

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil

Tesis

**Influencia de la aplicación del refuerzo con geomalla en  
la capa de mejoramiento en la respuesta estructural de  
subrasante de pavimentos flexibles para la Urbanización  
Taparachi de Juliaca**

Jesus Alexander Condori Ticona

Para optar el Título Profesional de  
Ingeniero Civil

Juliaca, 2021

Repositorio Institucional Continental  
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

## **AGRADECIMIENTOS**

A todas aquellas personas e instituciones que hicieron posible llevar a cabo el presente trabajo de investigación, del que estoy verdaderamente orgulloso.

A Dios, por bendecirme y levantarme en los momentos más difíciles de la vida.

A mi familia, en especial a mi padre, por estar siempre pendiente.

A mi asesor, por su paciencia; y a la Universidad Continental.

¡Muchas gracias a todos!

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo de investigación a mis padres, Mauricio y Juana. Gracias por su apoyo, comprensión y por inculcarme pasión por los conocimientos y la ciencia.

# ÍNDICE

	Pág.
<b>AGRADECIMIENTOS .....</b>	<b>ii</b>
<b>DEDICATORIA.....</b>	<b>iii</b>
<b>ÍNDICE.....</b>	<b>iv</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS .....</b>	<b>vii</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS.....</b>	<b>viii</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>xi</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>xi</b>
<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>xii</b>
<b>CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO .....</b>	<b>1</b>
1.1. Planteamiento y formulación del problema.....	1
1.2. Formulación del problema.....	2
1.2.1. Problema general.....	2
1.2.2. Problemas específicos.....	2
1.3. Objetivos.....	2
1.3.1. Objetivo general.....	2
1.3.2. Objetivos específicos.....	2
1.4. Justificación e importancia.....	3
1.4.1. Justificación técnica.....	3
1.4.2. Justificación económica.....	3
1.4.3. Justificación social.....	3
1.4.4. Justificación ambiental.....	3
1.5. Hipótesis.....	4
1.5.1. Hipótesis general.....	4
1.5.2. Hipótesis específicas.....	4
1.6. Variables.....	4
1.6.1. Variable independiente.....	4
1.6.2. Variable dependiente.....	4
<b>CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>5</b>
2.1. Antecedentes del problema.....	5
2.1.1. A nivel internacional.....	5
2.1.2. A nivel nacional.....	6
2.1.3. A nivel local.....	7
2.2. Bases teóricas.....	8
2.2.1. Subrasante.....	8

2.2.2. Módulo de resiliencia.....	17
2.2.3. Geomalla.....	20
2.2.4. Deflectometría.....	32
2.2.5. Retrocálculo.....	39
2.3. Definición de términos básicos.....	42
2.3.1. Conformación.....	42
2.3.2. Pavimento.....	42
2.3.3. Pavimento flexible.....	42
2.3.4. Terraplén.....	42
2.3.5. Esfuerzo.....	42
2.3.6. Deformación unitaria.....	42
2.3.7. Rigidez.....	43
2.3.8. Módulo de Poisson.....	43
<b>CAPÍTULO III. METODOLOGÍA.....</b>	<b>44</b>
3.1. Métodos y alcance de la investigación.....	44
3.1.1. Tipo de investigación.....	44
3.1.2. Enfoque de la investigación.....	44
3.1.4. Nivel de la investigación.....	44
3.2. Diseño de la investigación.....	44
3.3. Población y muestra.....	45
3.3.1. Población.....	45
3.3.2. Muestra.....	45
3.4. Técnicas e instrumentos para la recolección de datos.....	45
3.4.1. Técnicas.....	45
3.4.2. Instrumentos.....	45
3.5. Operacionalización de variables.....	45
3.6. Metodología del trabajo.....	47
3.6.1. Proceso constructivo del experimento.....	47
3.6.2. Mediciones con la viga Benkelman (recolección de datos).....	53
<b>CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>56</b>
4.1. Análisis del CBR del suelo natural.....	56
4.2. Interpretación de datos del laboratorio del material de relleno.....	57
4.2.1. CBR del material de relleno.....	57
4.2.2. Resumen de las propiedades físico-mecánicas del material de relleno.....	57
4.3. Determinación y análisis de las deflexiones.....	58
4.4. Contrastación de hipótesis.....	64
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>67</b>

<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>69</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>71</b>
<b>ANEXO A. ENSAYO DE SUELOS EN LABORATORIO E <i>IN SITU</i>.....</b>	<b>77</b>
<b>ANEXO B. DEFLEXIONES CON LA VIGA DE BENKELMAN.....</b>	<b>92</b>
<b>ANEXO C. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LA GEOMALLA.....</b>	<b>94</b>
<b>ANEXO D. PESAJE DEL VOLQUETE.....</b>	<b>95</b>
<b>ANEXO E. NORMA DE ENSAYOS APLICADOS A GEOMALLAS.....</b>	<b>96</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
Tabla 1. Tipos de subrasante.....	9
Tabla 2. Distancias del nivel freático al nivel de subrasante.....	9
Tabla 3. Requisitos y calidad de los materiales de relleno .....	11
Tabla 4. Ensayos a ejecutar al suelo de subrasante. ....	11
Tabla 5. Clasificación conforme a su granulometría.....	12
Tabla 6. Valores típicos de CBR .....	14
Tabla 7. Correlaciones para estimar el módulo resiliente.....	21
Tabla 8. Requisitos de propiedades mecánicas de la geomalla biaxial .....	25
Tabla 9. Selección del tipo de material de la geomalla biaxial.....	29
Tabla 10. Tipos de geomalla biaxial.....	29
Tabla 11. Propiedades de la geomalla biaxial que afectan a su comportamiento.....	30
Tabla 12. Propiedades físicas de la geomalla biaxial .....	31
Tabla 13. Propiedades mecánicas de la geomalla biaxial .....	31
Tabla 14. Presentación del rollo de la geomalla biaxial .....	31
Tabla 15. Localización del punto de ensayo.....	36
Tabla 16. Tabla de factores de corrección por estacionalidad.....	38
Tabla 17. Deflexión característica según el tipo de carretera .....	40
Tabla 18. Factor de ajuste C.....	41
Tabla 19. Operacionalización de variables.....	46
Tabla 20. Características de la viga Benkelman .....	54
Tabla 21. CBR del terreno natural.....	56
Tabla 22. CBR del material de relleno.....	57
Tabla 23. Selección del tipo de suelo según el índice de plasticidad.....	58
Tabla 24. Lecturas del dial y cálculo de deflexiones en el tramo de control (sin geomalla) .....	59
Tabla 25. Lecturas del dial y cálculo de las deflexiones del tramo experimental (con geomalla) .....	61
Tabla 26. Deflexión característica del tramo de control (tramos sin geomalla) .....	62
Tabla 27. Deflexión característica del tramo experimental (tramo con geomalla) .....	63
Tabla 28. Deflexión característica de ambos tramos.....	63
Tabla 29. Normalidad.....	65
Tabla 30. Igualdad de varianza .....	65
Tabla 31. Contrastación de hipótesis .....	66

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Fronteras de los límites de consistencia.....	12
Figura 2. Equipo para la determinación del CBR en laboratorio.....	14
Figura 3. Componentes del ensayo CBR <i>in situ</i> .....	15
Figura 4. Molde de forma cilíndrico de 4 pulgadas.....	16
Figura 5. Molde de forma cilíndrico de 6 pulgadas.....	16
Figura 6. Cono de arena.....	17
Figura 7. Deformación por cargas repetitivas.....	18
Figura 8. Acumulación de la deformación con el número de ciclos.....	18
Figura 9. Comparación entre las correlaciones para determinar la relación entre módulo elástico y CBR.....	20
Figura 10. Relación entre parámetros de suelo y el módulo resiliente.....	21
Figura 11. Experimento con geomalla.....	22
Figura 12. Confinamiento.....	22
Figura 13. Distribución de la carga de la llanta al suelo.....	23
Figura 14. Superficie de falla con refuerzo y sin refuerzo.....	23
Figura 15. Geomalla uniaxial.....	24
Figura 16. Geomalla biaxial.....	25
Figura 17. Geomalla triaxial.....	25
Figura 18. Forma correcta de construcción.....	27
Figura 19. Características físicas de la geomalla biaxial Mac Grid EGB30.....	30
Figura 20. Deflexión, vista lateral y frontal.....	33
Figura 21. Deflexiones.....	33
Figura 22. Deflexión.....	34
Figura 23. Viga simple de un solo brazo.....	35
Figura 24. Posiciones de la viga Benkelman y los factores geométricos que afectan la medición.....	35
Figura 25. Esquematización de registro de las deflexiones con la viga Benkelman. ...	36
Figura 26. Punto de ubicación del extremo de la viga Benkelman.....	37
Figura 27. Vista lateral de la viga Benkelman.....	37
Figura 28. Módulo de Poisson.....	43
Figura 29. Vista en planta de los puntos de inspección.....	45
Figura 30. Vista en planta del experimento.....	47
Figura 31. Vista de perfil del experimento. Elaboración propia.....	47
Figura 32. Terreno natural de la Urbanización Taparachi de Juliaca.....	48

Figura 33. Desbroce y limpieza de terreno natural. ....	48
Figura 34. Geomalla biaxial en tramo experimental. ....	49
Figura 35. Extendido de geomalla biaxial en terreno natural. ....	49
Figura 36. Geomalla biaxial colocado en terreno natural. ....	50
Figura 37. Vaciado de material de relleno sobre tramos de control y experimental. ....	50
Figura 38. Conformación de material de relleno. ....	51
Figura 39. Compactado de material de relleno. ....	51
Figura 40. Vaciado del material de relleno. ....	52
Figura 41. Compactado de material de relleno. ....	52
Figura 42. Reconformado de la subrasante. ....	52
Figura 43. Compactado final de la subrasante. Elaboración propia. ....	53
Figura 44. Habilitación de cunetas. ....	53
Figura 45. Prueba de densidad de campo. ....	54
Figura 46. Toma de las deflexiones con viga Benkelman. ....	55
Figura 47. Deflectograma. ....	63

## RESUMEN

El objetivo general de este trabajo de investigación fue analizar la influencia de la aplicación del refuerzo con geomalla biaxial en la respuesta estructural, reflejada en su deflexión máxima de una subrasante. Se planteó una metodología con enfoque cuantitativo, de alcance explicativo y diseño experimental. El desarrollo de la perspectiva teórica se basó en la revisión de documentación académica. Para observar la influencia de la geomalla en la deflexión máxima de una subrasante conformada por suelo natural y material de relleno de 0,30 cm, se conformó dos tramos de 10 m de largo por 4 m de ancho (primer tramo de control sin geomalla y segundo tramo experimental con geomalla). Para este diseño experimental se tomaron un total de 30 mediciones de deflexiones, 15 en cada tramo mediante la viga Benkelman con un volquete de  $4m^3$  cargado con 8200 kg en su eje posterior y una presión de inflado en su neumático de 80 psi. Los resultados obtenidos fueron los siguientes: se observó que el terreno natural tiene un CBR (California Bearing Ratio: Ensayo de Relación de Soporte de California) de 4,1 % considerado como una subrasante pobre, el material de relleno fue extraído de la cantera Taparachi de la ciudad de Juliaca, el cual, con un CBR de entre 29 % y 95 % de máxima densidad seca, la subrasante mejorada con geomalla disminuyó su deflexión característica en un 8 %, mientras que su deflexión máxima promedio disminuyó en 1 %, en comparación con el tramo de control sin geomalla. En conclusión: se encontró un menor aporte estructural de la geomalla biaxial a una subrasante pobre reflejada en sus deflexiones; no obstante, estos resultados pueden ser optimizados con un mayor número de ensayos. Asimismo los resultados obtenidos guardan relación con lo manifestado por Giroud-Han, USACE, quienes concluyeron en su investigación que no se apreciaba el aporte de la geomalla en un suelo con CBR mayor a 4 %.

**PALABRAS CLAVE:** viga Benkelman, deflexión, respuesta estructural, subrasante.

## ABSTRACT

The general objective of this research work was to analyze the influence of the application of biaxial geogrid reinforcement on the structural response, reflected in its maximum deflection of a subgrade. A methodology with a quantitative approach, explanatory scope and experimental design was proposed. The development of the theoretical perspective was based on the review of academic documentation. To observe the influence of the geogrid on the maximum deflection of a subgrade made up of natural soil and fill material of 0.30 cm, two sections of 10 meters long and 4 meters wide were formed (first control section without geogrid and second experimental section with geogrid). For this experimental design, a total of 30 deflection measurements were taken, 15 in each section using the Benkelman beam with a 4m<sup>3</sup> dump truck loaded with 8200 kg on its rear axle and a tire inflation pressure of 80 psi. The results obtained were the following: it was observed that the natural terrain has a CBR (California Bearing Ratio: California Support Ratio Test) of 4.1% considered as a poor subgrade, the fill material was extracted from the Taparachi quarry of the city of Juliaca, which contributes with a CBR of 29.0% at 95% of the maximum dry density, the subgrade improved with geogrid decreased its characteristic deflection by 8%, while its average maximum deflection decreased by 1%. compared to the control section without geogrid. In conclusion: a lower structural contribution of the biaxial geogrid was found to a poor subgrade reflected in its deflections. However, these results can be optimized with a larger number of trials. Likewise, the results obtained are related to what was stated by Giroud-Han, USACE, they conclude that the contribution of the geogrid is not appreciated in a soil with CBR greater than 4%.

**KEYWORDS:** Benkelman beam, deflection, structural response, subgrade.

# INTRODUCCIÓN

Para llevar a cabo este trabajo de investigación, que trata de la influencia de la aplicación del refuerzo con geomalla en la respuesta estructural de la subrasante de pavimentos flexibles para la Urbanización Taparachi de Juliaca, se ha considerado los siguientes capítulos:

Capítulo I: se presenta la situación problemática de los suelos blandos en las subrasantes. En el Perú, cada vez más se construyen carreteras, ya sean pavimentadas o no pavimentadas, utilizando criterios de eliminación de material inadecuado a los diferentes botaderos. Es en este punto donde se planteó una alternativa para un desarrollo sostenible evitando las excavaciones, con el uso de una geomalla biaxial y posterior análisis con la medición de las deflexiones con la viga Benkelman de la subrasante de pavimentos flexibles para el lado sur de la circunvalación en la Urbanización Taparachi de Juliaca.

Capítulo II: contiene el marco teórico, cuyos ítems están representados por tres antecedentes internacionales, tres antecedentes nacionales y dos antecedentes locales. También incluye las bases teóricas y las definiciones de términos básicos, siendo esta revisión y selección bibliográfica fundamental para el desarrollo de este trabajo de investigación.

Capítulo III: se exponen los procedimientos metodológicos en los cuales se establecen el tipo de investigación aplicada, el enfoque cuantitativo, su alcance explicativo y el diseño experimental de la realización de la presente investigación; y por último, el desarrollo de la metodología de trabajo el cual consta del proceso constructivo del experimento: conformación de relleno con material de cantera en un área de 20 m de largo, 4m de ancho y 0.30 m de altura reforzado con geomalla biaxial y posteriormente el registro de las deflexiones de la subrasante con la viga Benkelman.

Capítulo IV: se presentan los resultados para responder a los objetivos planteados, el contraste de hipótesis y la discusión de resultados, los cuales están respaldados con las pruebas de laboratorio y mediciones de las deflexiones de la subrasante terminada con la viga Benkelman.

Por último, se presenta las fuentes bibliográficas que se revisaron para elaborar esta investigación, así como los anexos que brinda información complementaria de lo hallado.

## **CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO**

### **1.1. Planteamiento y formulación del problema**

Según la Asociación Estadounidense de Funcionarios Nacionales de Carreteras y Transporte (AASHTO), casi el 20 % de los pavimentos tiene problemas estructurales como agrietamientos y fisuras, debido a una resistencia estructural insuficiente (1). En un porcentaje considerable de carreteras, la superficie del pavimento falla debido a un insuficiente soporte de la subrasante. Insuficiente en el sentido que el pavimento descansará sobre aquella.

Las subrasantes inadecuadas de mala capacidad de resistencia, las altas cargas de tráfico a las que están expuestas las excavaciones profundas; el incremento de costos de material de cantera para el relleno de esta subrasante; el suelo contaminado, y las líneas de agua, desagüe e internet a corta profundidad; son problemas que exigen el planteo de una solución adecuada, como la incorporación de una geomalla biaxial para la estabilización de suelos. Los suelos blandos y fangosos de baja capacidad, que soportan cargas dinámicas, amenazan la vida de la estructura del pavimento, porque son propensos a torcerse. Un terreno dotado de geomallas biaxiales tiende a reducir su desfiguración, pues retendrán y transportarán las cargas a una zona más prominente (2).

La respuesta estructural de la subrasante reflejada en la deflexión indica que va a influenciar en los parámetros para mejorar la superficie sobre la cual se planteará el pavimento. Para ello, se requiere una adecuada respuesta estructural de la subrasante que evite futuras excavaciones o mejoras en el suelo. Si la capacidad de soporte de la

subrasante es inferior al 6 % (módulo resiliente inferior a los 10,000 PSI, aproximadamente) se requerirá una mejora significativa del suelo; de lo contrario, si el suelo tuviese valores superiores a lo indicado, este será apto para la masa asfáltica. La respuesta estructural reflejada en las deflexiones será medida con la viga Benkelman, que es un equipo de fácil manipulación y bajos costos operativos, utilizados en la construcción de carreteras; a diferencia del FWD, que tiene un alto costo de adquisición (3).

## **1.2. Formulación del problema**

### **1.2.1. Problema general**

¿Cómo influye la aplicación del refuerzo con geomalla en la respuesta estructural de subrasante de pavimentos flexibles en el lado sur de la Circunvalación en la Urbanización Taparachi de Juliaca?

### **1.2.2. Problemas específicos**

- a. ¿Cuál es el CBR del suelo natural de la zona de estudio para ser clasificado como subrasantes inadecuadas según el manual de carreteras del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC)?
- b. ¿Cuáles son las características físicas y mecánicas del suelo de mejoramiento para la subrasante de pavimentos flexibles en el lado sur de la Circunvalación en la Urbanización Taparachi de Juliaca?
- c. ¿Cómo influye el refuerzo con geomalla en la deflexión máxima de la subrasante de pavimentos flexibles en el lado sur de la Circunvalación en la Urbanización Taparachi de Juliaca?

## **1.3. Objetivos**

### **1.3.1. Objetivo general**

Explicar la influencia de la aplicación del refuerzo con geomalla en la respuesta estructural de la subrasante de pavimentos flexibles en el lado sur de la Circunvalación en la Urbanización Taparachi de Juliaca.

### **1.3.2. Objetivos específicos**

- a. Evidenciar la capacidad de soporte del CBR del suelo natural mediante correlación en la zona de estudio de la subrasante inadecuada para pavimentos flexibles, según el manual de carreteras del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC).

- b. Evidenciar las características físicas y mecánicas adecuadas del suelo de mejoramiento de la subrasante para pavimentos flexibles en el lado sur de la Circunvalación en la Urbanización Taparachi de Juliaca.
- c. Evaluar la influencia en la deflexión máxima al incorporar la geomalla en la subrasante de pavimentos flexibles en el lado sur de la Circunvalación en la Urbanización Taparachi de Juliaca.

## **1.4. Justificación e importancia**

### **1.4.1. Justificación técnica**

En la actualidad, la aplicación de geosintéticos en obras viales no es recurrente, por contarse con información efímera de artículos e investigaciones sobre estos materiales; sin embargo, el uso de geosintéticos podría mejorar la eficiencia, rapidez, calidad y economía de la construcción de carreteras. Los geosintéticos tienen diferentes aplicaciones en el pavimento vial: separación de dos capas de suelo con diferente distribución de partículas, filtración y control de erosión, drenajes, refuerzo en la masa del suelo y protección ante la degradación de pavimentos.

### **1.4.2. Justificación económica**

Al construir el terraplén con geosintéticos, se reducen en gran medida el costo de transporte del material, la explotación en canteras, la excavación y el acarreo de suelos inadecuados hacia los depósitos de material excedente y el cierre de botaderos y canteras.

### **1.4.3. Justificación social**

Cada vez que se ejecuta el mantenimiento o construcción de una vía, calle o carretera, se tiene que realizar un plan de desvío que genera congestión. Con la aplicación de las geomallas se reduciría el tiempo de construcción, ya que se excavaría menos y necesitará menor cantidad de transporte para extraer el material.

### **1.4.4. Justificación ambiental**

En la construcción de obras viales no se tiene un plan adecuado para almacenar los residuos generados en las excavaciones. Por ello, dichos residuos se suelen dejar en una zona informal; por ejemplo, cerca de la ladera de un río, lo que causa un impacto ambiental negativo. Sin embargo, si es que se utilizara la geomalla se realizará la menor cantidad de excavaciones, estas no serían tan profundas y el material que se elimine sería menor.

## **1.5. Hipótesis**

### **1.5.1. Hipótesis general**

La aplicación del refuerzo con geomalla en la subrasante de pavimentos flexibles en el lado sur de la Circunvalación en la Urbanización Taparachi de Juliaca mejoraría su respuesta estructural de subrasante.

### **1.5.2. Hipótesis específicas**

- a. El suelo natural en la zona de estudio presentaría valores de CBR menores a 6 %, clasificado como subrasante pobre para pavimentos flexibles en el lado sur de la Circunvalación en la Urbanización Taparachi de Juliaca.
- b. Las características físicas y mecánicas del suelo de mejoramiento de la subrasante para pavimentos flexibles en el lado sur de la Circunvalación en la Urbanización Taparachi de Juliaca cumplirían en forma satisfactoria las Especificaciones Generales para Construcción de Carreteras (EG-2013) del MTC.
- c. Con la inclusión de la geomalla en la subrasante se reduciría la deflexión máxima.

## **1.6. Variables**

### **1.6.1. Variable independiente**

Refuerzo con geomalla.

### **1.6.2. Variable dependiente**

Deflexión máxima de la subrasante de pavimentos flexibles.

## **CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO**

### **2.1. Antecedentes del problema**

#### **2.1.1. A nivel internacional**

Se revisó la investigación de Díaz (4), *Uso de geomallas multiaxiales como refuerzo en vías sin pavimentar con suelos blandos o subrasantes débiles*. Tuvo como establecer los beneficios de las geomallas en el refuerzo de subrasantes débiles. Para ello, utilizó el método de revisión bibliográfica, encontrando que la geomalla actuaba en forma positiva en el refuerzo estructural de todo tipo de vías, de manera que aminoraba la acción de las cargas producidas por los vehículos en la superficie de las carreteras. Por esa razón, el investigador concluyó que era favorable reconsiderar el empleo de este material geosintético. La importancia de este antecedente radica en que la geomalla tiene influencia en la acción de las cargas vehiculares en la superficie de la vía, y que aquella estaría relacionada con las deflexiones.

