades mecánicas, debido al aumento de la resistencia al corte y al incremento del CBR indicado en los siguientes cuadros:

TABLA N° 51 PROPIEDADES MECÁNICAS DEL ENSAYO DE CORTE DIRECTO.

ENSAYO DE CORTE DIRECTO	PROPIEDADES MECÁNICAS					
	Cohesión (Kg/cm ²)	Ángulo de Fricción (grados)	CAMION C2		CAMION DE DISEÑO	
			Esfuerzo Normal (Kg/cm ²)	Resistencia al Corte (Kg/cm ²)	Esfuerzo Normal (Kg/cm ²)	Resistencia al Corte (Kg/cm ²)
Afirmado sin adición de fibra sintética	0.55	24.78°	1.794	1.98	2.616	2.51
Afirmado con dosificación de fibra sintética a 0.1% del peso del suelo	0.42	32.76°	1.794	2.43	2.616	3.24
Porcentaje de incidencia del afirmado si fibra sintética versus el afirmado con 0.10% de dosificación óptima de fibra sintética	-23.64%	32.20%	-	23.98%	-	29.08%

Fuente: Elaboración propia

En el caso del corte directo se realizó un análisis estático de las cargas actuantes, para las cuales es necesaria la utilización de 0.1 % de fibra, esto significa un incremento en el ángulo de fricción de 32.20%, la cohesión se reduce a 23.64%, la resistencia al corte incrementa en el Camión C2 en 23.98% y para un camión de diseño de 29.08%. Estas propiedades repercuten de la durabilidad del afirmado al aumentar la resistencia al corte.

TABLA N° 52 PROPIEDADES MECÁNICAS DEL ENSAYO DE CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR)

CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR)	CBR (%)	Mr(PSI)	Número estructural a3	Espesor (cm)
Afirmado sin adición de fibra sintética	40	16,199.09	0.11655439	20.00
Afirmado con dosificación de fibra sintética a 0.1% del peso del suelo	54.03	17,499.75	0.12416822	18.00
Porcentaje de incidencia del afirmado si fibra sintética versus el afirmado con 0.10% de dosificación óptima de fibra sintética	35.08%	8.03%	6.53%	-10.00%

Fuente: Elaboración propia

En el caso del CBR, se reduce el espesor del afirmado en función al incremento del CBR producto de la añadidura de fibra, siendo la máxima reducción de espesor 2 cm, lo cual significaría un ahorro del 10% de afirmado. La dosificación que nos permite disminuir el espesor es de 0.10% de fibra sintética.

SEGUNDA. - Se determinó que las deformaciones de los afirmados sin refuerzo de fibra sintética tienen correlación respecto a la deformación del afirmado con dosificación óptima de fibra sintética a 0.10%; La correlación estadística mediante r de Pearson acepta la

hipótesis que, sí existe correlación de las deformaciones producidas por la fuerza tangencial en un área de 506.71cm² esto debido a las cargas normales constantes en los ensayos de $w_n=17.71$, $w_n=31.40$ y 45.50.

TERCERA. - Se determinó la inclusión de fibra sintética con dosificación de 0.10%. Es óptima para el diseño de afirmados porque aumenta la resistencia al corte en diferencia a la no inclusión de fibra sintética como se muestra en los siguientes cuadros:

TABLA N° 53 PROPIEDADES MECÁNICAS DEL ENSAYO DE CORTE DIRECTO

ENSAYO DE CORTE DIRECTO A GRAN ESCALA	PROPIEDADES MÉCÁNICAS					
	Cohesión (Kg/cm2)	Angulo de Fricción (grados)	CAMION C2		CAMION DE DISEÑO	
			Esfuerzo Normal (Kg/cm2)	Resistencia al Corte (Kg/cm2)	Esfuerzo Normal (Kg/cm2)	Resistencia al Corte (Kg/cm2)
Afirmado sin adición de fibra sintetica	0.55	24.78°	1.794	1.96	2.616	2.51
Afirmado con dosificación de fibra sintetica a 0.1% del peso del suelo	0.42	32.76°	1.794	2.43	2.616	3.24
Afirmado con dosificación de fibra sintetica a 0.5% del peso del suelo	0.44	38.92°	1.794	3.05	2.616	4.08
Afirmado con dosificación de fibra sintetica a 1.0% del peso del suelo	0.16	42.8°	1.794	3.08	2.616	4.34
Afirmado con dosificación de fibra sintetica a 2.0% del peso del suelo	0.13	32.86°	1.794	1.98	2.616	2.79