También está el trabajo de Bustamante (5), *Evaluación en el nivel de resistencia de una subrasante, con el uso combinado de una geomalla y un geotextil*, que tuvo como objeto determinar la resistencia que brindaba el referido material sintético en la interface subrasante y en el material granular. Con dicho fin, el investigador realizó ensayos de laboratorio (compresión simple) que permitieron obtener las curvas esfuerzo versus deformación del espécimen, que constó de un cilindro de 30 cm de alto y cuatro capas de material de subrasante. Sobre esta colocaron la geomalla y, por último, una capa granular, a la que aplicaron una carga mediante un pistón,

obteniéndose los siguientes resultados: para una muestra sin reforzar se obtuvo una deformación máxima de 1,524 cm con una carga máxima de 235,47 kg; y para un refuerzo con geomalla, una deformación máxima de 2,032 cm con un esfuerzo máximo de 403,67 kg. Esto logró un incremento en la resistencia de 63,21 % en relación con el espécimen sin reforzamiento. Al final, se concluyó que con la incorporación de la geomalla se obtuvo una menor penetración a una determinada carga respecto del suelo sin reforzamiento de geomalla. Esta investigación es importante porque en ella se realizó un experimento simulando dos escenarios con respuestas estructurales comparadas.

Hueto y Montoya (6) investigaron la *Adición de geotextil tejido t-2400 a la estructura intrínseca de diferentes tipos de materiales para rellenos*. Con dicho cometido estudiaron diferentes tipos de suelo de relleno y su comportamiento mecánico, a los que agregaron fibras geotextiles tejidas t-2400 en sus macroestructuras para mejorar sus propiedades mecánicas y encontrar nuevas alternativas de construcción que mejoren el rendimiento de la mecánica de los suelos de relleno, como la arena, la grava y la arcilla. En las pruebas de laboratorio se aplicaron las normas INVIAS, análisis de granulometría, límites de Atterberg y CBR. Asimismo, se prepararon dos muestras: una sin refuerzo y otra con refuerzo de material geotextil (geotextil reducido a tamaños menores a 2 cm); luego, se obtuvieron los resultados. Primero, para la arcilla, con un 0 % de adición de fibra de geotextil, se logró obtener un CBR de 2,7 %; y, con un 21 %, un CBR de 3,3 %. Segundo, para la grava, con un 0 % de adición de fibra de geotextil, se alcanzó un CBR de 31,1 %; y, con una adición de 21%, un CBR de 32 %. Tercero, para la arena, con un 0 % de adición de fibra de geotextil, se obtuvo un CBR de 21,3 %; y, con una adición de 21 %, un CBR de 22,9 %. Con dichos datos, se concluyó que la forma de adición trozado de fibra de geotextil aumentó en forma insignificante su capacidad de soporte, considerándose este antecedente importante, ya que el geotextil forma parte de la familia de los geosintéticos, al igual que la geomalla, y ambos tienen características de trabajabilidad similares.

### **2.1.2. A nivel nacional**

Veliz (7) realizó la investigación *Evaluación deflectométrica en mejoramiento de suelos de la carretera Mazamari-Pangoa-Cubantía, utilizando la viga Benkelman*. Tuvo como objetivo determinar los resultados de la evaluación deflectométrica durante un proceso constructivo con uso de la viga Benkelman, siguiendo la normativa del Ministerio de Transportes y Comunicaciones. Las pruebas generaron deflexiones menores a lo admisible, lo que indicó un buen comportamiento estructural de la

subrasante y, por ende, un control del proceso constructivo adecuado. El autor concluyó que se habían cumplido los requisitos de calidad especificados en el manual de carreteras. Como antecedente, esta investigación es importante porque presenta una metodología similar a la planteada en el presente trabajo, con la evaluación deflectométrica con uso de la viga Benkelman.

Se revisó el trabajo de Novoa (2), *Aplicación de la geomalla triaxial para mejorar la estabilización de suelos blandos en la avenida Trapiche Chillón, Carabayllo-2017*. Tuvo como fin analizar las ventajas del uso de la geomalla triaxial como refuerzo en suelos con baja capacidad de soporte. El método utilizado fue la comparación teórica de diseños, como el convencional versus el de geomalla planteado por AASHTO-93. Al final del estudio se tuvo que la geomalla biaxial incrementó la capacidad portante del suelo; por lo tanto, que su uso estabilizaba los suelos blandos; y en dicha afirmación radica la importancia de este antecedente para la presente investigación.

Silva (8) investigó el *Mejoramiento de la subrasante con geomallas multiaxiales tipo tx140 y tx160, aplicado a un tramo de la calle Alemania - La Molina - Cajamarca 2016*. El objetivo fue evaluar en qué medida una geomalla multiaxial favorecía una subrasante. El método aplicado fue mediante un diseño con metodología de Giroud-Han, el cual presenta una ecuación de carácter iterativo en la que se incorpora un factor de capacidad de soporte del suelo de fundación considerando la geomalla. El resultado de este investigador fue el siguiente: las geomallas utilizadas lograron mejorar la subrasante en un promedio de 63 % al considerar espesores. El autor concluyó que se obtuvo el incremento del CBR de la subrasante y la disminución del espesor de mejoramiento al adicionar la geomalla. La importancia de este antecedente reside en que se basó en numerosas investigaciones de diseño, pero es escasa la parte experimental *in situ* a escala real.

### **2.1.3. A nivel local**

Núñez (9) realizó la investigación *Optimización de espesores de pavimentos con aplicación de geosintéticos*; en la cual analizó el uso de la geomalla biorientada, aplicada como refuerzo en el material de subbase para pavimentos flexibles. Se realizó el uso de la geomalla biaxial colocada a diferentes alturas en una muestra de subbase utilizando como método de análisis las pruebas CBR. Los resultados del primer ensayo de CBR son a 0 cm = 44,00 %; a 2,5 cm = 51 %; a 5 cm = 58,50 %; a 7,5 cm = 75,50 %; a 10 cm = 96,50 %. Se concluyó que las geomallas funcionaban mejor a mayores alturas del relleno del material de suelo y el CBR es más alto porque está cerca de la superficie; y allí las geomallas son las primeras en trabajar, porque absorbe y distribuye

la fuerza aplicada. Se considera este antecedente local como un referente actualizado, realizado en la ciudad de Puno.

Por último, se revisó la investigación de Flores y Mamani (10), *Evaluación experimental de la incorporación de geomallas triaxiales para mejorar la subrasante de pavimentos flexibles, región Puno-2021*. Tuvo como cometido evaluar la incorporación de geomallas triaxiales en el valor de soporte California, por medio de ensayos en laboratorio e *in situ*, sobre todo el de CBR *in situ* (compactaron el suelo, colocaron la geomalla triaxial y sobre este realizaron el CBR *in situ*). Los resultados fueron: la adición de geomalla triaxial mejoró la subrasante de 21 % a 36 % la capacidad de soporte; y el uso de la geomalla triaxial incrementó un 29,57 % el CBR en relación con la subrasante donde no se utilizó el geosintético. Los autores de esta investigación concluyeron que la incorporación de la geomalla triaxial mejoró las propiedades mecánicas de la subrasante. La importancia de esta investigación está en que se demostró a nivel experimental la influencia de la geomalla triaxial en la respuesta estructural de la subrasante.

## **2.2. Bases teóricas**

### **2.2.1. Subrasante**

#### **2.2.1.1. Definición.**

La estructura del pavimento se encuentra apoyada sobre la subrasante, que está conformada por suelo natural, suelo mejorado, entre otros. La resistencia de la subrasante es la combinación de las resistencias del suelo mejorado y el suelo natural. El espesor de la estructura del pavimento depende en gran medida de la capacidad de resistencia de la subrasante. A mayor resistencia de la subrasante, serán de menor tamaño los paquetes estructurales del pavimento y, de lo contrario, a menor resistencia mayor será el paquete estructural del pavimento (11). Para hallar el espesor del pavimento, los diseñadores toman el valor de CBR o módulo resiliente de subrasante.

La subrasante debe cumplir con requisitos mínimos permisibles de resistencia: ser incompresible, y tener resistencia a la contracción y expansión a causa de la humedad. El pavimento es la encargada de distribuir el esfuerzo generado del tráfico a la cimentación o subrasante. El material de apoyo de la estructura de un pavimento es la subrasante, así como para un edificio es el suelo de cimentación. Se puede evaluar la pérdida de la capacidad estructural a través de la medición de la deflexión de la estructura o por medio de la verificación visual del estado de la superficie (12).

### 2.2.1.2. Tipos de subrasante.

Existen diferentes tipos de subrasantes, como se puede observar en la Tabla 1. Una subrasante regular es la que tiene un CBR igual o mayor a 6 %. En caso contrario, este suelo tendrá que ser mejorado (por estabilización mecánica o química o por la aplicación de geomallas) o reemplazado con material de cantera.

En la Tabla 1, se pueden observar diferentes categorías de subrasante y se indica que los suelos con un CBR mayor o igual a 6 % son considerados aptos (subrasante regular). En caso contrario, se plantearán otras opciones, como el cambio de material inadecuado por material de préstamo, el uso de geomallas, la estabilización química, etc. Esta tabla se utilizó para clasificar el suelo natural y el suelo de relleno utilizado en esta investigación.

Tabla 1

Tipos de subrasante

Categorías de subrasante		CBR						
S0:	subrasante inadecuada	CBR<3%						
S1:	subrasante pobre	De CBR	≥	3 %	a	CBR	<	6 %
S2:	subrasante regular	De CBR	≥	6 %	a	CBR	<	10 %
S3:	subrasante buena	De CBR	≥	10 %	a	CBR	<	20%
S4:	subrasante muy buena	De CBR	≥	20 %	a	CBR	<	30 %
S5:	subrasante excelente	CBR≥30%						

Nota. Tomado de MTC (13), p. 40.

### 2.2.1.3. Distancias del nivel freático al nivel de subrasante.

El nivel de subrasante deberá estar por encima de la napa freática.

En la Tabla 2 se observa la distancia vertical máxima que debe registrarse entre el nivel freático y el nivel de subrasante. En caso contrario, se colocarán obras de arte, como subdrenes, capas anticontaminantes o, por último, se elevará el nivel de la subrasante en el trazo vertical de la vía.

Tabla 2

Distancias del nivel freático al nivel de subrasante

Categoría de subrasante	Distancia vertical máxima entre nivel freático y nivel de subrasante (m)
Subrasante extraordinaria y muy buena	0,60
Subrasante buena y regular	0,80
Subrasante pobre	1,00
Subrasante inadecuada	1,20

Nota. Tomado de Menéndez (14), p. 105.

#### **2.2.1.4. Subrasante mejorada.**

La subrasante mejorada es una capa que está situada debajo de la subbase y tiene la función de aumentar la resistencia de la subrasante en general. También la subrasante mejorada reemplaza la subrasante inadecuada, y se intercambia por los suelos que sufren cambios volumétricos en presencia de humedad.

#### **2.2.1.5. Características de los suelos.**

Algunas de las características más importantes por considerar al evaluar el suelo de apoyo son las que siguen.

##### **2.2.1.5.1. Expansividad.**

El volumen de algunos suelos cambia a causa de la humedad. Cabe destacar que, en la arcilla expandida, su cambio volumétrico puede llegar a ser significativo. Según el sistema de clasificación SUC, este tipo de suelo será arcilla altamente plástica (CH), limo altamente plástico (MH) y arcilla orgánica (OH).

##### **2.2.1.5.2. Capacidad de soporte.**

Esta característica propia de cualquier suelo depende sobre todo de sus propiedades físicas, de su contenido de agua (humedad óptima) y de su densidad (relación masa volumen). Su capacidad de soporte está directamente relacionada con la densidad y, por ende, debe tener un buen compactado. Este suelo también deberá estar muy bien drenado, porque, de lo contrario, el agua penetraría el suelo, ya sea por ascensión capilar, inserción lateral, aguas pluviales, entre otros; y eso afectaría de modo negativo su capacidad de soporte.

##### **2.2.1.5.3. Compresibilidad.**

La compresibilidad es una característica de los suelos cohesivos, que con el tiempo presentan asentamientos por acción del tráfico (15).

#### **2.2.1.6. Requisitos y calidad de los materiales de relleno.**

El material por utilizarse como relleno puede provenir de cantera, corte de trazo vial o de préstamos laterales. Pero debe cumplir favorablemente con las especificaciones técnicas del proyecto y también con la conformidad del supervisor. Además, debe estar libre de material orgánico y cumplir las características presentadas en la Tabla 3, para ser considerado como material de relleno para la subrasante.

Tabla 3

Requisitos y calidad de los materiales de relleno

Condición	Partes del Terraplén		
	Base	Cuerpo	Corona
Tamaño máximo (cm)	15	10	7,5
% Máximo de fragmentos de roca >7,62 cm	30	20	
Índice de plasticidad (%)	<11	<11	<10

Nota. Tomado del MTC (16), p. 186.

En la Tabla 3 también se pueden visualizar los requerimientos de tamaño máximo de material que deberá cumplir para cada parte del terraplén: base, cuerpo y corona.

Asimismo, el material de relleno deberá satisfacer los siguientes requisitos de calidad, tal como se muestra en la Tabla 4. El desgaste de Los Ángeles deberá tener un máximo de 60 %, de acuerdo con el método de ensayo MTC E 207.

Tabla 4

Ensayos por ejecutar al suelo de subrasante

Material o producto	Propiedades y características	Método de ensayo	Norma ASTM	Norma AASHTO	Frecuencia	Lugar de muestreo
Terraplén	Granulometría	MTC E 204	D 422	T29	1 cada 1,000 m <sup>3</sup>	Cantera
	Límites de Consistencia	MTC E 111	D4318	T89	1 cada 1,000 m <sup>3</sup>	Cantera
	Contenido de material orgánico	MTC E 118	-	-	1 cada 3,000 m <sup>3</sup>	Cantera
	Abrasión Los Ángeles	MTC E 207	C131	T96	1 cada 3,000 m <sup>3</sup>	Cantera
	Relación Densidad - Humedad	MTC E 115	D 1557	T180	1 cada 1,000 m <sup>3</sup>	Pista
	Compactación	MTC E 117	D 1556	T191	1 cada 500 m <sup>2</sup>	Pista

Nota. Tomado de MTC (16), p. 192.

La Tabla 4 se utilizó para tener una referencia de los ensayos por ejecutar del suelo de relleno de la cantera Taparachi, así como para las pruebas de la subrasante terminada de la presente investigación.

### **2.2.1.7. Ensayo de materiales.**

#### **2.2.1.7.1. Granulometría.**

De acuerdo con su granulometría, los suelos se clasifican tal como se muestra en la Tabla 5, en grava, arena gruesa, arena fina, limos y arcillas.

Tabla 5

Clasificación conforme a su granulometría

	Menor a:	Hasta:
Grava	76,2 mm (3")	Tamiz N° 10 (2 mm)
Arena gruesa	Tamiz N° 10 (2 mm)	Tamiz N° 40 (0,425 mm)
Arena fina	Tamiz N° 40 (0,425 mm)	Tamiz N° 200 (0,075 mm)
Limos y arcillas	Tamiz N° 200 (0,075 mm)	

Nota. Tomado de MTC (13), p. 36.

#### 2.2.1.7.2. Límites de consistencia.

Es considerado suelo fino aquel que pasa más del 35 % el tamiz N° 200. Los suelos finos con granulometrías semejantes que pueden mostrar propiedades diferentes. Por ello, la propiedad más importante en un suelo fino es el índice de plasticidad (límites de Atterberg, véase la Figura 1). El suelo fino analizado para estas pruebas es el pasante al tamiz N° 40.



Figura 1. Fronteras de los límites de consistencia.

El límite líquido (LL) es el que está entre el estado semilíquido y el plástico (se moldea); pero el límite plástico se encuentra entre el estado plástico y el semisólido (se quiebra). Por último, el índice de plasticidad es la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico.

Se concluye que la propiedad más importante de un suelo grueso es su granulometría; sin embargo, de un suelo fino es el índice de plasticidad (17).

#### 2.2.1.7.3. CBR (Californian Bearing Ratio).

La prueba CBR se ejecuta en un molde cilíndrico de 12,5 cm de altura por 15 cm de diámetro, en donde se cuantifica la resistencia a la penetración del suelo con un pistón de 5 cm de diámetro, con el objetivo de representar las condiciones más críticas a las que están sometida las vías. La muestra es introducida en agua por lo menos durante cuatro días; también, para simular las cargas de tráfico y el peso de la estructura del pavimento, se colocan pesos sobre la muestra. El CBR se obtiene de acuerdo con

la siguiente formula expresada en porcentaje, en la que la muestra patrón es una piedra caliza triturada.

$$CBR = \frac{\text{Fuerza necesaria para producir una penetración de 2,5 mm en un suelo}}{\text{Fuerza necesaria para producir una penetración de 2,5 mm en la muestra patrón}}$$

- **CBR en laboratorio:**

La prueba fue gestada por la Administración de Carreteras del Estado de California en 1929 (18). La prueba CBR se realiza en suelo natural, subrasante, suelos mejorados, y en parte de la estructura del pavimento como es la subbase y base. La muestra se coloca en agua, donde se mide la tasa de expansión y la resistencia al corte en la muestra, bajo ciertas condiciones controladas de densidad y humedad. En la Figura 2 se puede observar el equipo para realizar la prueba de CBR en laboratorio.

$$CBR = 100 \left( \frac{x}{y} \right)$$

Donde  $x$  = resistencia del suelo o material, ya sea para una penetración de 2,54 mm (0,1") o 5,08 mm (0,2"),  $y$  = resistencia del suelo patrón (piedra caliza triturada). Se consideran las siguientes presiones: 1000 psi (6,9 MPa) para 0,1" de penetración y 1500 psi (10,3 MPa) para 0,2" de penetración (18).

El valor de soporte de un suelo se determina a través del ensayo CBR. Por ello, para la presente tesis se utilizó esta prueba para cuantificar la resistencia del suelo al corte del material de relleno de la cantera Taparachi, utilizado para cubrir la geomalla con un espesor de 0,30 m y, de esta manera, cuantificar la incidencia de la incorporación de la geomalla en la subrasante de diseño.

El CBR depende en gran porcentaje de su granulometría, densidad, distribución de finos y límites de Atterberg. La Tabla 6 puede verse un rango de CBR de tipos de suelo de acuerdo con su clasificación SUCS.

- **CBR *in situ*:**

El CBR *in situ* es análogo a la prueba en laboratorio. Mide la capacidad del suelo a resistir la penetración del pistón, ya sea en suelo natural, suelo mejorado, subbase y base. El equipo CBR *in situ* requiere de un volquete con peso que no sea capaz de ser elevado durante la prueba,

también requiere el equipo de penetración y los lectores de deformación (Figura 3).



Figura 2. Equipo para la determinación del CBR en laboratorio. Tomado de Rondón (19), p. 349.

Tabla 6

Valores típicos de CBR

Clasificación unificada (SUCS)	CBR en campo
GW	60-80
GP	35-60
GM	40-80
GC	20-40
SW	20-40
SP	15-25
SM	20-40
SC	10-20
ML	5-15
CL	5-15
OL	4-8
MH	4-8
CH	3-5
OH	3-5

Nota. Tomado de Menéndez (14), p. 91.

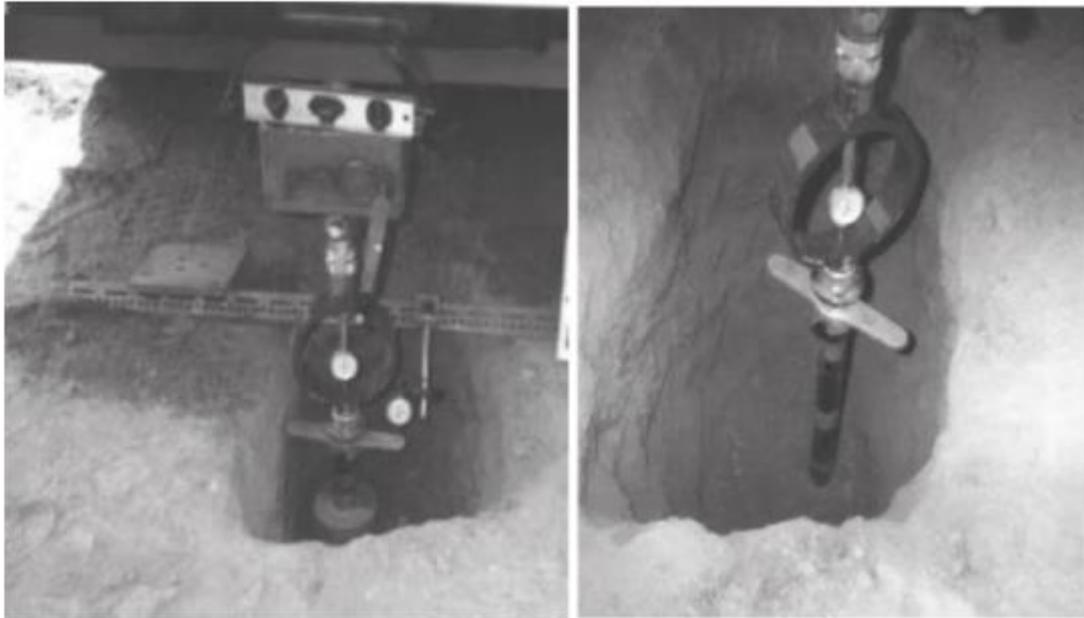


Figura 3. Componentes del ensayo CBR *in situ*.  
Tomado de Bernal y Gomes (20), p. 27.

#### 2.2.1.7.4. *Ensayo de compactación, relación densidad-humedad (Próctor modificado).*

Esta prueba sirve sobre todo para determinar la humedad óptima o ideal a la cual el material de suelo obtendrá una densidad máxima. Utiliza un pistón de 4,5 kg soltado desde una elevación de 45 cm, y transmite una fuerza de compactación de  $2,700 \text{ kN-m/m}^3$ . La muestra será compactada en un molde cilíndrico estandarizado (21).

En la construcción de carreteras esta prueba sirve para llevar un control de compactación y contenido de agua, ya sea del suelo de subrasante, subbase o base. Con la experiencia es posible determinar *in situ* el punto próximo al contenido de agua óptimo del material. Para esto, se toma un puñado de suelo; luego, se aprieta y esta tiene que quedar tal como está al liberarla. Al doblarse esta muestra tendrá que quebrarse en dos; sin embargo, cuando la muestra queda en el lado seco del óptimo esta se desintegrará o, caso contrario, debe contener mucha humedad, de manera que en la mano se pondrá pegajosa. En las figuras 4 y 5 se muestran las características, vista en planta y elevación de los moldes cilíndricos de 4 y 6 pulgadas, respectivamente, para la realización de dicha prueba.