Fuente: Elaboración propia

El ensayo de corte directo se obtuvo un aumento del ángulo de fricción entre 32% y un 73% para una dosificación del 0.10% al 1.0% de fibra, sin embargo para el 2.0% de fibra el ángulo de fricción solamente llego a un aumento del 33%. Esto porque la fibra sintética se une a las partículas pétreas y mejora el ángulo de fricción.

Se obtuvo la disminución de la cohesión, esto debido a que la cohesión se produce por enlaces electroquímicos, los cuales se rompen en la medida que son cargados positivamente por las fibras de polipropileno. La disminución de la cohesión vario entre 20% al 76%.

TABLA N° 54 PROPIEDADES MECÁNICAS DEL ENSAYO DE CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR)

CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR)	CBR (%)	Mr(PSI)	Número estructural a3	Espesor (cm)
Afirmado sin adición de fibra sintetica	40	16,199.09	0.11655439	20.00
Afirmado con dosificación de fibra sintetica a 0.1% del peso del suelo	54.03	17,499.75	0.12416822	18.00
Afirmado con dosificación de fibra sintetica a 0.5% del peso del suelo	58.9	17,873.09	0.12624931	18.00
Afirmado con dosificación de fibra sintetica a 1.0% del peso del suelo	64.23	18,247.85	0.12829504	18.00
Afirmado con dosificación de fibra sintetica a 2.0% del peso del suelo	10.68	10,486.58	0.07368390	31.00

Fuente: Elaboración propia

El ensayo de CBR, produjo incrementos; para 0.10% de dosificación de fibra, en 14.03%; para 0.5% de dosificación, en 18.90%; para 1.0% de dosificación en 24.23%; pero para la dosificación de 2.0 % el CBR disminuyo en 29.32%, todos con respecto al afirmado sin fibra sintética.

La dosificación mayor a 1.0 % no es recomendable, ya que las características mecánicas se ven afectadas, esto producto al acolchonamiento que no permite una adecuada homogenización, haciendo que las partículas entren en suficiente contacto.

La capa de afirmado reforzada con fibra sintética, necesitará el 0.10% de fibra para resistir el esfuerzo de corte que produce una rueda de 5.438 Tn, esto incrementa el CBR del afirmado y provocar una disminución de 2cm al espesor de 20 cm siendo 18 cm el nuevo espesor del afirmado

5.2. RECOMENDACIONES

PRIMERA. -Se recomienda el uso de una mezcladora de concreto para realizar esta actividad. El proceso de mezclado es la ruta crítica en el proceso constructivo, por lo que se podría recomendar el uso de una maquinaria especializada para este trabajo, usar una mezcladora de suelos o quizá una recicladora en campo lo cual evitaría que las fibras puedan quedar sueltas y ser transportadas por el aire a las áreas próximas a la carretera.

SEGUNDA. - Realizar este trabajo en otras partes de la estructura de la carretera, para estabilizar y reforzar, caso de bases, sub-bases, suelos de fundación, capa anticontaminante, etc. Así mismo se puede variar las longitudes de fibra, tipo de fibra y las marcas.