#### 2.2.1.7.5. *Ensayo del cono de arena.*

La prueba del cono de arena se usa para encontrar la densidad (masa por volumen) del suelo *in situ* durante la construcción, ya sea de la subrasante, subbase o capa base del pavimento.

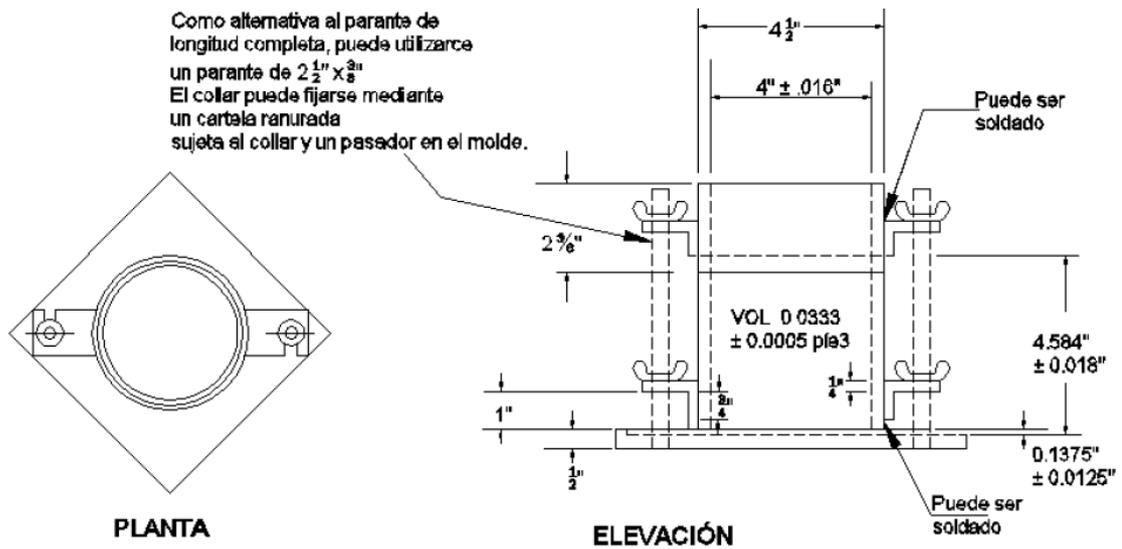


Figura 4. Molde de forma cilíndrico de 4 pulgadas.  
Tomado del MTC (22), p. 117.

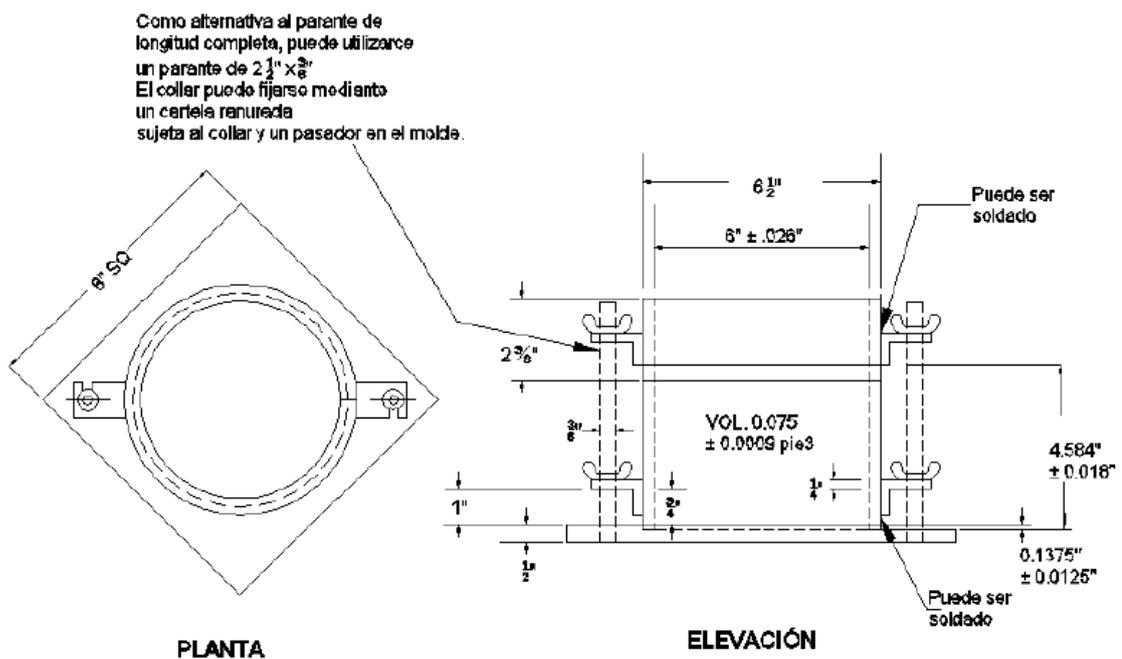


Figura 5. Molde de forma cilíndrico de 6 pulgadas.  
Tomado de MTC (22), p. 117.

Por lo general, se utiliza como base para la aceptación de suelo compactado a una cierta densidad o al porcentaje de la densidad máxima calculada por métodos de prueba estándar (22).

El ensayo de cono de arena (véase la Figura 6) se utilizó en esta investigación para hallar la calidad de la densificación en la subrasante, al término de la conformación, el perfilado y el acabado de la subrasante.

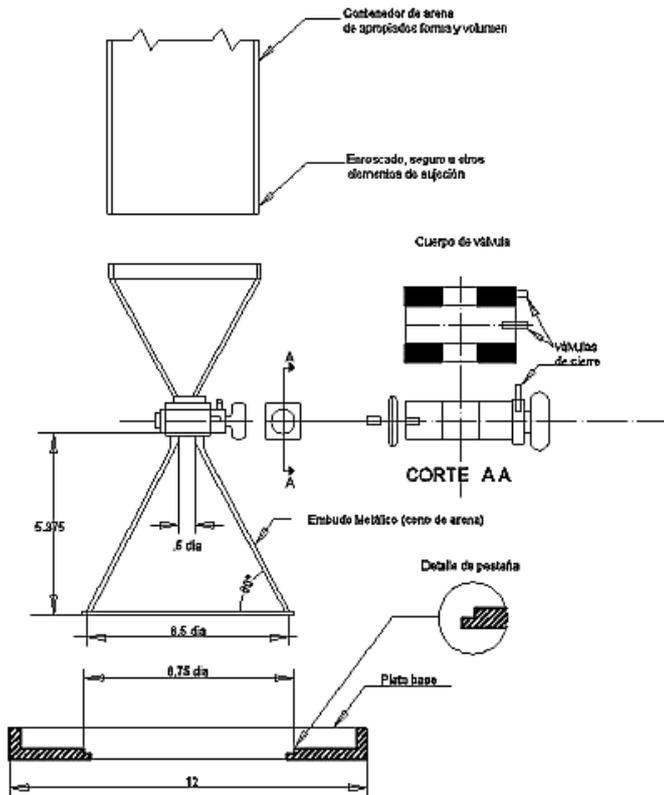


Figura 6. Cono de arena.  
Tomado del MTC (22), p.142.

### 2.2.2. Módulo de resiliencia

Es un módulo elástico basado en la deformación recuperable bajo cargas repetidas (23).

Los materiales para carreteras, en su gran mayoría, no son elásticos, y es por ello que sufren una deformación constante no recuperable cuando se les aplica una carga. Sin embargo, cuando estas cargas son cíclicas repetitivas y la resistencia del material es mayor a la carga, entonces estos materiales adquieren un comportamiento elástico, tal como se puede observar en la Figura 7. La prueba de módulo elástico es una prueba no destructiva.

En el primer ciclo de carga (ciclo 1), la deformación constante es bastante grande, en función de los mostrado en la Figura 8, por la deformación plástica  $\epsilon_p$ . A consecuencia del aumento de las repeticiones de carga, la deformación plástica disminuye. Luego de múltiples cargas repetidas, la deformación  $\epsilon_p$  se convirtió en elástica o resiliente, es decir, a ser una deformación recuperable  $\epsilon_r$ .

El módulo resiliente es el módulo elástico medido cuando el material alcanza su etapa de resiliencia (24).

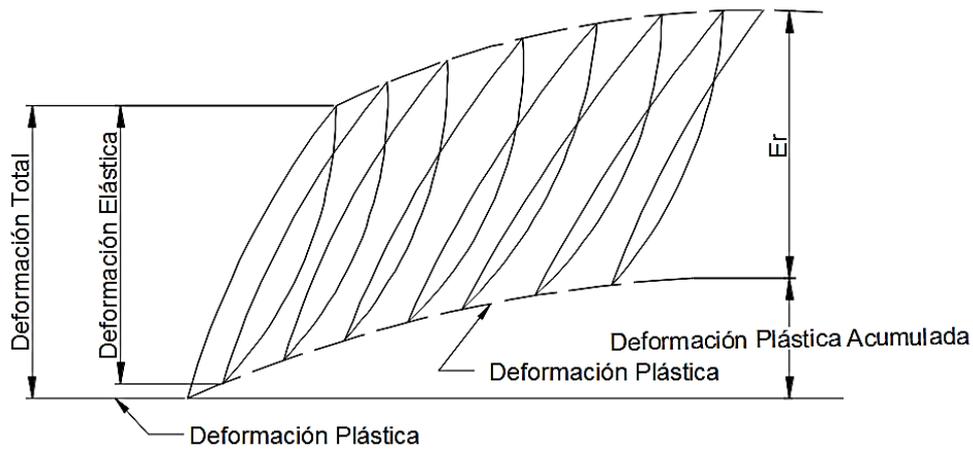


Figura 7. Deformación por cargas repetitivas.  
Tomado Huang (23), p. 280.

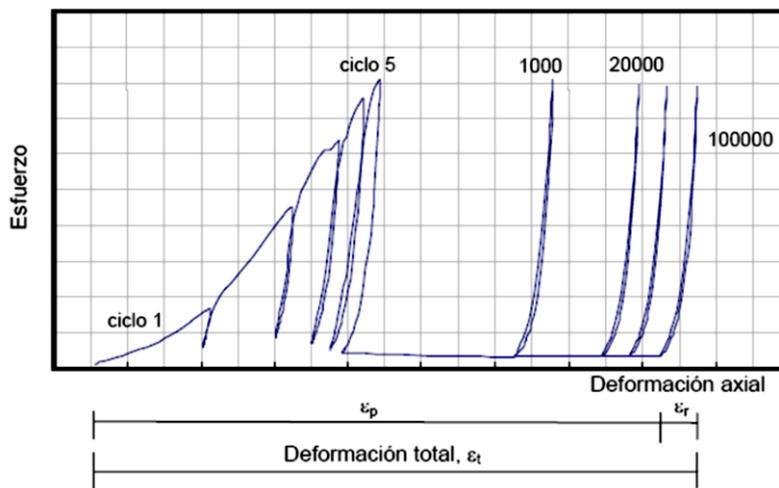


Figura 8. Acumulación de la deformación con el número de ciclos.  
Tomado de Osorio (24), p. 14.

### 2.2.2.1. Factores que afectan el módulo resiliente.

El módulo resiliente de la subrasante influenciará en el módulo de las capas de la estructura del pavimento. Los factores que modifican el módulo resiliente son la granulometría, el tipo de material, la densidad, la compactación y la cantidad de humedad. El incremento del contenido de agua en materiales granulares disminuye su módulo resiliente.

El módulo resiliente aumenta con el peso específico seco ( $\gamma = \rho_g$  o  $\gamma = mg/v$ ), por lo que se deduce que el módulo resiliente guarda relación directa con su peso específico seco.

### **2.2.2.2. Humedad y módulo resiliente.**

El control de la humedad durante la construcción de cualquier capa granular de la estructura del pavimento es muy importante para obtener un buen desempeño durante su vida útil, por lo que se debe realizar la gestión de un buen proyecto de drenaje para evitar la saturación de la capa granular durante el proceso constructivo y durante su funcionamiento.

Con el paso de los días, la humedad disminuirá porque se evaporará y se secará el material, por lo que el módulo resiliente gana resistencia mecánica con la pérdida de agua hasta alcanzar el valor del módulo de diseño. El comportamiento de la pendiente entre la humedad y el módulo de elasticidad aumenta según el material exhiba una mejor granulometría, y propiedades físicas y mecánicas. En el transcurso del tiempo, el módulo aumentará a medida que disminuya el porcentaje de humedad (25).

Durante la construcción de carreteras, la capa granular, ya sea terraplén, base o subbase, debe protegerse de las precipitaciones pluviales y de todo tipo de infiltraciones de agua, ya que estos podrían ingresar dentro del material y ocasionar retrasos en la construcción. Al ingresar el líquido a la estructura interior del pavimento este disminuye la presencia de finos y aumentan los vacíos, reduciendo drásticamente su módulo resiliente.

### **2.2.2.3. Modelos para calcular el módulo resiliente.**

Existen diferentes modelos para definir la resiliencia del módulo: para suelos granulares, finos y en general todo tipo de suelos y, por último, las correlaciones. Este último será el que describiremos a continuación.

#### **2.2.2.3.1. Correlaciones.**

Existen diversos estudios en donde muestran correlaciones entre los parámetros físicos del suelo. Estas correlaciones se realizaron utilizando varios materiales.

Al disponer solo de datos de ensayos de CBR con valores entre 2 % y 12 %, se muestra la siguiente correlación siguiente. Esta fue presentada inicialmente por TRL (14); y, luego, fue propuesta por ASSHTO en su *software* AASTORW are Pavement (14).

$$Mr = 17.6 CBR^{0.64} MPa$$

$$Mr = 2555 CBR^{0.64} psi$$

En la Figura 9 se visualizan los resultados de convertir valores y buscar la ecuación que tiene el mejor ajuste.

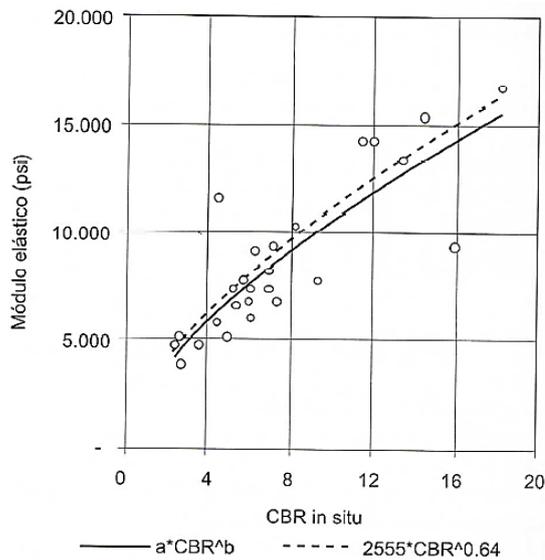


Figura 9. Comparación entre las correlaciones para determinar la relación entre módulo elástico y CBR.

Tomado de Menéndez (14), p. 103.

En la página 123 del *Manual de carreteras de Chile* se introduce otra correlación en los valores de CBR de entre 12 % y 80 %.

$$Mr = 22.1 CBR^{0.55} MPa$$

$$Mr = 3205 CBR^{0.55} psi$$

Aunque no se indica su fuente, se puede inferir que se basa en Van Til (23), cuya representación gráfica puede verse en la Figura 10.

En resumen, se presenta la Tabla 7 de las teorías descritas anteriormente, en concordancia con las correlaciones que se realizan para conseguir el módulo resiliente mediante ensayos de CBR.

### 2.2.3. Geomalla

La geomalla es una estructura hecha de polímero está formada por una red de costillas enlazadas entre sí de manera integral, que tienen aperturas lo bastante grandes como para posibilitar la trabazón del suelo (26).

#### 2.2.3.1. Características.

La geomalla tiene la función de reforzar un suelo. Existen diferentes modelos de geomallas: las uniaxiales, las biaxiales y las triaxiales. Las geomallas biaxiales tienen las siguientes características: (a) disipan las tensiones en todas las direcciones,

distribuyen la fuerza en su superficie; (b) minimizan el desplazamiento estructural durante la aplicación de cargas dinámicas y estáticas; (c) brindan resistencia a la tensión; y (d) proporcionan confinamiento lateral mediante la trabazón del suelo con las aperturas del polímero.

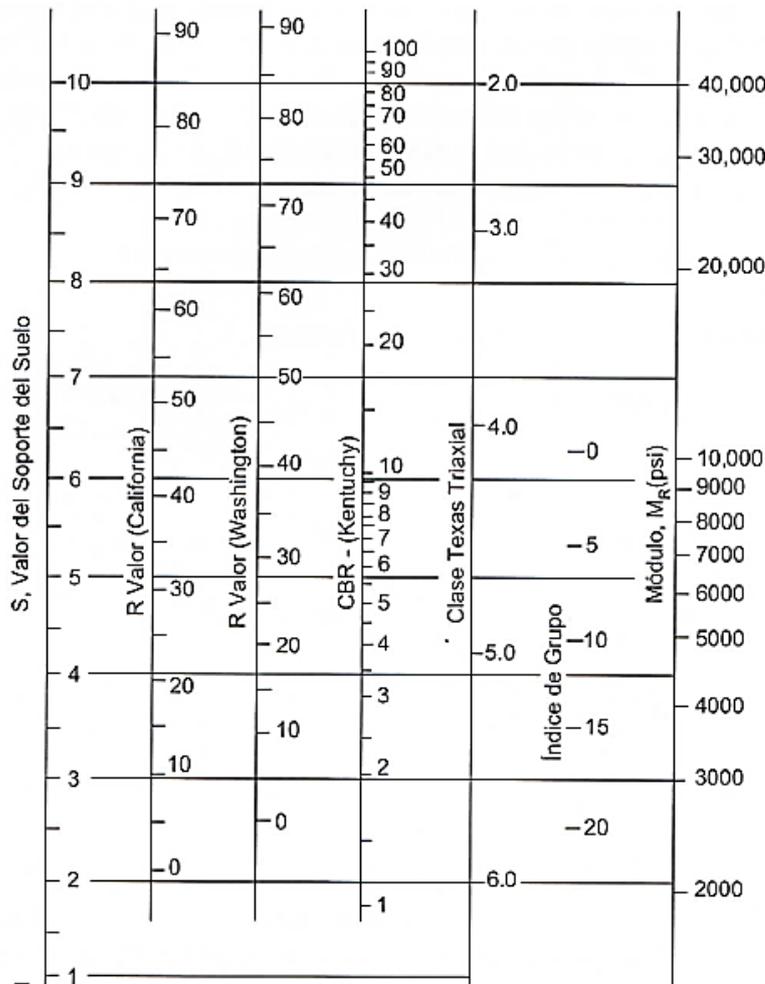


Figura 10. Relación entre parámetros de suelo y el módulo resiliente. Tomado de Menéndez (14), p. 104.

Tabla 7

Correlaciones para estimar el módulo resiliente

CBR %	Mr en Mpa	Mr en psi
2 % y 12 %	$17,6 \text{ CBR}^{0,64}$	$2555 \text{ CBR}^{0,64}$
12 % y 80 %	$22,1 \text{ CBR}^{0,55}$	$3205 \text{ CBR}^{0,55}$

Nota. Tomado de Menéndez (14), p. 102.

### 2.2.3.2. Mecanismos de refuerzo ocasionados por la geomalla.

El confinamiento lateral (véase la Figura 11) es una de las características que brinda la geomalla biaxial. En efecto, la integración de la geomalla a diferentes alturas ocasiona una sujeción lateral, la cual es causada por la fricción y el enclavamiento entre el agregado y la geomalla.



Figura 11. Experimento con geomalla.  
Tomado de PAVCO (27), p. 150.

En la Figura 12 se puede apreciar el flujo lateral por corte de una carga al aplicar a un suelo y, en consecuencia, el trabajo que proporciona la geomalla al aportar la restricción o confinamiento lateral mediante la trabazón de la geomalla con el agregado. Además, en la superficie de la rodadura, se visualiza que se minimizan las deformaciones verticales o ahuellamientos.

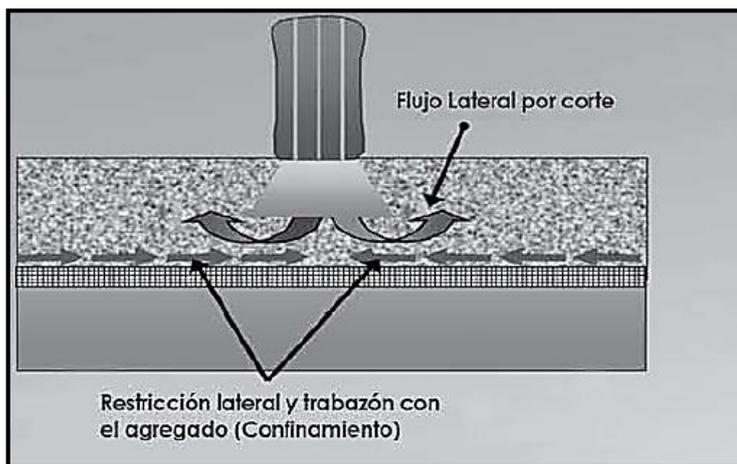


Figura 12. Confinamiento.  
Tomado de Núñez (9), p. 6.

En la Figura 13 se observa la acción de una carga (neumático) sobre la superficie de rodadura. Esta carga puntual es transmitida hacia la geomalla, lo que

permite crear una distribución de carga uniforme debajo de la geomalla. Por ende, la superficie de la geomalla convertirá la carga puntual en una carga distribuida de modo uniforme, y se verá menos afectada la superficie debajo de la geomalla.

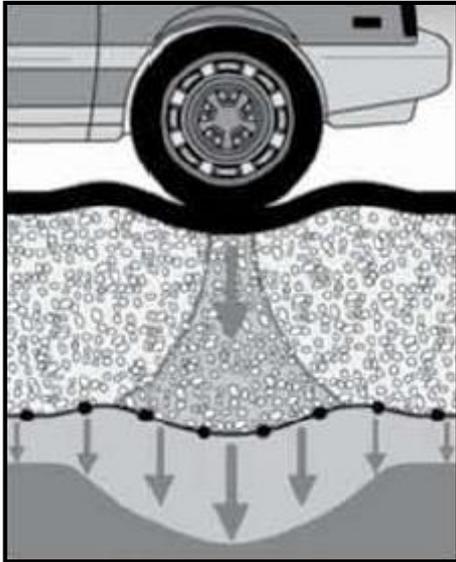


Figura 13. Distribución de la carga de la llanta al suelo.  
Tomado de PAVCO (27), p. 150.

Al aplicar una carga a la capa superficial, transfiere tensión a las capas inferiores (base, subcapa y subrasante), y las geomallas ganarán rigidez. Esto limitará la deformación de las capas superiores y ocasionará confinamiento y, por consiguiente, se incrementará la resistencia al esfuerzo cortante de la carga (véase la Figura14).