TERCERA. - Realizar tramos experimentales in situ con un control a base de ensayos a mayor escala que los de laboratorio, con la finalidad de ver el comportamiento mecánico de la fibra sintética en campo y determinar las dosificaciones de fibra sintética respecto al tipo de suelo encontrado.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Asociación Técnica de Carreteras Comité de Geotecnia Vial. Refuerzo de suelos con fibra sintética: Perú; 2013
2. Badillo E. Mecánica de suelos. México: Editorial Limusa; 1976.
3. Beltrán M L. VIII Congreso Panamericano de Mecánica de Suelos e Ingeniería de Fundaciones =. [Bogotá]: Sección de Publicaciones, Universidad Nacional de Colombia; 1987.
4. Berry Preid D. Mecánica de suelo. Santa fé de Bogotá: McGraw-Hill; 1993.
5. Céspedes Abanto, Jose Maria. Los pavimentos en las vías terrestres: Calles, carreteras y aeropistas. Cajamarca: Universidad Nacional de Cajamarca; 2016.
6. Coronado García O. Construcción de una máquina de corte directo para estudio de suelos reforzados con geosintéticos. Santafé de Bogotá: Uniandes; 1995.
7. Das B. Principles of geotechnical engineering. Boston: PWS; 1985.
8. Devore J. Sánchez Fragoso F. Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias. México, D.F.: Thomson; 2005.
9. Dirección General de Caminos y Ferrocarriles M. Manual para el diseño de caminos no pavimentados de bajo volumen de tránsito. Tarea Asociación Gráfica Educativa; 2008.
10. Dirección Regional de Transportes y Comunicaciones –Puno- Laboratorio de geotecnia de mecánica de suelos, concreto, pavimentos y ensayos de materiales. Gobierno Regional de Puno; 2016.
11. Eyssautier de la Mora M. Metodología de la investigación. México: International Thomson; 2006.
12. García Avilés A. Introducción a la metodología de investigación científica. México: Plaza y Valdés; 1997.
13. Fernández Calvo C. Estudio experimental de refuerzo de suelos con fibras sintéticas. Casilla: Geogaceta; 2006.
14. Fernández Calvo C, Martínez Santa María J, Thode Mayoral J. Refuerzo de suelos con fibra sintética. Andalucía: asociación técnica de carreteras; 2010.
15. Hernández R, Fernández C, Baptista P. Metodología de la investigación. 4th ed. Bogotá: McGrawHill; 2006.
16. Jiménez Salas J, Justo Alpañes J, Serrano González A. Geotecnia y cimientos. Madrid: Rueda; 1975.
17. Lambe TWhitman R. Mecánica de suelos. México: Editorial Limusa; 1972.

18. Rico Rodríguez A. La ingeniería de suelos en las vías terrestres. México D.F: Limusa; 1977.
19. Terzaghi K, Peck R, Moretto O. Mecánica de suelos en la ingeniería práctica. Barcelona: El Ateneo Editorial; 1963.
20. Triola M Pineda Ayala M. Probabilidad y estadística. México: Pearson Educación; 2004.
21. Yang H. Huang. Pavement Analysis and Design. U.S: Prentice Hall; 2003.

ANEXOS

GLOSARIO

AHUELLAMIENTO: El ahuellamiento es un tipo de defecto o falla se produce en los afirmados, el cual consiste en una depresión canalizada en la huella de circulación de los vehículos. Se desarrolla gradualmente y aparece como una depresión continua en las bandas de circulación de los neumáticos, dificultando la maniobrabilidad de los vehículos y ocasionando una disminución en la seguridad.

AFIRMADO: Capa compactada de material granular natural ó procesado con gradación específica que soporta directamente las cargas y esfuerzos del tránsito. Debe poseer la cantidad apropiada de material fino cohesivo que permita mantener aglutinadas las partículas. Funciona como superficie de rodadura en carreteras y trochas carrozables.

ANGULO DE FRICCIÓN: En ingeniería, el ángulo de rozamiento interno es una propiedad de los materiales granulares.

El ángulo de rozamiento tiene una interpretación física sencilla, al estar relacionado con el ángulo de reposo o máximo ángulo posible para la pendiente de un montoncito de dicho material granular. En un material granuloso cualquiera el ángulo de reposo está determinado por la fricción, la cohesión y la forma de las partículas pero en un material sin cohesión y donde las partículas son muy pequeñas en relación al tamaño del montoncito el ángulo de reposo coincide con el ángulo de rozamiento interno.