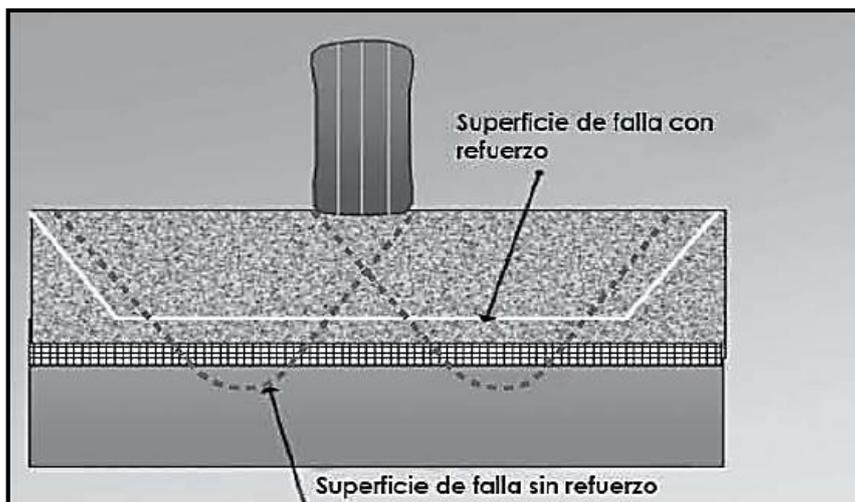


Figura 14. Superficie de falla con refuerzo y sin refuerzo.  
Tomado de PAVCO (27), p. 148.

### 2.2.3.3. Tipos.

Tomando en cuenta la forma y la dirección, existen tres tipos de geomallas disponibles en el mercado: uniaxial, biaxial y triaxial.

#### 2.2.3.3.1. *Geomalla uniaxial.*

La geomalla uniaxial o unidireccional (véase la Figura 15) está compuesta de polietileno de alta densidad, estirada en una sola dirección. Las aberturas oblongas de esta geomalla en una sola dirección brindan una alta resistencia a la tracción de hasta 160 kN/m y un elevado módulo de tracción en sentido longitudinal. También proporciona un adecuado sistema de enclavamiento entre la geomalla y el agregado; y soporta condiciones drásticas en relación con reacciones químicas y biológicas del suelo.

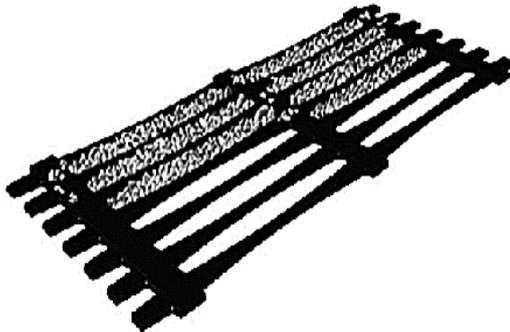


Figura 15. Geomalla uniaxial.  
Tomado de PAVCO (27), p. 15.

#### 2.2.3.3.2. *Geomalla biaxial.*

La geomalla biaxial (véase la Figura 16) es una alternativa de refuerzo para suelos con baja capacidad de soporte. Ofrece confinamiento lateral mediante la trabazón del agregado y la abertura de la geomalla, con el fin de incrementar la resistencia al esfuerzo de tracción.

#### 2.2.3.3.3. *Geomalla triaxial.*

La geomalla de tres ejes (véase la Figura 17) consta de láminas de polipropileno orientadas en muchas direcciones iguales para formar orificios triangulares equiláteros. Esto dará como resultado un producto más eficiente para proporcionar la mejor transferencia de tensión en servicio desde el agregado a la geomalla (29).

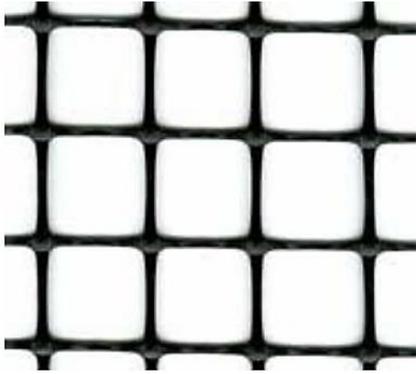


Figura 16. Geomalla biaxial.  
Tomado de Maccaferri (28), p. 1.

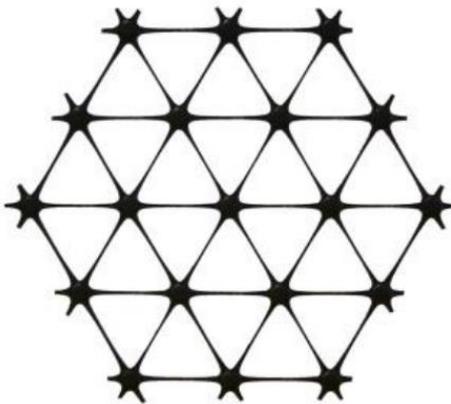


Figura 17. Geomalla triaxial.  
Tomado de Tensar (30), p. 1.

#### 2.2.3.4. Características de la geomalla biaxial.

##### 2.2.3.4.1. Especificaciones técnicas.

En la Tabla 8 se aprecian los requisitos más importantes de las propiedades mecánicas de las geomallas biaxiales, según Geosistemas Pavco, de Mexichem.

Tabla 8

Requisitos de propiedades mecánicas de la geomalla biaxial

Ensayos	Concepto
Estabilidad de la abertura y resistencia a la torsión.	Se mide la estabilidad de la abertura con una fuerza torsional o torque.
Rigidez y resistencia a la flexión.	Se mide la rigidez y resistencia de un conjunto de costillas.
Resistencia a la tensión.	Se mide la resistencia a la tensión y el comportamiento a la elongación de una costilla tanto longitudinal y transversal.
Resistencia de las uniones o nudos.	Se mide la resistencia a la tensión de los nudos.

Nota. Tomado de Núñez (9), p. 89.

Además de lo estipulado anteriormente, todos los requisitos deben contener lo siguiente (31):

- **Requerimientos generales:** Son las Instrucciones de almacenamiento y manipulación antes de ser colocado, para protegerlo de cualquier elemento (humedad, rayos UV, polvo, etc.) que pudiera deteriorar la geomalla y afectar su desempeño y funcionamiento.
- **Propiedades de las geomallas:** Estas deben ser dadas en valores máximos o mínimos con su respectivo método de ensayo. El valor mínimo promedio por rollo (VMPPR) y el valor medio deberá exceder al mínimo o ser menor al valor máximo de cualquier rollo sometido a un ensayo.
- **Requerimientos de traslapes:** Deberá indicar el traslape mínimo (algunos estudios recomiendan un traslape mínimo de 30 cm).
- **Procedimiento de colocación:** Deberá ser especificado a detalle e incluir la limpieza del terreno, la especificación del agregado, la altura de relleno sobre la geomalla (espesor mínimo recomendado 15 cm) y los equipos requeridos para su colocación. Además, debe indicar la maniobra adecuada del equipo que trabajará las capas superiores a la geomalla, ya que dicho equipo podría interceptar, jalar y romper la geomalla, como es el caso de la motoniveladora, ya que al no trabajar en forma cuidadosa podría jalar la cuchilla la geomalla. También deberá señalar la manera de adherir en forma horizontal la geomalla al suelo (grapas de acero), debido a que la geomalla viene en rollos y estos mantienen su forma enrollada después de expandirlos en el área de colocado.
- **Procedimiento de reparación o reemplazo de la geomalla dañada:** Dicho procedimiento deberá ser detallado. Así, por ejemplo, si la geomalla requiere reparación por traslape, esta deberá ser extendida a una longitud mínima de 30 cm en todo su borde de rotura.
- **Los criterios de aceptación o rechazo:** Estos también deben ser especificados de forma clara y concisa. Es importante que un especialista del diseñador verifique la colocación, así como los requerimientos de diseño. También deberán ser especificados los muestreos y ensayos por realizar en el geosintético durante el proceso constructivo.
- **Procedimiento constructivo.** Los rollos de geomalla deben estar recubiertos con bolsas de polietileno, las cuales solo serán removidas en la instalación. Estos rollos se almacenarán en lugares limpios y secos, apilados a no más de 3 m de altura y sobre estas no deberán colocar sobrecargas.

Las geomallas deben ser colocadas de acuerdo con las especificaciones del proyecto, en las cuales se indicará el sentido de la instalación. En esta etapa, en la que se colocan las geomallas, se desenrolla la geomalla en la dirección estipulada por las especificaciones. Luego, la parte libre tendrá que ser fijada con estacas o grapas, u otros pesos, y no deberá presentar ondulaciones. El traslape lateral será de 60 cm como mínimo.

No debe de existir un contacto directo entre la geomalla y las orugas o los neumáticos de la maquinaria (véase la Figura 18). El relleno mínimo existente entre la geomalla y las orugas o neumáticos deberá de ser de 15 cm (28).

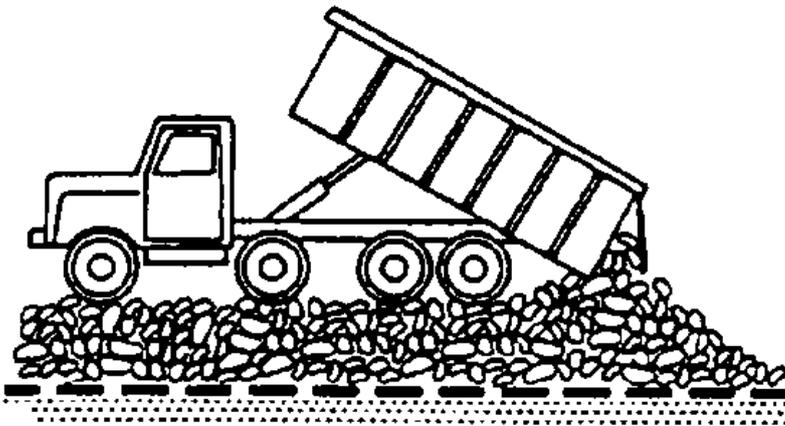


Figura 18. Forma correcta de construcción.  
Tomado de Maccaferri (28), p. 2.

#### 2.2.3.4.2. Control de calidad.

Deberán cumplirse las exigencias mínimas en concordancia y de acuerdo con el control en campo.

- Verificar la correcta adecuación del terreno con las coordenadas correctas antes de proceder a extender la geomalla.
- Supervisar que el suelo de relleno satisfaga los requerimientos técnicos de la obra durante su ejecución.
- Verificar el correcto uso método para la adecuación del terreno, el tendido de la geomalla, así como la incorporación del material de relleno.
- Verificar que las grapas estén correctamente colocadas para una adecuada sujeción de la geomalla al suelo.

Para garantizar calidad de la materia prima con la cual fue fabricada la geomalla, tanto en los procesos de fabricación como en el producto final, se deberá exigir tanto al fabricante como al proveedor el certificado ISO 9001.

Las geomallas despachadas para la obra deberán tener una certificación de calidad original proporcionada por el fabricante (28).

#### *2.2.3.4.3. Análisis teórico de la vida útil de la geomalla a base de experiencias.*

De acuerdo con algunos especialistas, las geomallas en el Perú son materiales geosintéticos usados para el refuerzo y conservación de las vías.

La colocación de la geomalla logra una mayor distribución de las fuerzas y permite reducir el deterioro de la superficie. De esa manera, se evitan los costos de mantenimiento a largo plazo. El uso de la geomalla aumenta la duración de la vía, y evita la aparición temprana de fisuras. En definitiva, la inclusión de la geomalla a una vía es un ahorro a largo plazo, ya que disminuye la figuración e incrementa la duración de la vía.

Su desarrollo se dio a partir de las experiencias de usar paja o lana (fibras naturales) en la antigüedad y, en la actualidad, se utiliza para reforzar suelos. Un ejemplo actual es el uso de la paja en la elaboración de adobe. Las geomallas son químicamente inertes, no sufren deterioro significativo debido a reacciones químicas al interior del suelo. También son altamente resistentes a la tensión y la degradación debido a los efectos de los rayos UV. Esto significa que las geomallas duran casi 30 años, según Geosoluciones Andex.

#### *2.2.3.4.4. Selección de la geomalla biaxial.*

El geosintético que se estudió en este trabajo de investigación fue la geomalla Mac Grid EGB 30.

Este trabajo se desarrolló en Juliaca (Puno). La geomalla fue adquirida de la empresa proveedora de geosintéticos más cercana a esta región, Maccaferri, con sede en la ciudad de Arequipa.

**Funcionalidad:** Se busca que la geomalla transmita los esfuerzos de la carga sobre toda la superficie de la estructura por reforzar. Las tensiones se disiparán en diferentes direcciones, tanto transversal como longitudinal.

**Material:** La gran mayoría de geosintéticos (véase la Tabla 9) están fabricados de polímeros (compuestos de monómeros). El incremento del peso molecular causa un incremento de la resistencia al calor, impacto y tracción, y reduce su deformabilidad y efectos del agua. El polipropileno es altamente resistente a condiciones extremas, por ejemplo, en los rellenos sanitarios.

Tabla 9

Selección del tipo de material de la geomalla biaxial

Polímero	Tipo de geosintético	Ventaja
Polietileno (PE)	Geotextiles Geomembranas Geocompuestos Geomallas	Actividad química nula en soluciones ácidas y básicas. Bajo costo.
Polipropileno (PP)		
Poliéster (PET)	Geomallas Geotextiles Geocompuestos.	Elevado módulo elástico. Baja deformabilidad bajo carga constante. Costo relativamente bajo. Susceptibles a la hidrólisis en ambientes con pH alto.
Cloruro de polivinilo (PVC)	Geomembranas Geocompuestos.	
Poliamida (PA)	Geotextiles Geocompuestos. Geomallas	Módulo elástico elevado. Resistencia a la abrasión alta. Susceptibles a la hidrólisis, y sumergidas tienen resistencia a la tracción reducida hasta un 30 %.

Nota. Núñez (9), p. 151.

El precio de las geomallas en el mercado puede ser de tres tipos: precio menor (geomallas uniaxiales), precio medio (geomallas biaxiales) y precio elevado (geomallas triaxiales).

En la Tabla 10 pueden verse los costos de la geomalla biaxial de los diferentes tipos que ofrece la empresa Maccaferri. Pero se optó por la geomalla Mac Grid EGB 30, por su costo regular y propiedades mecánicas buenas.

Tabla 10

Tipos de geomalla biaxial

Tipos de geomallas biaxiales de Maccaferri	Propiedades mecánicas	Costo
Geomalla Mac Grid EGB 20	Regular	Bajo
Geomalla Mac Grid EGB 30	Bueno	Regular
Geomalla Mac Grid EGB 40	Muy bueno	Alto

Nota. Tomado de Núñez (9), p. 152.

#### 2.2.3.4.5. *Propiedades mecánicas y físicas de las geomallas Mac Grid EGB 30.*

En la Figura 19 se observa una porción de la geomalla biaxial Mac Grid EGB 30, que se utilizó en esta investigación, y sus características técnicas y físicas.

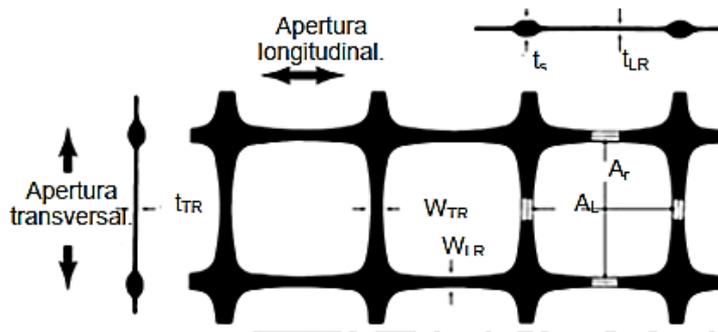


Figura 19. Características físicas de la geomalla biaxial Mac Grid EGB30. Tomado de Núñez (9), p. 88.

Donde:

AL: Apertura longitudinal = 36 mm

Ar: Apertura transversal = 38 mm

ts: Espesor del nudo o unión = 5 mm

WLR: Ancho de la costilla longitudinal = 2,6 mm

WTR: Ancho de la costilla transversal = 1,6 mm

tLR: Espesor de la costilla longitudinal = 2,0 mm

tTR: Espesor de la costilla transversal = 1,5 mm

Material de polipropileno

Color negro

La Tabla 11 muestra las experiencias y resultados adquiridos en los experimentos realizados por USACOE en 1992 (32).

Tabla 11

Propiedades de la geomalla biaxial que afectan a su comportamiento

<b>Costillas</b>	Espesor	Mientras más gruesa sea es mejor.
	Rigidez	Mientras más rígida sea es mejor.
	Forma	La forma rectangular es mejor.
<b>Apertura</b>	Tamaño	Según el relleno, se debe asegurar la trabazón.
	Forma	Circular o cuadrada es mejor.
	Rigidez	Una mayor rigidez es mejor.
<b>Unión</b>	Resistencia	Alta comparada con las costillas (>90 %)
<b>General</b>	Rigidez torsional	Mientras más alta sea es mejor.
	Estabilidad de la abertura	Cuando es más alta es mejor.

Nota. Tomado de Orrego (32), p. 28.

En la Tabla 12 puede verse las propiedades físicas de la geomalla biaxial EGB 30 (aberturas longitudinal y transversal), el tipo de polímero (polipropileno) y el color (negro).

Tabla 12

Propiedades físicas de la geomalla biaxial

Propiedades físicas	Unidades	EGB 30
Abertura nominal de la malla longitudinal (MD)	mm	36
Abertura nominal de la malla transversal (TD)	mm	38
Polímero		Polipropileno
Color		Negro

Nota. Tomado de Maccaferri (33), p. 1.

Mientras que en la Tabla 13 pueden observarse las propiedades mecánicas de la geomalla biaxial extruida Mac Grid EGB 30, establecidas en su hoja técnica: resistencia a la tracción (estiramiento), resistencia al 2 % y 5 % de deformación, y espesores de la costilla.

Tabla 13

Propiedades mecánicas de la geomalla biaxial

Propiedades mecánicas	Unidades	Ensayo	EGB 30
Resistencia longitudinal a la tracción (MD).	kN/m	ASTM D 6637	30,0
Resistencia transversal a la tracción (TD).	kN/m	ASTM D 6637	30,0
Resistencia longitudinal al 2 % de deformación (MD).	kN/m	ASTM D 6637	10,5
Resistencia transversal al 2 % de deformación (TD).	kN/m	ASTM D 6637	10,5
Resistencia longitudinal al 5 % de deformación (MD).	kN/m	ASTM D 6637	21,0
Resistencia transversal al 5 % de deformación (TD).	kN/m	ASTM D 6637	21,0
Eficiencia de las juntas.	%	GRI GG2	93
Rigidez flexural.	mg-cm	ASTM D 1388	3 500 000
Espesor mínimo de la costilla longitudinal (MD).	mm	ASTM D 1777	2,00
Espesor mínimo de la costilla transversal (TD).	mm	ASTM D 1777	1,50
Estabilidad de las aperturas.	m-N/deg	COE Method	1,40

Nota. Tomado de Maccaferri (33), p. 1.

Se encontraron factores de refuerzo de la geomalla: trabazón entre la partícula de suelo y la geomalla (confinamiento lateral), aumento del soporte (capacidad portante) y la mejora de la distribución vertical de los esfuerzos, resultante de la tensión de una membrana deformada: el efecto membrana tensionada, que incrementa la resistencia al corte (13). En la Tabla 14 puede verse cómo se presenta la geomalla biaxial: un rollo de 3,95 m de ancho por 50 m de largo.

Tabla 14

Presentación del rollo de la geomalla biaxial

Presentación del rollo	Unidades	EGB 30
Ancho del rollo	m	3,95
Largo del rollo	m	50

Nota. Tomado de Maccaferri (33), p. 1.

Por lo mencionado anteriormente, el *Manual de carreteras suelos. Geología Geotecnia y Pavimentos* 2013, en su sección 9.12 (Estabilización con geosintéticos) se establece, como condición óptima para el uso de geosintético, un CBR menor a 3 y un módulo resiliente inferior a 4500 psi.

#### **2.2.4. Deflectometría**

La deflectometría estudia la deformación vertical de la superficie de la carretera, ya sea por cargas estáticas (vehículos detenidos) o cargas dinámicas (vehículos en movimiento). Por lo tanto, se puede afirmar que la deflexión es el comportamiento de un suelo frente a una carga.

De acuerdo con CONREVIAl, los valores de la deflexión están relacionados con valores admisibles en los métodos más recientes, como en la teoría de la elasticidad, ya que en el método la deflexión se emplea para ajustar o determinar el módulo elástico.

##### **2.2.4.1. Deflexión.**

La deflexión es el desplazamiento vertical de la línea horizontal de la superficie de la vía por acción de la carga (vehículos) que actúa en sentido perpendicular a la superficie.

En la Figura 20, se puede apreciar el desplazamiento vertical de una zona debajo de la carga. Este fenómeno físico recibe el nombre de cuenco de deflexión.

La deflexión es un indicativo de la calidad o capacidad de resistencia de la estructura de un pavimento, y se relaciona indirectamente con ella. En efecto, si la capacidad estructural es alta, entonces la deflexión será mínima; por el contrario, si la capacidad estructural es baja, entonces su deflexión será alta (34).

En una carretera, la carga se debe sobre todo al paso de los vehículos. En este caso, la respuesta de la superficie de la carretera a la carga aplicada producirá tensiones y deformaciones, y el desplazamiento resultante (deflexión) es muy pequeño en la dirección vertical: un milímetro o una milésima de milímetro (35).

La deflexión, producida por cargas dinámicas o estáticas, es un comportamiento elástico recuperable tradicional de la carretera. Sin embargo, la deformación plástica no se recupera y se va acumulando, ya que producirá falla por corte, la cual se puede visualizar en los ahuellamientos (36).

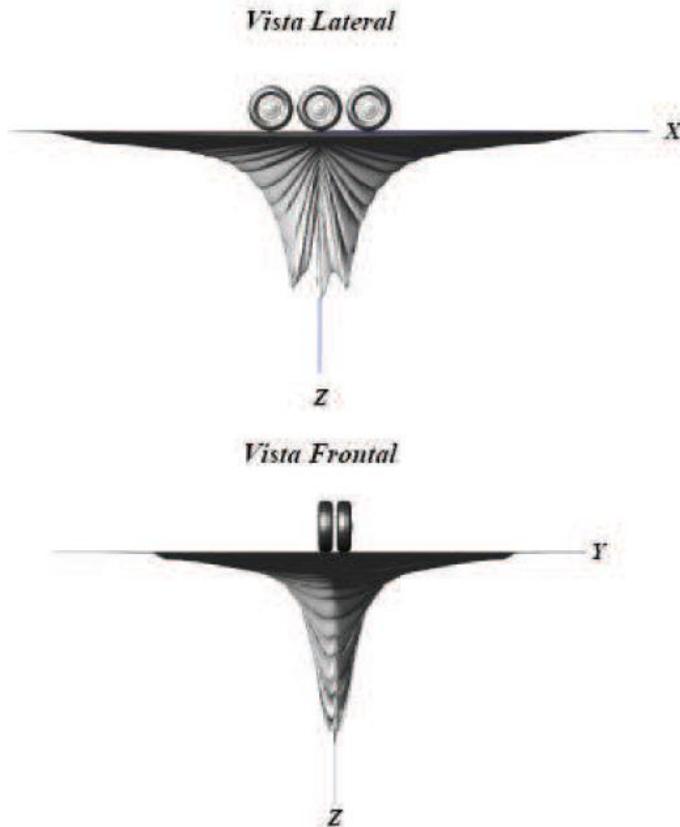


Figura 20. Deflexión, vista lateral y frontal.  
Tomado de Higuera (34), p. 75.

En la Figura 21 pueden visualizarse las diferentes deflexiones que produce una carga. Luego, se detalla cada una de ellas.

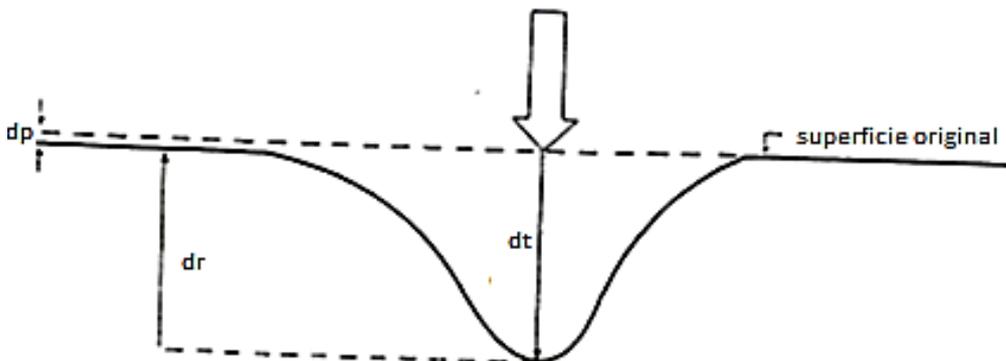


Figura 21. Deflexiones.  
Tomado de CONREVIAl (37), p. 94.

- **Deflexión total (dt):** Es aquella deformación total medida desde antes de aplicar la carga a la superficie hasta el momento en que se aplica.
- **Deflexión recuperable (dr):** Es la deflexión que recupera el pavimento después de que se retire la carga, y se utiliza para el modelado de cálculo inverso de la estructura del pavimento.

- **Deflexión residual o permanente ( $d_p$ ):** Es igual a la deflexión total menos la deflexión recuperable.

En la Figura 22 puede verse la deflexión ocasionada por la acción de una carga, la cual es cuantificada en unidades de mm,  $\mu\text{m}$  (0,001 mm).

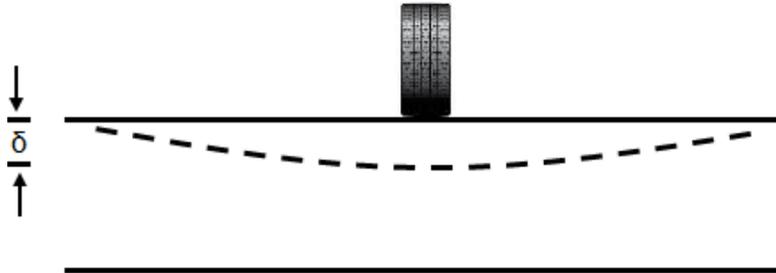


Figura 22. Deflexión.

#### **2.2.4.2. Deflectometría en la subrasante.**

Después de concluir con la conformación de la subrasante, se medirán sus deflexiones con un equipo deflectométrico (viga Benkelman), y de no haber observaciones se realizará el colocado de las siguientes capas superiores: subbase y base.

El objetivo de realizar mediciones de deflexiones en una vía en construcción es para obtener el módulo resiliente, el cual indicará si existe o no problemas específicos de baja resistencia comparados con el módulo resiliente de diseño, si fuese menor al del diseño se tendrá que mejorar la subrasante. El camión volquete para la viga Benkelman deberá tener las siguientes características, que están establecidas en el *Manual de carreteras* (16).

- Volquete cargado con peso en el eje posterior de 82 kN u 8,200 kg.
- Los neumáticos del eje posterior deberán presentar una presión de inflado de 80 psi.

#### **2.2.4.3. La viga Benkelman.**

Es un dispositivo deflectométrico que mide las deflexiones producidas por la acción de la carga del volquete en su eje posterior. Deberá llevar una carga de 8200 kg en el eje simple de dos ruedas para que su presión de inflado sea de 70 psi a 80 psi. La medición se realizará con el volquete en marcha lenta (18).

### 2.2.4.3.1. Generalidades.

En la Figura 23 se observa el equipo deflecométrico, que trabaja haciendo uso del principio de la palanca, ya que está constituido por un brazo móvil. Así, el punto D será el que se elevará cuando el peso del camión sea retirado lentamente, y el que transmitirá al dial el movimiento; y este último será el encargado de registrar este diminuto cambio vertical. El cuerpo fijo está constituido por los puntos A y B. Asimismo, el equipo también esta implementado con un vibrador para que el lector del dial no se atasque (38).

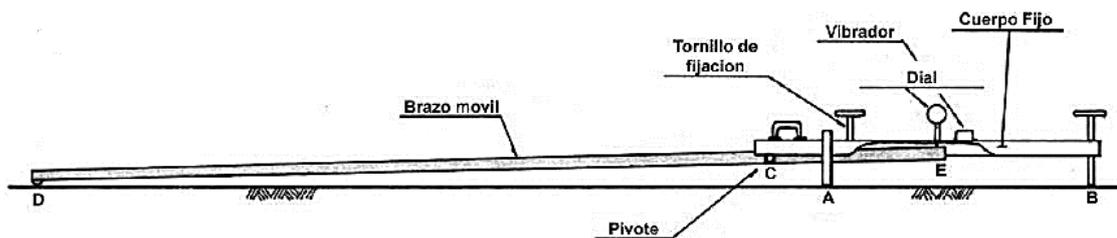


Figura 23. Viga simple de un solo brazo.  
Tomado del MTC (22), p. 963.

En la Figura 24 se aprecia geoméricamente el funcionamiento de la viga, el cual utiliza el principio fundamental de la palanca. En efecto, la posición cargada muestra la aplicación de una fuerza P sobre el punto D. Así, el camión de la viga avanzará lentamente hasta quedar en la posición descargada. El punto E será el encargado de la lectura de esta deformación vertical.

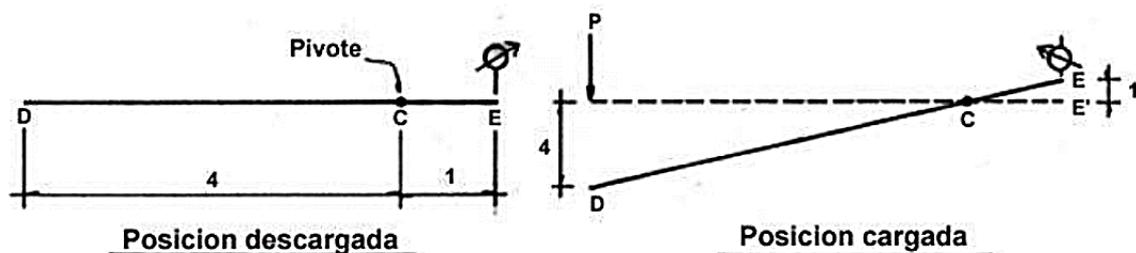


Figura 24. Posiciones de la viga Benkelman y los factores geoméricos que afectan la medición.  
Tomado del MTC (22), p. 963.

Para encontrar el verdadero valor de la deflexión, se debe conocer la geometría de la viga. El valor emitido por el dial no es el valor real, ya que este depende de la relación de brazos del tipo de viga utilizado (38).

La Tabla 15 puede verse la localización del punto de prueba con respecto al borde de la vía. Para esta investigación, tomando en cuenta el ancho del carril, se empleó una distancia de 0,90 m, ya que el ancho del carril fue de 4 m.

Tabla 15

Localización del punto de ensayo

Ancho del carril	Distancia del punto de ensayo desde el borde del pavimento
2,70 m	0,45 m
3,00 m	0,60 m
3,30 m	0,75 m
3,60 m o más	0,90 m

Nota. Tomado del MTC (22), p. 964.

En la Figura 25 se observa la posición inicial (imagen a) y la forma correcta de colocar la viga Benkelman. En las otras imágenes de esta (b, c y d), el volquete avanzará lentamente, mientras el técnico manipulador de este equipo tomará las deflexiones obtenidas al visualizar el dial.

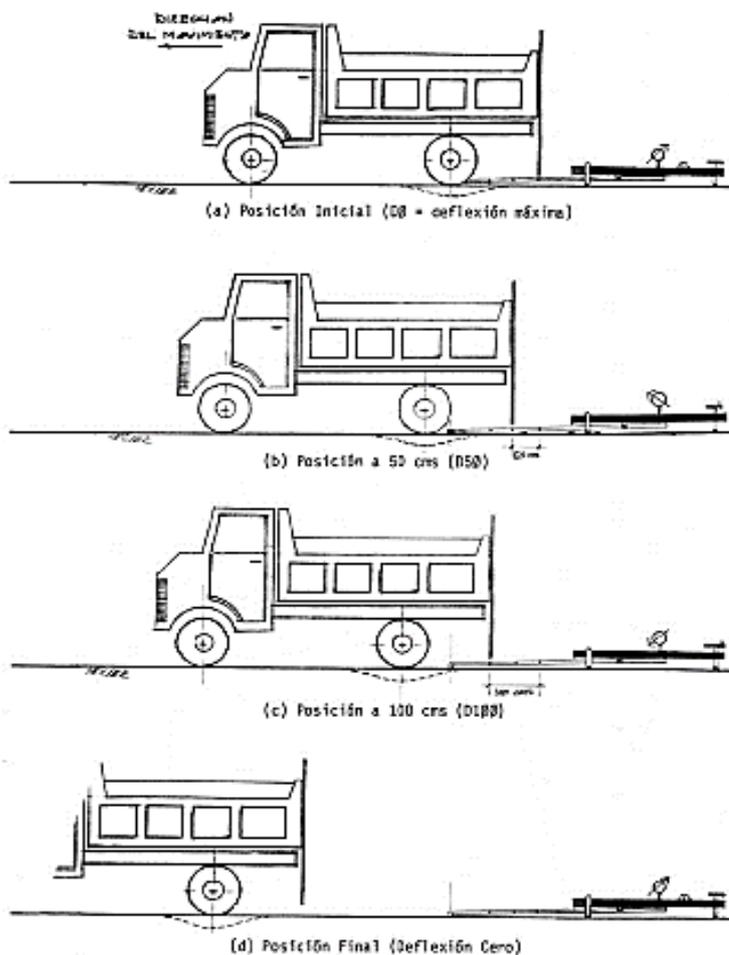


Figura 25. Esquematación de registro de las deflexiones con la viga Benkelman. Tomado de Hoffman y Del Águila (38), p. 18.

En la Figura 26 se visualiza el punto extremo D del movimiento vertical de la viga Benkelman, los cortes frontal y transversal, así como el radio de contacto A, obtenido de la raíz cuadrada de la mitad de la presión en relación con la presión de inflado.

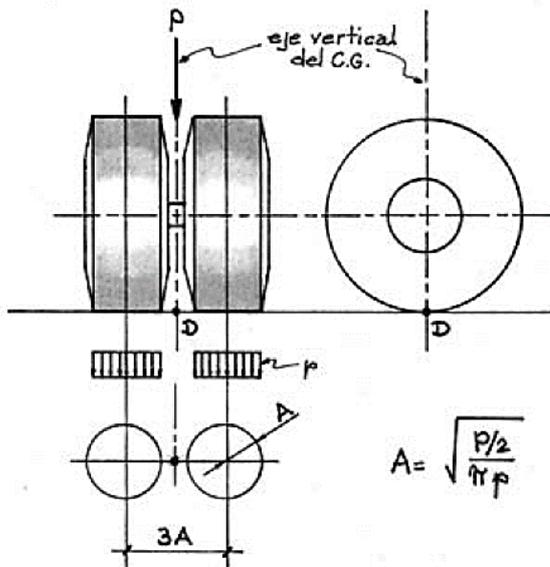


Figura 26. Punto de ubicación del extremo de la viga Benkelman. Tomado de Hoffman y Del Águila (38), p. 17.

En la Figura 27 se logra ver la correcta ubicación de la viga Benkelman. Se colocará una varilla de acero, que servirá de apoyo para la correcta toma de deflexiones por el lector del dial, al momento de avanzar el camión en velocidad lenta.

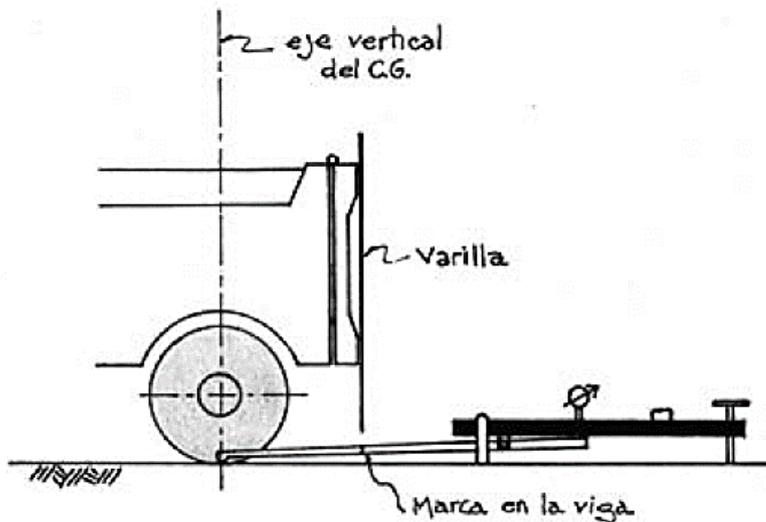


Figura 27. Vista lateral de la viga Benkelman. Tomado de Hoffman y Del Águila (38), p. 17.

#### 2.2.4.3.2. Cálculos de deflexión con la viga Benkelman.

La deflexión máxima se obtiene mediante la resta de la lectura inicial menos la lectura final (22).

$$D = (LF - LR) * RB$$

Donde:

D: Deflexión a una distancia R, en 0,01 mm.

LR: lectura del dial a una distancia R

LF: Lectura cuando el volquete ya no incide en el dial, lectura más alta

RB: Relación de brazos, para esta investigación se utilizó una RB de (1:2)

#### 2.2.4.3.3. *Corrección de la deflexión por estacionalidad.*

Las deflexiones varían durante el año, a lo largo de las estaciones. La corrección de la deflexión obtenida dependerá de si la medición se realiza fuera del periodo de tiempo –definido como periodo crítico–, o dentro del periodo crítico. El factor de corrección se aplica directamente a la deflexión característica. El estado de las precipitaciones, su relación con la subrasante y la estructura del pavimento es muy importante, sobre todo porque afecta las propiedades de los materiales, su respuesta a las cargas y porque provocan cambios indeseables en su volumen (37).

El nivel de saturación de un suelo influencia su deformación; por lo tanto, es conveniente realizar la toma de datos de la deflexión en épocas de lluvia. En caso contrario se deberá realizar la corrección por estacionalidad a la deflexión realizada (39).

En la Tabla 16, CONREVIAl estableció factores de corrección para las deflexiones, de acuerdo con la estación (lluviosa o seca).

Tabla 16

Tabla de factores de corrección por estacionalidad

Tipo de suelo de subrasante	Estación lluviosa	Estación seca
Arenosa – permeable	1,0	1,1 a 1,3
Arcillosa - sensible al agua	1,0	1,2 a 1,4

Nota. Tomado de CONREVIAl (37), p. 182.

Los valores de la referida tabla se utiliza para la corrección o ajuste de la deflexión tomada en campo, y teniendo en consideración también el tipo de suelo.

#### 2.2.4.3.4. *Variabilidad de la capacidad estructural: deflectograma.*

La generalización e introducción de la medición de la deflexión ha hecho contribuciones interesantes en el área de la mecánica de carreteras al revelar la falta de homogeneidad de sus capacidades estructurales; y a tal punto que incluso aquellas que se consideran correctamente diseñadas y construidas deben ser estudiadas con criterios de probabilidad (37).

La desuniformidad de datos de deflexión con una considerable dispersión, aun para puntos cercanos entre sí, se debe a la variabilidad de las propiedades de un suelo y al proceso de construcción. Fundamentalmente, esta desuniformidad es a causa del contenido de humedad y el nivel de densificación (37).

Teniendo en cuenta que no se puede considerar a los datos individuales de deflexión para interpretar los resultados de un tramo, es imprescindible disponer de una deflexión característica que represente a un tramo derivado de una evaluación. Para ello, los resultados recabados se convierten en gráficos basados en las progresivas, conocido como deflectograma, para que el conjunto de datos obtenidos se pueda visualizar de forma global. No deberán considerarse los datos extremos aislados, que distorsionarán los resultados y no serán representativos (37).

#### **2.2.4.3.5. Análisis estadístico de los resultados.**

Las investigaciones de deflexión recuperable han evidenciado que la deflexión en la sección de un suelo tiene una distribución de frecuencia similar a la distribución normal. Los criterios estadísticos también se pueden utilizar para comprobar si dos tramos son significativamente diferentes o si deben homogeneizarse (37).

#### **2.2.4.4. Evaluación estructural por deflectometría.**

El análisis de la superficie se complementa con el análisis estructural por deflectometría utilizando algún equipo deflectométrico. Se denomina deflectometría al estudio de la deformación vertical de la superficie de la carretera bajo una determinada carga. Una vez finalizada la medición, se realizará un deflectograma para analizar las diferencias en las capacidades de la estructura del pavimento existente. Finalmente, se determinará el sector con desempeño característico u homogéneo, y se definirá la deflexión característica (véase la Tabla 17) correspondiente a cada sector homogéneo, que es el más representativo del tramo (13).

La deflexión característica se define como aquella deflexión representativa de un determinado tramo o conjunto de datos. En este estudio, se utiliza la deflexión para caracterizar una zona o tramo de estudio. Esta es la suma de la deflexión media más una constante multiplicada por la desviación estándar de dicho tramo.

#### **2.2.5. Retrocálculo**

Se trata de un proceso mediante el cual se halla el módulo resiliente mediante las deflexiones superficiales. Para ello, se suelen utilizar programas informáticos, y se debe conocer previamente el espesor de cada capa e inferir un rango aproximado en el

que se encontrarán los resultados. Existen varios métodos y se pueden clasificar en: búsqueda iterativa, búsqueda de base de datos, espeor equivalente, cálculo directo (soluciones de forma cerrada), redes neuronales, algoritmos genéticos y análisis dinámico (18).

Tabla 17

Deflexión característica según el tipo de carretera

Tipo de carretera	Deflexión característica Dc	Observación
Autopistas: carreteras de IMDA mayor de 6000 veh/día, de calzadas separadas, cada una con dos o más carriles.	$Dc = Dm + 1,645xds$	Deflexión característica, para una confiabilidad del 95 %.
Carreteras duales o multicarril: carreteras de IMDA entre 6000 y 4001 veh/día, de calzadas separadas, cada una con dos o más carriles.	$Dc = Dm + 1,645xds$	Deflexión característica, para una confiabilidad del 95 %.
Carreteras de primera clase: carreteras con un IMDA entre 4000-2001 veh/día, de una calzada de dos carriles.	$Dc = Dm + 1,645xds$	Deflexión característica, para una confiabilidad del 95 %.
Carreteras de segunda clase: carreteras con un IMDA entre 2000-401 veh/día, de una calzada de dos carriles.	$Dc = Dm + 1,282xds$	Deflexión característica, para una confiabilidad de 90 %.
Carreteras de tercera clase: carreteras con un IMDA entre 400-201 veh/día, de una calzada de dos carriles.	$Dc = Dm + 1,282xds$	Deflexión característica, para una confiabilidad de 90 %.
Carreteras de bajo volumen de tránsito: carreteras con un IMDA $\leq 200$ veh/día, de una calzada.	$Dc = Dm + 1,036xds$	Deflexión característica, para una confiabilidad de 85 %.

Nota. Dc = Deflexión característica, Dm = Deflexión media, ds = desviación estándar. Tomado de MTC (13), p. 198.

La deflexión es una característica de una vía y está relacionada con su módulo resiliente. Esta relación es indirecta: si la deflexión es baja, el módulo resiliente será alto (12).

### 2.2.5.1. Kenlayer.

Este *software* fue desarrollado por Yang Huang en 1993, en la Universidad de Kentucky, en Estados Unidos; y es utilizado para el análisis de pavimentos flexibles. Se puede utilizar en el sistema de dos capas, sometido a cargas de eje simple, rueda doble y de manera elástica lineal.

El programa informático Kenlayer se aplica solo a pavimentos flexibles sin juntas ni capas rígidas. La columna vertebral de Kenlayer es la solución para un sistema elástico multicapa bajo un área de carga circular. Las soluciones se superponen para múltiples ruedas, se aplican iterativamente para capas no lineales y se colocan en varios momentos en capas viscoelásticas. Como resultado, el Kenlayer se puede aplicar a sistemas de capas debajo de ruedas simples, duales, tándem o trídem duales con cada capa. Así, se comporta de manera diferente, ya sea elástica lineal, no lineal elástica o viscoelástica (23).

### 2.2.5.2. Análisis de la información.

El estudio denominado «deflectómetro de impacto para estimar módulos resilientes de subrasante» de la Universidad de Mississippi propuso los siguientes valores para ajustar el módulo resiliente retrocalculado:

$$Mr = CMrr$$

Donde:

Mr = Módulo resiliente de la subrasante

Mrr = Módulo resiliente de retrocálculo de la subrasante

C = Factor de ajuste

Lo mencionado anteriormente se aprecia en la Tabla 18.

Tabla 18

Factor de ajuste C

Tipo y localización de la capa	Factor de ajuste - C
Base granular/subbase bajo capas estabilizadas con cemento-PCC	1,32
Base granular/subbase bajo capas asfálticas	0,62
Base granular/subbase entre capas estabilizadas con asfalto	1,43
Subrasantes bajo subrasantes mejoradas	1,32
Subrasante bajo capas asfálticas o de concreto	0,52
Subrasantes bajo capas granulares de base/subbase	0,35

Nota. Tomado de la Universidad de Mississippi (40), p. 16.