Es especialmente importante en mecánica de suelos para determinar tanto la capacidad portante como la resistencia al deslizamiento de un terreno arenoso.

ARRASTRE DE PARTÍCULAS: Para generar el arrastre de las partículas, primeramente el desgaste que provoca las ruedas de los vehículos produce la pérdida de los finos, poco a poco las partículas gruesas van quedando expuestas hasta que quedan sueltas, este material es fácilmente transportado hacia los bordes de la huella.

CBR: (california bearing ratio) Relación entre tensión necesaria para penetrar 0,1 in (0,25 cm) un material dado y tensión necesaria para la misma penetración en un

material arbitrario, adoptado como patrón (Piedra triturada de California de la que se conoce tensiones necesarias para producir penetraciones preestablecidas).

COHESIÓN: La cohesión del terreno es la cualidad por la cual las partículas del terreno se mantienen unidas en virtud de fuerzas internas, que dependen, entre otras cosas del número de puntos de contacto que cada partícula tiene con sus vecinas. En consecuencia, la cohesión es mayor cuanto más finas son las partículas del terreno.

COMPACTACIÓN: Compactar es la operación previa, para aumentar la resistencia superficial de un terreno sobre el cual deba construirse una carretera y otra obra. Aplicando una cantidad de energía la cual es necesaria para producir una disminución apreciable del volumen de hueco del material utilizado.

FIBRA SINTÉTICA: La fibra sintética es una fibra textil que se obtiene por síntesis orgánica de diversos productos derivados del petróleo. Así, las fibras sintéticas son enteramente químicas: tanto la síntesis de la materia prima como la fabricación de la hebra o filamento son producto del ser humano. Con la aparición y desarrollo de las fibras sintéticas la industria textil ha conseguido hilos que satisface la demanda que plantean las nuevas técnicas de tejeduría y los consumidores.

PROPIEDADES MECÁNICAS: Estas propiedades se ponen de manifiesto ante estímulos como la electricidad, la luz, el calor o la aplicación de fuerzas a un material. Describen características como elasticidad, conductividad eléctrica o térmica, magnetismo o comportamiento óptico, que por lo general no se alteran por otras fuerzas que actúan sobre el mismo.

RESISTENCIA AL CORTE: La combinación de tensiones normales y tangenciales que esté comprendida entre las dos rectas corresponde a un estado de tensiones posible en el que puede encontrarse el suelo. Los puntos que resulten de combinaciones de tensiones situadas en las rectas corresponden al límite de rotura, y los exteriores definirán estados de tensiones más allá del límite de rotura y por lo tanto en los que no puede encontrarse el suelo.