Se utilizará el factor de ajuste C para ajustar el módulo resiliente retrocalculado según el tipo y localización de la capa; pero para subrasantes bajo y subrasantes mejoradas, se elegirá un factor de 1,32.

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

### **2.3.1. Conformación**

La conformación es el trabajo realizado por un conjunto de equipos, el camión cisterna realizará la humidificación del material para que este llegue a su densidad apropiada. Luego, la motoniveladora formará capas y el rodillo compactar (41).

### **2.3.2. Pavimento**

El pavimento está formado por un conjunto de capas relativamente horizontales, apiladas unas sobre otras; y estas capas están técnicamente diseñadas y construidas con materiales adecuados y densificados. El pavimento está compuesto por varias capas, y se apoya sobre una subrasante. Estas capas han de resistir las cargas cíclicas de tránsito por un tiempo de vida para la cual fueron diseñadas (15).

### **2.3.3. Pavimento flexible**

Está conformado por materiales bituminosos y granulares (23). La capa de hormigón asfáltico, que puede tener dos o más subcapas, se coloca encima de las capas base y subbase granular, ubicada en la parte superior de la subrasante (42).

### **2.3.4. Terraplén**

Es el volumen de material de relleno situado encima del terreno natural. La base y el cuerpo se conformarán en capas de 0,30 m y se compactarán al 90 % de la densidad seca máxima de la prueba de Próctor modificada. La corona es la capa superior del terraplén y tendrá un espesor de 0,30 m, que formarán capas de 0,15 m (13).

### **2.3.5. Esfuerzo**

Es fuerza por unidad de área, sus unidades son MPa, psi.

$$\sigma = \frac{\text{Carga}}{\text{Area}} = \frac{F}{A}$$

### **2.3.6. Deformación unitaria**

Es la variación de la longitud entre la longitud original, siendo su unidad adimensional.

$$\varepsilon = \frac{\text{Cambio de longitud}}{\text{Longitud original}} = \frac{\Delta L}{L}$$

### 2.3.7. Rigidez

La rigidez es el esfuerzo dividido por la deformación, tal como se muestra en la siguiente fórmula:

$$Rigidez = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$

### 2.3.8. Módulo de Poisson

Es la relación entre la deformación lateral y la deformación axial (véase la Figura 28).

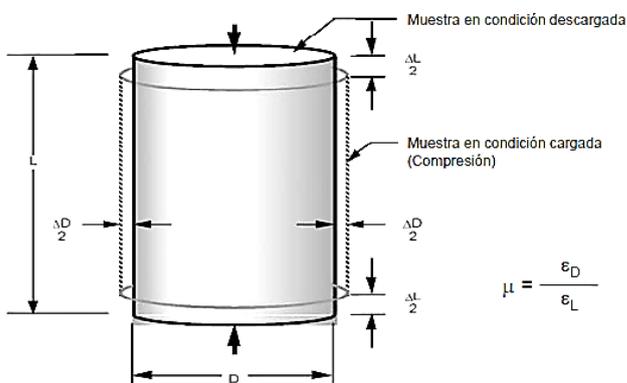


Figura 28. Módulo de Poisson.  
Tomado de Del Águila (43), p. 5.

Los valores típicos de módulo de Poisson del suelo de la subrasante oscilan en un rango de 0,30 a 0,50. El valor depende del tipo de suelo de subrasante. Para materiales no cohesivos, emplear el valor cercano a 0,30; para arcillas muy plásticas, 0,50 (suelos cohesivos); y para suelo de subrasante considerar un valor típico de 0,40 (18).

## **CAPÍTULO III. METODOLOGÍA**

### **3.1. Métodos y alcance de la investigación**

#### **3.1.1. Tipo de investigación**

Es aplicada, porque su objetivo es resolver problemas. En esta investigación se plantearon los problemas relacionados a las excavaciones profundas en suelos blandos con CBR menores a 6 %. La solución es mediante la aplicación de geomallas, de manera que se puede mejorar la respuesta estructural de la subrasante.

#### **3.1.2. Enfoque de la investigación**

La presente investigación es cuantitativa, ya que se usaron los datos de la medición numérica para probar la hipótesis.

#### **3.1.4. Nivel de la investigación**

Es explicativa, porque tiene como objetivo dar respuesta a la causa del evento. Se enfoca en explicar por qué suceden los eventos y bajo qué circunstancias se relacionan los fenómenos de dos variables.

### **3.2. Diseño de la investigación**

Es experimental, ya que representa un estado de control en el que se manipulan las variables independientes (causa: geomalla biaxial) para analizar el efecto de esa operación sobre la variable dependiente (efecto: respuesta estructural).

### 3.3. Población y muestra

#### 3.3.1. Población

Son las vías de la Urbanización Taparachi de la ciudad de Juliaca.

#### 3.3.2. Muestra

Suelo de subrasante de baja capacidad portante en la parte sur de la Urbanización Taparachi. Se obtuvieron los datos con la viga Benkelman en un área total de 80 m<sup>2</sup> (40 m<sup>2</sup> en la zona con geomalla y 40 m<sup>2</sup> en la zona sin geomalla). Se tomaron 30 puntos de inspección: 15 en la zona con geomalla y 15 en la zona sin geomalla (véase la Figura 29).

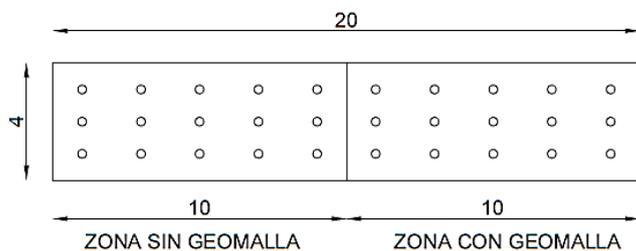


Figura 29. Vista en planta de los puntos de inspección.

### 3.4. Técnicas e instrumentos para la recolección de datos

#### 3.4.1. Técnicas

Se utilizaron técnicas cuantitativas de recolección de datos numéricos.

#### 3.4.2. Instrumentos

**Plan de obtención de datos:** realizado mediante técnicas de observación y medición. También se utilizaron documentos publicados en la web, como libros, artículos o tesis, fotos, documentos, etc.; así como pruebas *in situ* y laboratorio.

**Plan de análisis e interpretación de resultados:** se realizaron pruebas en el laboratorio de mecánica de suelos. Se empleó la viga Benkelman en el experimento de 20 m x 4 m para obtener datos y su posterior análisis e interpretación.

### 3.5. Operacionalización de variables

Es el proceso por el cual se convierte una variable teórica en una variable observable empíricamente, para que pueda ser medida. Cabe señalar que la variable que se operará es la dependiente, ya que es la que tendrá un comportamiento variable. Esto se presenta en la Tabla 19.

Tabla 19

Operacionalización de variables

Variables	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Escala de medición
<b>Independiente</b>					
<b>Geomalla biaxial</b>	Una geomalla es una estructura hecha de polímero que está formada por una red de costillas que están enlazadas entre sí de manera integral y tienen aperturas lo bastante grandes como para posibilitar la trabazón del suelo, la piedra u otro material circundantes. La geomalla biaxial es una alternativa de refuerzo para suelos con baja capacidad de soporte.	La geomalla biaxial es una alternativa de refuerzo para suelos con baja capacidad de soporte. Se determinará su aporte estructural en un experimento con geomalla y sin geomalla.	Adición de la geomalla	Con geomalla	Nominal
				Sin geomalla	
<b>Dependiente</b>					
<b>Deflexión</b>	La deflexión es la deformación elástica que sufre un pavimento bajo la acción de una carga rodante normalizada, de acuerdo con el manual de ensayo de materiales del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (13). Además, según Higuera (2010), la deflexión es un indicativo de la calidad o capacidad resistiva de la estructura de un pavimento, y se relaciona indirectamente. Si la capacidad estructural es alta, entonces la deflexión será mínima. En caso contrario si la capacidad estructural del pavimento es pésima, entonces la deflexión será alta.	La deflexión es la respuesta estructural de una subrasante y esta será controlada mediante la deflexión máxima promedio y la deflexión característica.	Respuesta estructural	Deflexión máxima promedio	Razón
				Deflexión característica	

### 3.6. Metodología del trabajo

A continuación, se muestra el proceso de construcción del experimento.

#### 3.6.1. Proceso constructivo del experimento

Este experimento se desarrolló en un terreno ubicado al lado sur de la avenida Circunvalación en la Urbanización Taparachi de Juliaca. Este consistió en la limpieza de terreno natural y la conformación de una superficie de 4 m de ancho x 20 m de largo x 0,30 cm de espesor, que se rellenó con material de cantera en dos capas de 15 cm de espesor.

Se muestra la vista en planta de la zona del experimento (Figura 30), que está conformada por 20 m de subrasante: los 10 m iniciales es la zona sin geomalla o tramo de control, y los 10 m restantes es la zona con geomalla o zona de estudio.

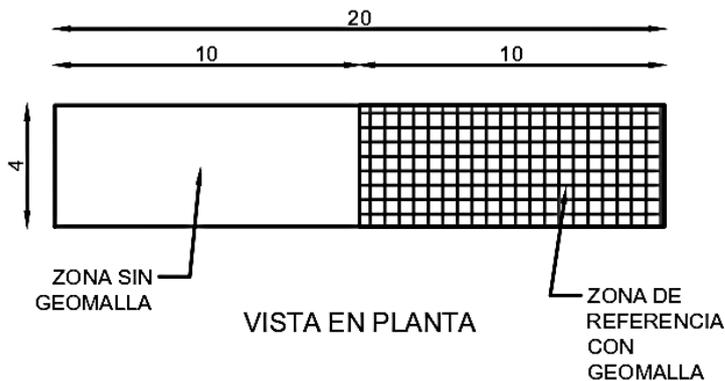


Figura 30. Vista en planta del experimento.

En la Figura 31 se presenta la vista de perfil de la zona del experimento, el cual consiste en suelo natural y material de relleno de 30 cm. También, debajo del material de relleno, a una distancia de 10 metros, se colocó una geomalla biaxial en la zona de estudio.

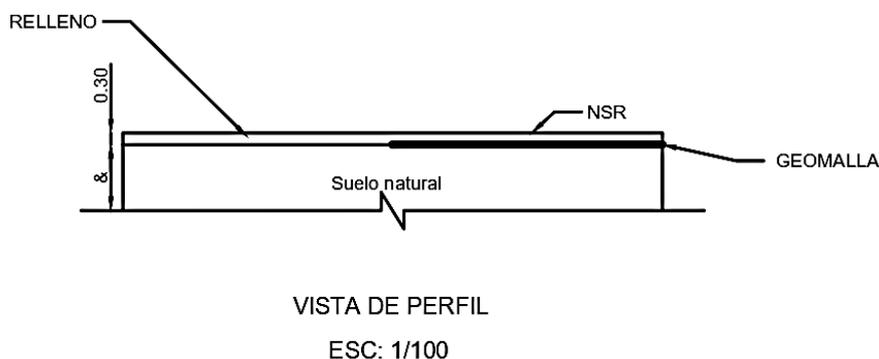


Figura 31. Vista de perfil del experimento.

A continuación, se muestra en forma secuencial la construcción del experimento.

### 3.6.1.1. *Desbroce y limpieza del terreno.*

Previo al tendido de la geomalla biaxial, se realizó el desbroce y limpieza del terreno. Para ello, se usó una motoniveladora y un rodillo para la compactación del terreno natural. En la Figura 32 se visualiza el terreno natural de estudio, repleto de material orgánico de baja altura, antes de empezar con los trabajos de investigación para la presente tesis.



Figura 32. Terreno natural de la Urbanización Taparachi de Juliaca.

Luego, se realizó la partida desbroce y limpieza en zonas no boscosas (véase la Figura 33) con usando una motoniveladora, con cuya cuchilla se desbrozó un área de 20 m de largo por 5 m de ancho; y también niveló dicha zona.



Figura 33. Desbroce y limpieza de terreno natural.

### 3.6.1.2. Colocado de geomalla biaxial al área correspondiente.

Solo se colocó la geomalla biaxial en los 10 m de longitud; en los restantes 10 m, no, ya que el experimento su buscó comparar la subrasante mejorada con geomalla y sin geomalla. Todo esto se realizó después de haber perfilado y compactado el área de terreno natural (véase la Figura 34).



Figura 34. Geomalla biaxial en tramo experimental.

Posterior al colocado de la geomalla biaxial, esta se extendió de su rollo, tal como se puede observar en la Figura 35; y también se sujetó al suelo para luego transportar el material de cantera o material de relleno sobre la geomalla.



Figura 35. Extendido de geomalla biaxial en terreno natural.

En la Figura 36 se puede apreciar la geomalla colocada o extendida en el terreno desbrozado y compactado por un rodillo vibratorio. Luego a esto se formó un relleno de 0,30 m en dos capas. Cada capa tuvo una altura de 15 cm y estas alturas permitieron realizar un buen trabajo, así como obtener una óptima densificación del material de mejoramiento.



Figura 36. Geomalla biaxial colocado en terreno natural.

### 3.6.1.3. Transporte de material granular

Se trasladó material para relleno de terraplén de la cantera Taparachi de Juliaca (véase la Figura 37) para conformar la subrasante. Previamente, este material fue sometido a pruebas de calidad en laboratorio, como el CBR. Esto se realizó para obtener la capacidad presente en dicho suelo.



Figura 37. Vaciado de material de relleno sobre tramos de control y experimental.

### 3.6.1.4. Terraplén con material de cantera.

Se realizó la conformación de la primera capa, a una altura de 15 cm, en los 20 m x 4 m. En los primeros 10 m x 4 m, en la parte inferior, se tendió la geomalla biaxial (antes de colocar el material granular); y en los otros 10 m x 4 m, se colocó material de la cantera Taparachi sin geomalla, como se muestra en la Figura 38. Para ello, se utilizó una motoniveladora, un camión cisterna y un rodillo vibratorio.



*Figura 38.* Conformación de material de relleno.

Después de haber terminado la primera capa de 15 cm, se procedió a conformar la capa final de 15 cm para completar los 30 cm de relleno de terraplén a nivel del subrasante. En la Figura 39 puede observarse la densificación con el rodillo Caterpillar.



*Figura 39.* Compactado de material de relleno.

En las especificaciones técnicas generales para construcción, se establece una partida llamada «transporte de material». Para este estudio, como se mencionó anteriormente, se realizó el transporte de material adecuado para utilizarlo como relleno de la cantera Taparachi. Así, se colocó el material en forma esparcida para que la motoniveladora lo arrastre y le de forma con facilidad (véase la Figura 40).

Asimismo, la Figura 41 muestra la compactación con rodillo vibratorio sobre una segunda capa de 15 cm de altura rellena con material de la cantera Taparachi. Luego, se perfilará con la motoniveladora y se densificará nuevamente el material de la subrasante.



*Figura 40.* Vaciado del material de relleno.



*Figura 41.* Compactado de material de relleno.

Se aprecia el reconformado o perfilado final con la motoniveladora, que será el último trabajo que esta realice (véase la Figura 42). Luego, se pasará el rodillo vibratorio sobre la capa perfilada hasta que alcance su densificación apropiada.



*Figura 42.* Reconformado de la subrasante.

El compactado final de la subrasante se realiza luego de que la motoniveladora profile su nivel. Así, el rodillo compactará varias veces el material perfilado hasta que este alcance su densificación adecuada (véase la Figura 43), y recorrerá todo el tramo repetidas veces de ida y vuelta.



*Figura 43.* Compactado final de la subrasante.

#### **3.6.1.6. Drenaje de cunetas**

Por último, para terminar el proceso constructivo del terraplén a nivel de la subrasante, se realizó un drenaje para que la estructura de la vía no colapse o se deteriore, la cual consiste en una cuneta de tierra de casi 0,60 m x 0,30 m de forma triangular (véase la Figura 44).



*Figura 44.* Habilitación de cunetas.

#### **3.6.2. Mediciones con la viga Benkelman (recolección de datos)**

Los métodos utilizados son las llamadas evaluaciones no destructivas. La medición de la deflexión es un ensayo no destructivo, que tiene un alto rendimiento operativo y con el que se puede obtener una gran cantidad de resultados deterministas

en poco tiempo, y reducir al mínimo el número necesario de ensayos destructivos – perforaciones– (37).

La medición con la viga Benkelman se aplicó al experimento realizado específicamente para esta investigación.

El material de relleno fue sometido a los siguientes ensayos: granulometría, límites de Atterberg, clasificación, Próctor y CBR.

### 3.6.2.1. Densidad *in situ*

También se realizaron pruebas de densidad *in situ* con el equipo cono de arena.

La prueba de densidad de campo (véase la Figura 45), también conocido como ensayo de cono de arena, permite conocer el grado de compactación o densidad del suelo conformado. Este ensayo utiliza la fórmula básica de la densidad y masa sobre volumen. La determinación de la densidad se realizará a la subrasante terminada.



Figura 45. Prueba de densidad de campo.

### 3.6.2.2. Viga Benkelman

Finalmente, se tomaron medidas en los tramos con y sin geomalla. Las mediciones se realizaron con la viga Benkelman del laboratorio de suelo de la Universidad Andina NCV, la cual tiene las especificaciones que se muestran en la Tabla 20.

Tabla 20

Características de la viga Benkelman

Características	Medidas
Relación de brazo.	2:1
Longitud del brazo de prueba del pivote al punto de prueba.	2,44 m
Longitud del brazo desde el pivote hasta el extensómetro.	1,22 m

Para la prueba, se tomaron deflexiones con el camión cargado en su eje posterior con 8200 kg, con una presión de inflado de la llanta de 80 psi, y con una viga Benkelman de dos brazos, con los cuales se obtuvieron 15 datos de deflexiones del tramo de prueba (tramo con geomalla): 5 en el eje derecho, 5 en el eje central y 5 en el eje izquierdo. Lo mismo se realizó para el tramo de control (tramo sin geomalla), en el cual se tomaron 15 deflexiones en sus ejes derecho, centro e izquierdo, con una separación de 2 m. Antes de la toma se midieron y se señalaron los puntos a tomar la deflexión, tal como se muestra en la Figura 46.



*Figura 46.* Toma de las deflexiones con viga Benkelman.

## CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. Análisis del CBR del suelo natural

Son clasificados como subrasante pobre los suelos con  $CBR \geq 3\%$  a  $CBR < 6\%$  de acuerdo con el *Manual de carreteras, suelos, geología, geotecnia y pavimentos* 2013, del MTC. En dicho manual, en el ítem *g*, con respecto a los Ensayos CBR, se indica lo siguiente: «se determinará el CBR al 95 % de la MDS y a una penetración de 2,54 mm de carga» (p. 38).

Como se puede ver en la Tabla 21 (CBR del terreno natural), se obtuvo un valor de CBR del 4,1 % al 95 % de la MDS del suelo del terreno natural, el cual está categorizado como una subrasante pobre.

Tabla 21

CBR del terreno natural

<b>Penetración:</b>	<b>0,1"</b>
95 % MDS	4,1 %

#### Discusión:

El resultado obtenido de CBR 4,1 % guarda relación con lo sostenido por Sucasaire (44). En efecto, en dicha investigación halló que el terreno natural en la Urbanización Taparachi tenía un CBR *in situ* promedio de 3,8 %. Estos valores son inferiores al 6 %, lo cual se considera que es una subrasante pobre.

## 4.2. Interpretación de datos del laboratorio del material de relleno

### 4.2.1. CBR del material de relleno

Según el *Manual de carreteras, suelos, geología, geotecnia y pavimentos 2013* del MTC, se consideran materiales aptos para el relleno aquellos con CBR mayor o igual al 6 %.

En la presente investigación, el valor de CBR obtenido al 95 % de la MDS del material de la cantera Taparachi fue de 29 %; es decir, tiene una subrasante muy buena, y, por lo tanto, es apto para considerarse como material de relleno (véase la Tabla 22).

Tabla 22

CBR del material de relleno

Resultado de CBR		
Penetración:	0,1"	M.D.S. (gr/cm <sup>3</sup> ):
100 % MDS	54,5 %	2,12
95 % MDS	29,0 %	2,01

### 4.2.2. Resumen de las propiedades físico-mecánicas del material de relleno

Según el *Manual de carreteras y especificaciones técnicas generales para construcción EG-2013* del MTC, el material de relleno para la subrasante debe cumplir ciertos requerimientos de calidad del material. De acuerdo con lo anterior, se presentan las siguientes propiedades del material analizado:

- **Granulometría:** El tamaño máximo establecido en los requisitos de los materiales de relleno de terraplén es 7,5 cm para la corona; 10 cm para el cuerpo; y 15 cm para la base. El material de relleno utilizado en la cantera Taparachi tiene un máximo de 5 cm. Si se cumple con este requisito de calidad, el tipo de material es A-1-b, de acuerdo con la clasificación ASSTHO y GW-GC; y con la clasificación SUCS. Este material es una grava bien gradada con arcilla y cumple con el tipo de material requerido por la norma EG-2013.
- **Límites de consistencia:** Los límites de consistencia obtenidos del material de relleno fueron los siguientes: límite líquido de 39,22 y límite plástico de 21,86. Según el *Manual de carreteras, suelos, geología, geotecnia y pavimentos 2013*, se tiene un índice de plasticidad de 17,36, o sea, se trata de suelos con características arcillosas. El IP requerido por la norma EG 2013 es menor a 10.

La Tabla 23 muestra los rangos de índice de plasticidad para caracterizar el suelo. El IP del suelo de relleno fue de 17,36, y este valor está en el rango de plasticidad media, lo que indica ser un suelo arcilloso.

Tabla 23

Selección del tipo de suelo según el índice de plasticidad

Índice de plasticidad	Plasticidad	Características
IP > 20	Alta	Suelos muy arcillosos
IP ≤ 20 > 7 IP	Media	Suelos arcillosos
IP < 7	Baja	Suelos poco arcillosos
IP = 0	No Plástico (NP)	Suelos exentos de arcilla

Nota. Tomado de Ministerio de Transportes y Comunicaciones (13), p. 37.

- **Abrasión de Los Ángeles:** La norma MTC E 207 establece un desgaste de Los Ángeles de 60 % máximo. Según el ensayo realizado en el laboratorio de mecánica de suelos se obtuvo que la resistencia al desgaste fue de 71,65 % y la pérdida, de 28,35 %.

#### Discusión:

Estos resultados obtenidos tienen relación con lo que manifestado por Huamaní (45), cuando menciona los resultados del tipo de suelo: GW; el índice de plasticidad: 13,34 %; y el desgaste de los Ángeles: 22,72 %.

#### 4.3. Determinación y análisis de las deflexiones

Para la determinación de las deflexiones en campo se utilizó la viga Benkelman, que posee una relación de brazos 1:2, para producir la carga de un camión de 8200 kg en su eje posterior con una presión de inflado de 80 psi.

Mediante la viga Benkelman se obtuvieron las lecturas del dial en 10<sup>-2</sup> mm y se tomaron datos en 15 puntos por tramo (5 en el eje izquierdo, 5 en el eje central y 5 en el eje derecho).

Luego, se hicieron los cálculos para obtener las deflexiones (véase la Tabla 24), a partir de la siguiente ecuación de cálculos de deflexión, que establece el *Manual de ensayo de materiales* (2016) del MTC:

$$D = (LF - LR) * RB$$

Donde:

D: Deflexión a la distancia R, expresada en 0,01 mm.

LR: Lectura a la distancia R

LF: Lectura máxima

RB: Relación de brazos de la viga Benkelman 1:2 (en nuestro caso es 2).

De la Tabla 24 se utilizó la deflexión máxima conocida también como deflexión a la distancia cero ( $D_0$ ) para el análisis del presente trabajo de investigación.

En la Tabla 25 se muestran datos de campo (lecturas del dial) obtenidos con el deflectómetro del tramo de estudio o también llamado tramo experimental con geomalla. Después, se realizaron los cálculos de las deflexiones. Siguiendo los procedimientos estipulados en la norma MTC E 1002, se logró determinar las deflexiones de cada punto utilizando los procedimientos de cálculo para un deflectómetro de viga simple.

En la Tabla 25 se visualizan las deflexiones obtenidas del tramo de estudio. También es importante señalar que el factor de corrección estacional es igual a 1, debido a que la recolección de datos se realizó durante la temporada de lluvias, por lo que el cálculo de las deflexiones para el tramo de control y el tramo experimental no varían.

Los resultados de la viga Benkelman se utilizan sobre todo en la evaluación y diseño de sobrecarga o refuerzo, lo que requiere el cálculo de la deflexión característica, comúnmente utilizado como entrada para calcular el refuerzo en el método del Instituto del Asfalto.

La división de Carreteras de California recomienda usar un percentil del 80 % para el cálculo de la deflexión característica. Dicho valor es casi igual al valor de diseño del 85 % del Asphalt Institute. La selección de estos valores se basa en la sensibilidad del trabajo estadístico, es decir, cuando se trata de dispersión estadística más o menos al 80 % producirá resultados extremos, que conducirán a un sobredimensionamiento de un pavimento o un diseño insuficiente (46).

$$D_c = D_m + 1,036xds$$

Donde:

Dc: Deflexión característica

Dm: Deflexión media

ds: desviación estándar

Tabla 24

Lecturas del dial y cálculo de deflexiones en el tramo de control (sin geomalla)

Prog.	Lado	Lectura de dial ( $\times 10^{-2}$ ) mm						Resultados de deflexión ( $\times 10^{-2}$ ) mm				
		Lo	L (25 cm)	L (50 cm)	L (75 cm)	L (100 cm)	Lf	D0	D25	D50	D75	D100
0+001	Izquierdo	0	5	26	51	64	78	156	146	104	54	28
0+003	Izquierdo	0	12	40	55	64	81	162	138	82	52	34
0+005	Izquierdo	0	7	32	52	63	89	178	164	114	74	52
0+007	Izquierdo	0	9	30	45	64	90	180	162	120	90	52
0+009	Izquierdo	0	2	14	18	28	45	90	86	62	54	34
0+001	Centro	0	8	21	40	58	81	162	146	120	82	46
0+003	Centro	0	7	23	41	58	82	164	150	118	82	48
0+005	Centro	0	2	19	48	62	84	168	164	130	72	44
0+007	Centro	0	10	30	60	80	104	208	188	148	88	48
0+009	Centro	0	10	28	58	81	102	204	184	148	88	42
0+001	Derecho	0	8	30	39	59	91	182	166	122	104	64
0+003	Derecho	0	2	11	30	48	76	152	148	130	92	56
0+005	Derecho	0	1	13	30	49	72	144	142	118	84	46
0+007	Derecho	0	5	34	49	79	103	206	196	138	108	48
0+009	Derecho	0	4	35	49	60	74	148	140	78	50	28

Tabla 25

Lecturas del dial y cálculo de las deflexiones del tramo experimental (con geomalla)

Prog.	Lado	Lectura de dial ( $\times 10^{-2}$ ) mm						Resultados deflexión ( $\times 10^{-2}$ ) mm				
		Lo	L (25 cm)	L (50 cm)	L (75 cm)	L (100 cm)	Lf	D0	D25	D50	D75	D100
0+001	Izquierdo	0	2	21	49	58	70	140	136	98	42	24
0+003	Izquierdo	0	4	23	42	54	72	144	136	98	60	36
0+005	Izquierdo	0	3	20	48	57	87	174	168	134	78	60
0+007	Izquierdo	0	2	18	42	60	85	170	166	134	86	50
0+009	Izquierdo	0	6	28	52	70	93	186	174	130	82	46
0+001	Centro	0	10	31	50	70	84	168	148	106	68	28
0+003	Centro	0	5	20	40	55	70	140	130	100	60	30
0+005	Centro	0	8	27	49	62	84	168	152	114	70	44
0+007	Centro	0	9	29	49	57	84	168	150	110	70	54
0+009	Centro	0	15	38	65	73	90	180	150	104	50	34
0+001	Derecho	0	3	15	55	75	99	198	192	168	88	48
0+003	Derecho	0	1	18	34	55	80	160	158	124	92	50
0+005	Derecho	0	2	14	40	50	80	160	156	132	80	60
0+007	Derecho	0	1	17	40	54	81	162	160	128	82	54
0+009	Derecho	0	1	13	22	44	82	164	162	138	120	76

La deflexión característica representa mejor una determinada sección (11).

En la Tabla 26, considerando las deflexiones máximas para realizar los cálculos del tramo de control (sin geomalla), se puede visualizar la media de  $166,93 \times 10^{-2}$  mm, una desviación estándar de 30 y un coeficiente de variación del 18 %. Así, se obtiene una deflexión característica de  $197,66 \times 10^{-2}$  mm.

Tabla 26

Deflexión característica del tramo de control (tramos sin geomalla)

Progresiva	Lado	Resultados deflexión ( $\times 10^{-2}$ ) mm Do
0+001	Izq.	156
0+003	Izq.	162
0+005	Izq.	178
0+007	Izq.	180
0+009	Izq.	90
0+001	Eje	162
0+003	Eje	164
0+005	Eje	168
0+007	Eje	208
0+009	Eje	204
0+001	Der.	182
0+003	Der.	152
0+005	Der.	144
0+007	Der.	206
0+009	Der.	148
<b>Promedio (X)</b>		<b>166,93</b>
Desviación estándar (s)		30
Coeficiente de variación		18 %
<b>Deflexión característica (X+1,036s)</b>		<b>197,66</b>

Tal como se puede ver en la Tabla 27 del tramo de estudio (con geomalla), se obtuvo una media de  $165,47 \times 10^{-2}$  mm y una deflexión característica de  $182,16 \times 10^{-2}$  mm. El valor de s indica la dispersión del resultado en pavimentos con el mismo valor promedio. El coeficiente de variación porcentual indica un mayor o menor grado de dispersión, y oscila entre 10 % y 40 % según el estudio de rehabilitación de carreteras en el país.

De acuerdo con lo que se puede observar en la Figura 47, al comparar los deflectogramas de ambos tramos, se puede notar a simple vista que el tramo con geomalla obtiene menores deflexiones y sectores más homogéneos, pasando de una deflexión característica de  $198 \times 10^{-2}$  mm a una de  $182 \times 10^{-2}$  mm.

En la Tabla 28 se muestra que las deflexiones promedio y las deflexiones características de ambos tramos tienen una disminución de 1 % y 8 %, respectivamente,

al utilizar la geomalla. Se debe mencionar que esta disminución no es significativa al realizar un análisis estadístico.

Tabla 27

Deflexión característica del tramo experimental (tramo con geomalla)

Progresiva	Lado	Resultados deflexión (x 10 <sup>-2</sup> ) mm Do
0+001	Izq.	140
0+003	Izq.	144
0+005	Izq.	174
0+007	Izq.	170
0+009	Izq.	186
0+001	Eje	168
0+003	Eje	140
0+005	Eje	168
0+007	Eje	168
0+009	Eje	180
0+001	Der.	198
0+003	Der.	160
0+005	Der.	160
0+007	Der.	162
0+009	Der.	164
<b>Promedio (X)</b>		<b>165,47</b>
<b>Desviación estándar (s)</b>		<b>16</b>
<b>Coefficiente de variación</b>		<b>10 %</b>
<b>Deflexión característica (X+1.036s)</b>		<b>182,16</b>

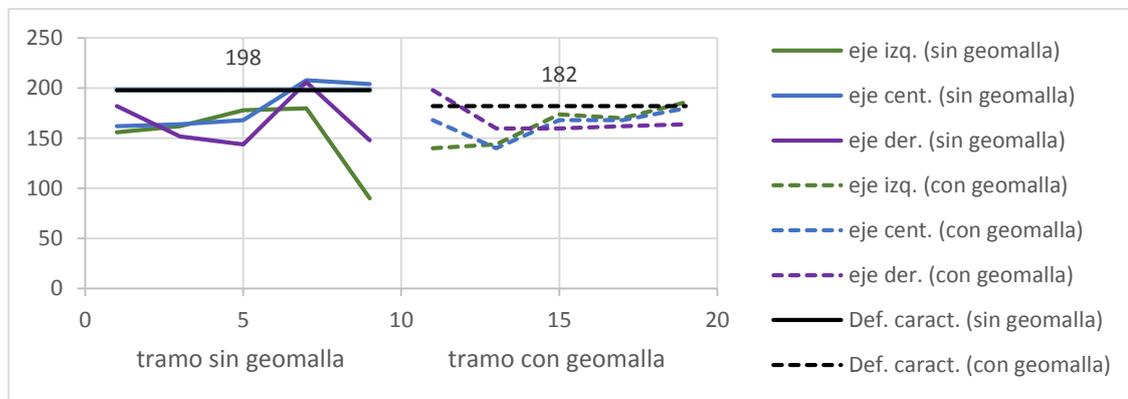


Figura 47. Deflectograma.

Tabla 28

Deflexión característica de ambos tramos

Tramo	Deflexión promedio		Deflexión característica	
	Mm	(pulg)	mm	(pulg)
Tramo de control (sin geomalla)	1,6693	0,06572	1,9766	0,07782
Tramo experimental (con geomalla)	1,6547	0,06514	1,8216	0,07172

## **Discusión:**

Los resultados encontrados en esta investigación guardan relación con lo afirmado por Orejón (47), quien señaló que el aporte de la geomalla era intrascendente en suelos con CBR superiores al 3 %.

### **4.4. Contrastación de hipótesis**

Para la contrastación de hipótesis específicas se elaboraron las condiciones de prueba. En el caso de esta investigación, fueron preguntas puntuales y, por ende, las respuestas también: 'sí' o 'no'. Si la respuesta es positiva, se acepta la hipótesis; y si es negativa, se rechaza: *La inclusión de la geomalla en la subrasante reduciría de manera significativa la deflexión máxima.*

#### **a. Planteamiento de hipótesis:**

H<sub>0</sub>: La media de las deflexiones del grupo de estudio no es menor a la media de las deflexiones del grupo de control.

H<sub>1</sub>: La media de las deflexiones del grupo de estudio es menor a la media de las deflexiones del grupo de control.

#### **b. Nivel de significancia:**

$\alpha = 0,05$ ; Nivel de error del 5 % y 95 % de confianza en la investigación.

#### **c. Prueba estadística:**

T de Student para muestras independientes

#### **d. Valor de P:**

Normalidad: muestras grandes (>30 datos)

Shapiro-Wilk muestras pequeñas (<30 datos)

Criterio para determinar Normalidad: P-valor  $\Rightarrow \alpha$  Aceptar H<sub>0</sub> = Los datos provienen de una distribución normal.

P-valor  $< \alpha$  Aceptar H<sub>1</sub> = Los datos no provienen de una distribución normal.

Los anteriores datos pueden verse en la Tabla 29.

Tabla 29

Normalidad

Normalidad deflexiones		
P-valor (estudio) = 0,137	>	$\alpha = 0,05$
P-valor (control) = 0,357	>	$\alpha = 0,05$
Conclusión: La variable deflexión máxima en ambos grupos se comporta normalmente		

- **Igualdad de varianza:**

Prueba de Levene

P-valor  $\Rightarrow \alpha$  Aceptar  $H_0$  = las varianzas son iguales.

P-valor  $< \alpha$  Aceptar  $H_1$  = Existe diferencia significativa entre las varianzas.

Véase la Tabla 30

Tabla 30

Igualdad de varianza

Igualdad de varianza		
P-valor = 0,128	>	$\alpha = 0,05$
Conclusión: Tiene homogeneidad de varianzas		

- **P-valor de la prueba:**

T de Student muestras independientes

p-valor (Bilateral) = 0,868

p-valor (una sola cola) = 0,434

Lectura del p-valor

Con una probabilidad de error del 43,4 % la media de deflexiones del grupo de estudio es menor a la media de deflexiones del grupo de control (es mucho error, por lo tanto, se acepta la hipótesis nula).

**e. Toma de decisiones:**

La media de deflexiones del grupo de estudio no es menor a la media de deflexiones del grupo de control. La constatación de hipótesis se ve en la Tabla 31.

Tabla 31

Contrastación de hipótesis

Hipótesis	Condición de prueba	Rpta.	Fundamento	Toma de decisión
El suelo natural en la zona de estudio presentaría valores de CBR menores a 6 % clasificado como subrasante pobre para pavimentos flexibles en el lado sur de la circunvalación en la Urbanización Taparachi de Juliaca.	¿El suelo natural en la zona de estudio presenta valores CBR menores a 6 %?	Sí	El CBR del suelo natural es de 4,1%, lo que indica que es una subrasante pobre de acuerdo con la clasificación del MTC, el cual demanda estabilizar el suelo para mejorar su respuesta estructural.	Se acepta la hipótesis
Las características físicas y mecánicas del suelo de mejoramiento de la subrasante para pavimentos flexibles en el lado sur de la circunvalación en la Urbanización Taparachi de Juliaca, cumplirían satisfactoriamente las EG 2013 del MTC de Perú.	¿Las características físicas y mecánicas del suelo de mejoramiento cumplen satisfactoriamente las especificaciones técnicas generales para construcción EG 2013?	Sí	Se demostró mediante ensayos de laboratorio de mecánica de suelos que las características físicas y mecánicas del suelo de mejoramiento de la cantera Taparachi de la ciudad de Juliaca, cumplen con los requerimientos demandados por el EG 2013 del MTC, como son en su granulometría, abrasión Los Ángeles y CBR.	Se acepta la hipótesis
Con la inclusión de la geomalla en la subrasante se reduciría la deflexión máxima.	¿La inclusión de la geomalla en la subrasante reduce la deflexión máxima?	No	La deflexión máxima promedio y la deflexión característica disminuye en 1 % y 8 %, respectivamente, con incorporación de la geomalla biaxial; sin embargo, esta disminución no es significativa.	Se rechaza la hipótesis

## CONCLUSIONES

1. Se evidenció la clasificación de la subrasante de la zona de estudio como una subrasante pobre para pavimentos flexibles, según las EG-2013 del *Manual de carreteras. Suelos, geología, geotecnia y pavimentos 2013* del Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú. Por ello, de acuerdo con el grado de mejoramiento de suelos, cuya capacidad de soporte se encuentra en un rango de CBR del 3 % al 5 %, amerita un mejoramiento medio, ya que el CBR del suelo natural obtenido es del 4,1 % y según el *Manual* del MTC (13) se menciona una estabilización con geomallas para CBR menores a 6 %.
2. El suelo de mejoramiento tiene características adecuadas según las especificaciones técnicas generales para construcción de carreteras EG 2013, debido a que este material de relleno posee un CBR del 29 % al 95 % de la MDS, que considera a la subrasante como muy buena y apta para considerarse como material de relleno. También cumple con el tamaño máximo del agregado de 7,5 cm para la corona (se obtuvo 5 cm), considerado como una grava bien gradada con arcilla GW-GC; este material presentó un IP de 17,36 %. Por último, el desgaste de Los Ángeles fue aceptable, tras obtenerse un 28,35 % frente al indicado por la norma, de un máximo de 60 %.
3. Con respecto a la influencia del uso de la geomalla biaxial como refuerzo del suelo pobre (suelo natural con CBR de 4,1 %), se analizaron las variaciones en la respuesta estructural, reflejada en la deflexión máxima, utilizando la viga Benkelman. La incorporación de la geomalla biaxial a una subrasante disminuyó la deflexión

máxima promedio en 1 % (de 1,6693 mm a 1,6547 mm) y la deflexión característica en 8 % (de 1,9766mm a 1,8216 mm).

4. Tras realizarse la revisión, se encontró un menor aporte de la geomalla biaxial en la subrasante de acuerdo con los resultados obtenidos; pero a la luz de la evidencia existente en los antecedentes de los beneficios positivos de la geomalla en los suelos, puede mejorarse la calidad de los resultados realizando más pruebas a la subrasante, como por ejemplo: registrar la toma de las deflexiones en el terreno natural antes del colocado de la geomalla y compararlas también con la influencia después del colocado en un mismo tramo, además de registrar una mayor cantidad de deflexiones a las tomadas en esta investigación.
5. Son varios los factores que pudieron influir en la insignificancia de la geomalla, como son: algunos autores consultados recomiendan utilizar la geomalla en suelos con CBR inferiores al 4 %, ya que allí es donde se notará su efecto. Tal como lo planteó Giroud – Han: para valores de CBR mayores a 4 %, el beneficio de la geomalla era ‘constante’ y no se apreciaba su aporte. Asimismo, está lo sostenido por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos de que si el CBR de la subrasante era mayor a 4 %, la geomalla ya no trabaja como un refuerzo de la subrasante; o también lo recomendado por el MTC de que en suelos con CBR menor al 6 %, para su estabilización, deben aplicarse geosintéticos. La insignificancia de la geomalla también pudo deberse al espesor 30 cm estándar que se tomó para la capa de corona (relleno) del terraplén, y que al momento de la verificación con excavación en el punto medio de cada tramo, se pudo notar una diferencia de 1.5 cm a favor del tramo de control. Otros factores pudieron ser el hecho de que no se logró superar el 95 % de la MDS obtenida en el ensayo de próctor modificado para control de compactación insitu estipulado en la norma; así como las pruebas de deflectometría que se realizaron semanas después del conformado; o también los factores climáticos e indisponibilidad del equipo deflectométrico.

## RECOMENDACIONES

1. En todo trabajo de carreteras u obras viales siempre hay precipitaciones pluviales, que ocasionan pérdida de tiempo, presupuesto y pérdida de dinero a futuros trabajos de investigación que se realicen *in situ*. Por ello, se recomienda realizarlos en épocas de bajas precipitaciones y, luego, aplicar el factor de estacionalidad a las deflexiones realizadas para así simular las condiciones más críticas de dicha subrasante. También, como lo indica la EG-2013, la construcción de terraplenes se realizará en ausencia de precipitaciones pluviales y cuando la temperatura del medio ambiente esté por encima de los 5 °C.
2. «Solo hay tres cosas que son necesarias para tener una buena subrasante y son drenaje, drenaje y más drenaje» (H. Frost, 1910). De acuerdo con esta premisa, en épocas de alta precipitación pluvial, es en donde se refleja si una subrasante está bien ejecutada. Si este no fuera el caso, empezará a colapsar; por lo que será necesario realizar un buen estudio de drenaje.
3. Para futuras investigaciones, se recomienda el uso de la viga Benkelman, que es un instrumento de medición apto, por su simplicidad y costo de operación, a comparación del FWD. Sin embargo, en el uso de dicho instrumento se observó la dificultad al momento de tomar medidas, por lo que sería recomendable introducir sensores electrónicos de lectura al dial, para obtener una medición más exacta.
4. Se recomienda para posteriores investigaciones una mayor cuantificación de datos, mayores a los 30 puntos tomados en esta investigación (mayor a 15 por cada tramo).

Asimismo, registrar la toma de deflexiones antes del colocado de la geomalla para, de esta manera, realizar un mejor análisis de datos y comparaciones del tramo de control y tramo de estudio.

5. Se recomienda utilizar la geomalla en suelos con CBR inferiores al 4 %, así como usar un espesor de diseño con la metodología AASHTO o mediante el método de diseño de Giroud – Han. En futuros trabajos de investigación a escala real, es importante contar con un especialista topógrafo en niveles de conformación de carreteras para tener un control milimétrico de los niveles de conformación de la subrasante durante todo el proceso de ejecución. Núñez (9) mencionó que se puede obtener una mejor efecto de la geomalla, cuando esta se encuentra a poca distancia de la superficie, por lo que se sugiere a realizar investigaciones con un espesor menor a 15 cm. También se recomienda llegar a un nivel de compactación superior al 95 %, mediante un control de humedad con el Higrómetro Speedy (la humedad de trabajo no debe variar en un rango de 2 % respecto del OCH) y un proceso óptimo de compactación; así como realizar las pruebas de deflectometría lo más antes posible después de terminada la conformación de la subrasante.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Menget M, Edil TB, Benson CH. Resilient modulus and plastic deformation of soil confined in a geocell. Wisconsin: Geosynthetics International University of Wisconsin Madison; 2006.
2. Novoa L. Aplicación de la geomalla triaxial para mejorar la estabilización de suelos blandos en la avenida Trapiche Chillón, Carabaylo-2017 [Tesis de licenciatura]. Lima: Universidad César Vallejo; 2017.
3. Herrera MC. Determinación del módulo resiliente de diseño de pavimentos mediante criterios AASHTO 1993 y 2002 [Tesis de maestría]. Lima: Universidad de Piura; 2014.
4. Díaz EA. Uso de geomallas multiaxiales como refuerzo en vías sin pavimentar con suelos blandos o subrasantes débiles [Tesis de licenciatura]. Bogotá: Facultad de Ingeniería de la Universidad Antonio Nariño; 2020.
5. Bustamante AS. Evaluación en el nivel de resistencia de una subrasante, con el uso combinado de una geomalla y un geotextil [Tesis de maestría]. Cuenca: Facultad de Ingeniería de la Universidad de Cuenca; 2016.
6. Hueto AM, Montoya AF. Adición de geotextil tejido t-2400 a la estructura intrínseca de diferentes tipos de materiales para rellenos [Tesis de licenciatura]. Cartagena: Universidad de Cartagena; 2016.
7. Véliz MJ. Evaluación deflectométrica en mejoramiento de suelos de la carretera Mazamari-Pangoa-Cubantía, utilizando la viga Benkelman [Tesis de licenciatura]. Huancayo: Universidad Peruana Los Andes; 2019.
8. Silva MA. Mejoramiento de la subrasante con geomallas multiaxiales tipo tx140 y tx160, aplicado a un tramo de la calle Alemania, La Molina, Cajamarca 2016 [Tesis de licenciatura]. Cajamarca: Universidad Privada del Norte; 2016.
9. Núñez A. Optimización de espesores de pavimentos con aplicación de geosintéticos [Tesis de licenciatura]. Puno: Universidad Nacional del Altiplano; 2016.
10. Flores ED, Mamami V. Evaluación experimental de la incorporación de geomallas triaxiales para mejorar la subrasante de pavimentos flexibles, Región Puno, 2021 [Tesis de licenciatura]. Lima: Universidad César Vallejo; 2021.