MATRIZ DE CONSISTENCIA

TÍTULO: FIBRA SINTÉTICA EN VÍAS A NIVEL DE AFIRMADO Y SU EFECTO EN SUS PROPIEDADES MECÁNICAS, REGIÓN PUNO

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	OBJETIVOS DE INVESTIGACIÓN	HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN	OPERACIONALIZACIÓN DE LA VARIABLES				METODOLOGÍA
			VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA DE VALORACIÓN	
PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL	V.D.				
¿El refuerzo con fibra sintética tiene efectos positivos en las propiedades mecánicas de las vías afirmadas en el camino vecinal Jipata – Umuchi del distrito de Moho, región de Puno 2017?	Determinar los efectos de las propiedades mecánicas en vías a nivel de afirmado con refuerzo de fibra sintética en el camino vecinal Jipata - Umuchi del distrito de Moho, región de Puno 2017.	El refuerzo con fibras sintéticas tiene efecto positivo en las propiedades mecánicas de las vías a nivel de afirmado, en el camino vecinal Jipata - Umuchi del distrito de Moho, región de Puno 2017.	Propiedades Mecánicas	1.1. Propiedades mecánicas de los afirmados sin refuerzo de fibra sintética	1.1.1. Análisis Granulométrico 1.1.2. Límites de consistencia 1.1.3. Desgaste por abrasión 1.1.4. Ensayo de compactación proctor modificado	1.1.1.1 Porcentaje de material pasante (%) 1.1.2.1. Limite Líquido (u/u) 1.1.2.2. Limite Plástico (u/u) 1.1.2.3. Índice de Plasticidad (u/u) 1.1.3.1 Porcentaje de desgaste (%) 1.1.4.1 Densidad Máxima seca (gr/cm3) 1.1.4.2 Contenido de humedad óptimo (%)	MÉTODO Exploratorio Comparativo Correlacional DISEÑO comportamiento mecánico de afirmados sin adición de fibra sintética ($\bar{X}_1$) comportamiento mecánico de afirmados con adición de fibras sintéticas ($\bar{X}_2$) POBLACIÓN 06 ensayos mecánicos de afirmado MUESTRA 04 ensayos mecánicos de afirmado con diferentes dosificaciones TÉCNICAS Ensayos mecánicos en afirmados INSTRUMENTOS ASTM D2488 ASTM D2216 ASTM D423 ASTM D424 ASTM D422 ASTM D1557 ASTM D1883 ASTM D2166
				1.2. Propiedades mecánicas de los afirmados con refuerzo óptimo de fibra sintética de polipropileno	1.2.1. California Bearing Ratio (CBR en laboratorio) 1.2.2. Ensayo de Corte directo	1.2.1.1 Densidad (gr/cm3) 1.2.1.2 CBR (%) 1.2.2.1 Angulo de fricción interna (grados) 1.2.2.2 Cohesión (kg/cm2)	

PROBLEMA ESPECÍFICO	OBJETIVO ESPECÍFICO	HIPÓTESIS ESPECIFICO	V.I.				
¿Las características técnicas de la fibra sintética serán apropiadas para vías afirmadas en el camino vecinal Jipata - Umuchi del distrito de Moho, región de Puno 2017? ¿las propiedades mecánicas de vías afirmadas mejoraran con el refuerzo de fibra sintética en el camino vecinal Jipata - Umuchi del distrito de Moho, región de Puno 2017?	Describir los afirmados sin refuerzo de fibra sintética en las propiedades mecánicas de los afirmados en el camino vecinal Jipata – Umuchi del distrito de Moho, región de Puno 2017. Diseñar la dosificación de fibra sintética optima en las propiedades mecánicas de los afirmados en el camino vecinal Jipata - Umuchi del distrito de Moho, región de Puno 2017.	Los afirmados sin refuerzo de fibra sintética repercuten directamente en sus propiedades mecánicas, en el camino vecinal Jipata - Umuchi del distrito de Moho, región de Puno 2017. La adición de refuerzo de fibra sintética optima mejorara las propiedades mecánicas de los afirmados, en el camino vecinal Jipata – Umuchi del distrito de Moho, región de Puno 2017.	Fibra Sintética	1.3. Propiedades físicas de la fibra sintética	1.3.1. Especificaciones Técnicas del Producto 1.3.2.Norma	1.3.1.1 Densidad real aprox.: 1.17 kg/l 1.3.1.2 Absorción de agua: < 2% 1.3.1.3 Módulo de elasticidad: 15,000 kg/cm2 1.3.1.4 Alargamiento de rotura 26% 1.3.1.5 Resistencia a tracción: 468 kg/cm2 1.3.1.6 Resistencia química: inerte a los álcalis del cemento, ácidos en general, agua de mar, residuos alimentarios y ganaderos, aceites vegetales. no se pudre y es resistente a hongos y bacterias. 1.3.1.7 Durabilidad: indefinida 1.3.1.8 Transición vítrea: 310 °c 1.3.1.9 Longitud: 20 mm 1.3.2.1 Norma: a los concretos a los que se agregado sikacem®-1 fiber cumplen con los requerimientos de la norma ASTM C 1116	