11. Gutiérrez W. Mecánica de suelos aplicada a vías de transportes. Lima: Macro; 2018.
12. Crespo R, Ruiz JF. Evaluación estructural de firmes de carreteras. El área del cuenco de deflexiones. El módulo de la explanada. 2001.
13. Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC). Manual de carreteras. Suelos, geología, geotecnia y pavimentos. Sección suelos y pavimentos. Lima: Dirección General de Caminos y Ferrocarriles; 2013.
14. Menéndez JR. Ingeniería de pavimentos. Materiales, diseño y conservación. Lima: Instituto de la Construcción y Gerencia (ICG); 2016.
15. Montejó A. Ingeniería de pavimentos. Fundamentos, estudios básicos y diseño (3ª ed.). Bogotá: Stella Valbuena García; 2006.
16. Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC). Manual de carreteras. Especificaciones técnicas generales para construcción. Lima: Dirección General de Caminos y Ferrocarriles; 2013.
17. Coronado J. Manual centroamericano para diseño de pavimentos. Guatemala: USAID/SIECA; 2002.
18. Menéndez JR. Ingeniería de pavimentos. Diseño de pavimentos (2ª ed.). Lima: Instituto de la Construcción y Gerencia (ICG); 2016.
19. Rondón HA. Pavimentos, materiales, construcción y diseño. Bogotá: Ecoe; 2015.
20. Bernal BMT, Gómez PPA. Diseño y trazado de una ciclorruta en la vía panamericana en el municipio de Flandes – Tolima [Tesis de licenciatura]. Flandes: Corporación Universitaria Minuto de Dios; 2018.
21. Minaya S, Ordóñez A. Diseño moderno de pavimentos asfálticos (2ª ed.). Lima: Instituto de la Construcción y Gerencia (ICG), 2006.
22. Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC). Manual de ensayo de materiales. Lima: Dirección General de Caminos y Ferrocarriles – MTC; 2016.
23. Huang H. Pavement Analysis and Design (2a ed.). Kentucky: Pearson, & Prentice Hall; 2004.
24. Osorio A. Metodología de evaluación *in situ* de la capacidad de soporte de bases y subbases granulares de pavimentos flexibles con el deflectómetro de impacto

- liviano [Tesis de maestría]. Santiago de Chile: Pontificia Universidad Católica de Chile; 2008.
25. Agudelo AP, Burgos ID, González EY. Metodología de evaluación *in situ* de capas granulares en pavimentos flexibles, usando el LWD. *L'esprit Ingénieur*, pp. 114-125; 2013.
  26. Geosoft PAVCO. Manual de diseño con geosintéticos. Bogotá: Publicaciones Zetta Comunicadores; 2009.
  27. Geosoft PAVCO. Manual de diseño con geosintéticos (9ª ed.). Bogotá: Mexichem, Soluciones Integrales; 2012.
  28. Maccaferri. TM-BR-Manual refuerzo de suelos. Brasilia: Maccaferri; 2014.
  29. GEOACE Perú. Instalación de geosintéticos [en línea]. 2018 [acceso el 6 de agosto de 2022]. Disponible en: <https://www.geoaceperu.com>
  30. TENSAR. Especificación de producto - Geomalla TriAx® TX7. Atlanta: Tensar International Corporation; 2012.
  31. Díaz JF, Escobar OE, Olivo EJ. Aplicación de los geosintéticos en la estructura de los pavimentos y en obras de drenaje para carreteras [Tesis de licenciatura]. San Salvador: Universidad de El Salvador; 2009.
  32. Orrego D. Análisis técnico-económico del uso de geomallas como refuerzo de bases granulares en pavimentos flexibles [Tesis de licenciatura]. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP); 2014.
  33. Maccaferri. Características técnicas Macgrid EGb30. Geomalla biaxial extruida. Lima: Maccaferri; 2011.
  34. Higuera CH. Caracterización de la resistencia de la subrasante con la información del deflectómetro de impacto. Bogotá: Facultad de Ingeniería de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia; 2010.
  35. Ávila E, Albarracín F, Bojórquez J. Evaluación de pavimentos en base a métodos no destructivos y análisis inverso. *MASKANA*, Revista semestral de la DIUC, Vol. IV, Núm. 1, pp. 149-167; 2015.
  36. Ticuña F. Medición de deflexiones con la viga Benkelman. Aplicación de la viga Benkelman, en un tramo del proyecto "Mantenimiento periódico de la carretera Panamericana Norte, Sector: El Milagro, Chiclayo, km 580+000-km 776+000 1ra. Etapa [en línea]. 2004 [acceso el 6 de agosto de 2022]. Disponible en:

<https://es.scribd.com/document/272438001/Medicion-de-Deflexiones-Con-La-Viga-Benkelman>

37. Consorcio de Rehabilitación Vial (CONREVIAL). Estudio de rehabilitación de carreteras en el país. Aspectos de evaluación de pavimentos. Evaluación y diseño preliminar para rehabilitación de pavimentos bituminosos, Vol. C. Lima: CONREVIAL; 1982.
38. Hoffman MS, Del Águila PM. Estudios de evaluación estructural de pavimentos basados en la interpretación de curvas de deflexiones (ensayos no destructivos). 1985.
39. Carahuatay RE. Determinación del comportamiento estructural del pavimento flexible de la carretera San Miguel-San Pablo, Tramo San Miguel-SUNUDEN, mediante el análisis deflectométrico [Tesis de licenciatura]. Cajamarca: Universidad Nacional de Cajamarca; 2015.
40. George KP. Falling Weight Deflectometer for Estimating Subgrade Resilient Moduli [Final Report]. Mississippi: Universidad de Mississippi [en línea]; 2003 [acceso el 6 de agosto de 2022]. Disponible en: <https://rosap.ntl.bts.gov/view/dot/24145>
41. Villalba N. Construcción de carreteras. Lima: Grupo Universitario; 2010.
42. Papagiannakis AT, Masad EA. Pavement Design and Materials. New Jersey: John Wiley & Sons; 2008.
43. Del Águila P. Modelación mecánica de pavimentos flexibles. Lima: Camineros Consulting Engineers; s. f.
44. Sucasaire MF. Análisis experimental de losas cortas de concreto influenciadas por el gradiente de temperatura y resistencia a la compresión en su comportamiento estructural [Tesis de licenciatura]. Juliaca: Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez; 2018.
45. Huamaní LJ. Estudio de la potencialidad de canteras y botaderos para la conservación del medio ambiente en la construcción de la autopista Puno-Juliaca [Tesis de licenciatura]. Juliaca: Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez; 2017.
46. Balarezo J. Evaluación estructural usando viga Benkelman aplicada a un pavimento [Tesis de licenciatura]. Piura: Facultad de Ingeniería de la Universidad de Piura; 2017.

47. Orejón EV. Propuesta del mejoramiento de la subrasante de pavimentos flexibles usando las geomallas biaxiales en suelos de bajo valor de Soporte California – distrito de Ahuac [Tesis de licenciatura]. Huancayo: Facultad de Ingeniería de la Universidad Continental; 2018.

## **ANEXOS**

# ANEXO A. ENSAYO DE SUELOS EN LABORATORIO E *IN SITU*

## A1. En suelo natural



GUÍA PARA MUESTRAS DE SUELOS  
PERFIL ESTRATIGRÁFICO  
(MTC E 101, ASTM D 2488)

Código : F - 020  
Versión : 2,0  
Aprobado : ene-21

### DATOS GENERALES

PROYECTO: INFLUENCIA DE LA APLICACIÓN DEL REFUERZO CON GEOMALLA EN LA CAPA DE MEJORAMIENTO EN EL MÓDULO DE RESILIENCIA DE SUBRASANTE DE PAVIMENTOS FLEXIBLES PARA LA URBANIZACIÓN TAPARACHI DE JULIACA  
LUGAR : JULIACA - SAN ROMÁN - PUNO  
SOLICITANTE: BACH. CONDORI TICONA, JESUS ALEXANDER  
REGISTRO: C - 2021 - 164  
FECHA: 01/12/2021

### DATOS DE MUESTRAS

DESCRIPCIÓN: SUELO NATURAL  
CALICATA: C - 01  
UBICACIÓN: ZONA SUR DE LA CIRCUNVALACIÓN EN LA URBANIZACIÓN TAPARACHI DE JULIACA  
PROFUND.: 0.00 - 1.50m  
MUESTRAS: 2  
COORDENADA: S 15°31'58.5"  
W 70°07'22.3"

PROF. (m)	MUESTRA	CLASIFICACIÓN	DESCRIPCIÓN DEL ESTRATO	NIVEL FREÁTICO (m)		CALICATA Nro.
				1.40	C-1	
				SIMBOLOGÍA		ENSAYOS IN SITU
				SUCS	AASHTO	
0.01	M-1	Pt	TOPSOIL	Pt	-	
0.30	M-2	ML A-7-5 (8)	Limo de alta plasticidad, contiene 0% de grava gruesa a fina, con tamaño máximo de n°. 4 (4.75mm), contenido de 33.10% de arena gruesa a fina y 66.90% de finos (L.L.= 44.21, L.P.=30.19 e I.P.= 14.02), con un contenido de humedad de 12.38%, color marrón.	ML	A-7-5 (8)	
NF						
1.50						



OBSERVACIONES  
- MAB y MAS  
- El muestreo fue realizado por el solicitante

TIPO DE MUESTRA: MAB: muestra alterada en bolsa MAS: muestra alterada en saco MIB: muestra inalterada en bloque MIT: muestra inalterada en tubo

CONGEOMAT S.R.L.  
*John Percy Paricahua Tintaya*  
TEC. DE SUELOS Y PAVIMENTOS

CONGEOMAT S.R.L.  
*Alberth Ysidra Quispe Bustinza*  
ING. DE SUELOS Y PAVIMENTOS  
C.I.P. N° 151300

### ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO

( ASTM D422 - D2216 - D427 - D2487,  
MTC E 107 o MTC E 204, MTC E 108)

Código : F-017  
Versión : 2.0  
Aprobado : ene-21

#### DATOS GENERALES

**PROYECTO:** INFLUENCIA DE LA APLICACIÓN DEL REFUERZO CON GEOMALLA EN LA CAPA DE MEJORAMIENTO EN EL MÓDULO DE RESILIENCIA DE SUBRASANTE DE PAVIMENTOS FLEXIBLES PARA LA URBANIZACIÓN TAPARACHI DE JULIACA  
**UBICACIÓN:** JULIACA - SAN ROMÁN - PUNO  
**REGISTRO:** C - 2021 - 164  
**SOLICITANTE:** BACH. CONDORI TICONA, JESUS ALEXANDER  
**FECHA:** 25-11-2021

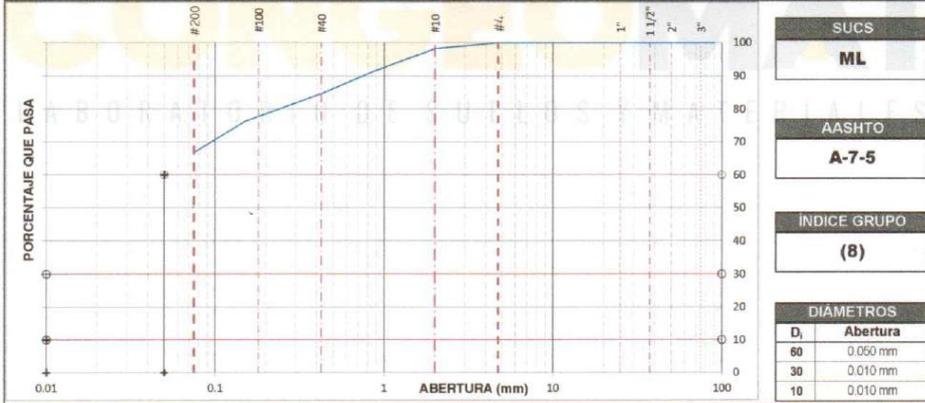
#### DATOS DE LA MUESTRA

**CALICATA:** C - 01  
**DESCRIPCIÓN:** TERRENO NATURAL  
**COORDENADA:** S 15°31'58.5"  
**UBICACIÓN:** ZONA SUR DE LA CIRCUNVALACIÓN EN LA URBANIZACIÓN TAPARACHI DE JULIACA  
**W** 70°07'22.3"  
**MATERIAL:** LIMO ARENOSO DE BAJA PLASTICIDAD  
**PROFUND.:** 0.30m a 1.50 m

TAMIZADO						RESUMEN		
N	TAMIZ		RETENIDO		PASANTE	ACUMULADO (%)	DESCRIPCIÓN	VALOR
	ASTM	(mm)	PESO (g)	%	%			
1	3 1/2"	90.000	0	0.0	100.0		<b>GENERALES</b> Peso muestra seca: 2,400 g Peso muestra lavada y seca: 794 g Finos equiv. <#4: 100.0% Grava usada: 0.0% Fino ensayado < #4: 2,400 g Frac. equiv. < #200: 66.9% <b>MANUAL</b> TIPO DE TAMIZADO: #4 TAMAÑO MÁXIMO: #4 <b>COEFICIENTES</b> Uniformidad (Cu): 5.000 Curvatura (Cc): 0.200 <b>LIMITES DE ATTERBERG</b> DESCRIPCIÓN Limite Líquido (LL): 44.21 Limite Plástico (LP): 30.19 Índice Plástico (IP): 14.02	
2	3"	75.000	0	0.0	100.0			
3	2 1/2"	63.000	0	0.0	100.0			
4	2"	50.000	0	0.0	100.0			
5	1 1/2"	37.500	0	0.0	100.0			
6	1"	25.000	0	0.0	100.0			
7	3/4"	19.000	0	0.0	100.0			
8	1/2"	12.500	0	0.0	100.0			
9	3/8"	9.500	0	0.0	100.0			
10	#4	4.750	0.0	0.0	100.0			
11	#10	2.000	42.1	1.8	98.2			
12	#20	0.850	166.3	6.9	91.3			
13	#40	0.425	158.6	6.6	84.7			
14	#60	0.250	201.6	8.4	76.3			
15	#80	0.175	225.2	9.4	66.9			
16	#100	0.150	1,806.3	66.9				
17	#200	0.075						
18	#425	0.075						
19	#600							
20	#840							



#### CURVA GRANULOMÉTRICA Y CLASIFICACIÓN DE SUELOS



#### OBSERVACIONES

- Muestras proporcionadas por el solicitante
- Los ensayos fueron ejecutados en conjunto con el solicitante

**CONGEOMAT S.R.L.**  
*John Percy Parichagua Tintaya*  
TEC. DE SUELOS Y PAVIMENTOS

**CONGEOMAT S.R.L.**  
*Alfredo Ysidro Quispe Bustinza*  
ING. DE SUELOS Y PAVIMENTOS  
C.I.P. N° 151300

Lima: Jr. C. Molino del gato oficina 1307 – Cercado de Lima  
Cusco: Av. La Cultura 1114 – Edificio Oferplaza, Oficina 305  
Juliaca: Jr. 16 de diciembre Mza A Lote 30, Salida Huancané

Tel.: (051) 325735  
Cel.: (+51) 951 404988  
congeomat@gmail.com

**DATOS GENERALES**

PROYECTO : INFLUENCIA DE LA APLICACIÓN DEL REFUERZO CON GEOMALLA EN LA CAPA DE MEJORAMIENTO EN EL MÓDULO DE RESILIENCIA DE SUBRASANTE DE PAVIMENTOS FLEXIBLES PARA LA URBANIZACIÓN TAPARACHI DE JULIACA  
UBICACIÓN : JULIACA - SAN ROMÁN - PUNO  
SOLICITANTE : BACH. CONDORI TICONA, JESUS ALEXANDER  
REGISTRO : C - 2021 - 164  
FECHA : 26-11-2021

**DATOS DE MUESTRA**

CALICATA : C - 01  
DESCRIPCIÓN : TERRENO NATURAL  
UBICACIÓN : ZONA SUR DE LA CIRCUNVALACIÓN EN LA URBANIZACIÓN TAPARACHI DE JULIACA  
MATERIAL : LIMO ARENOSO DE BAJA PLASTICIDAD  
COORDENADA : S 15°31'58.5"  
W 70°07'22.3"  
PROFUND : 0.30m a 1.50 m

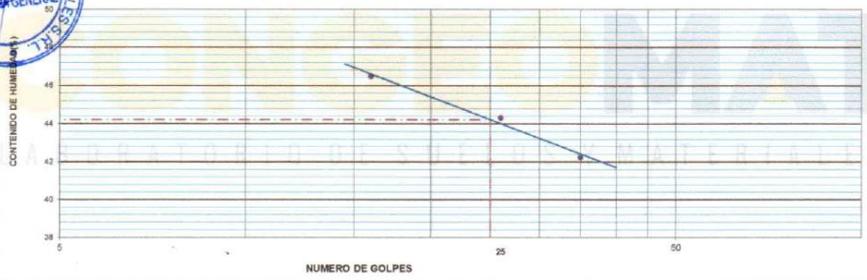
**LIMITE LIQUIDO (MTC E 110, AASHTO T 89)**

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	MUESTRAS		
		C-10	C-07	C-08
Nº CAPSULA	ID	C-10	C-07	C-08
PESO TARA + SUELO HUMEDO	(g)	35.04	33.12	32.01
PESO TARA + SUELO SECO	(g)	30.95	29.11	28.07
PESO DE AGUA	(g)	4.09	4.01	3.94
PESO DE LA TARA	(g)	22.15	20.08	18.74
PESO DEL SUELO SECO	(g)	8.60	9.05	9.33
CONTENIDO DE HUMEDAD	(%)	46.48	44.31	42.23
NUMERO DE GOLPES		16	26	35

**LIMITE PLÁSTICO (MTC E 111, AASHTO T 90)**

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	MUESTRAS			PROMEDIO
		T-01	T-05		
Nº TARRO	ID	T-01	T-05		
PESO TARA + SUELO HUMEDO	(g)	22.07	22.79		
PESO TARA + SUELO SECO	(g)	21.01	21.80		
PESO DE LA TARA	(g)	17.50	18.52		
PESO DE AGUA	(g)	1.08	0.99		
PESO DEL SUELO SECO	(g)	3.51	3.28		
CONTENIDO DE HUMEDAD	(%)	30.20	30.18		30.19

**CONTENIDO DE HUMEDAD A 25 GOLPES**



CONSTANTES FISICAS DE LA MUESTRA	
LIMITE LIQUIDO (%)	44.21
LIMITE PLÁSTICO (%)	30.19
ÍNDICE DE PLASTICIDAD (%)	14.02

**OBSERVACIONES**

- Muestras proporcionadas por el solicitante
- Los ensayos fueron ejecutados en conjunto con el solicitante

  
CONGEOMAT S.R.L.  
*John Percy Parikahua Tintaya*  
TÉC. DE SUELOS Y PAVIMENTOS

  
CONGEOMAT S.R.L.  
*Alberth Ysidro Quispe Bustinza*  
ING. DE SUELOS Y PAVIMENTOS  
C.I.P. Nº 151300

Lima: Jr. C. Molino del gato oficina 1307 – Cercado de Lima  
Cusco: Av. La Cultura 1114 – Edificio Oferplaza, Oficina 305  
Juliaca: Jr. 16 de diciembre Mza A Lote 30, Salida Huancané

Tel.: (051) 325735  
Cel.: (+51) 951 404988  
congeomat@gmail.com

**DATOS GENERALES**

INFLUENCIA DE LA APLICACIÓN DEL REFUERZO CON GEOMALLA EN LA CAPA DE MEJORAMIENTO EN EL MÓDULO DE  
**PROYECTO:** RESILIENCIA DE SUBRASANTE DE PAVIMENTOS FLEXIBLES PARA LA URBANIZACIÓN TAPARACHI DE JULIACA  
**UBICACIÓN:** JULIACA - SAN ROMÁN - PUNO **REGISTRO:** C - 2021 - 164  
**SOLICITANTE:** BACH. CONDORI TICONA, JESUS ALEXANDER **FECHA:** 25-11-2021

**DATOS DE LA MUESTRA**

**CALICATA:** C - 01  
**DESCRIPCIÓN:** TERRENO NATURAL **COORDENADA:** S 15°31'58.5"  
**UBICACIÓN:** ZONA SUR DE LA CIRCUNVALACIÓN EN LA URBANIZACIÓN TAPARACHI DE JULIACA W 70°07'22.3"  
**MATERIAL:** LIMO ARENOSO DE BAJA PLASTICIDAD **PROFUND.:** 0.30m a 1.50 m

**CONTENIDO DE HUMEDAD**

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03
1	Peso de recipiente	g.	85.40	--	--
2	Peso recipiente + muestra del suelo humedo	g.	351.07	--	--
3	Peso recipiente + muestra del suelo seco	g.	321.80	--	--
4	Peso del agua en la muestra del suelo humedo	g.	29.27	--	--
5	Peso de muestra de suelo seco	g.	236.40	--	--
6	Humedad	%	12.38	--	--
	Humedad Promedio	%		12.38	



**OBSERVACIONES**

Muestras proporcionadas por el solicitante  
 - Los ensayos fueron ejecutados en conjunto con el solicitante

CONGEOMAT S.R.L.  
  
**John Percy Paricahua Tintaya**  
 TEC DE SUELOS Y PAVIMENTOS

CONGEOMAT S.R.L.  
  
**Alberth Ysidro Quispé Bustinza**  
 ING DE SUELOS Y PAVIMENTOS  
 C.I.P. N° 151300

**DATOS GENERALES**

PROYECTO: INFLUENCIA DE LA APLICACIÓN DEL REFUERZO CON GEOMALLA EN LA CAPA DE MEJORAMIENTO EN EL MÓDULO DE RESILIENCIA DE SUBRASANTE DE PAVIMENTOS FLEXIBLES PARA LA URBANIZACIÓN TAPARACHI DE JULIACA  
UBICACIÓN : JULIACA - SAN ROMÁN - PUNO  
SOLICITANTE: BACH. CONDORI TICONA, JESUS ALEXANDER  
REGISTRO : C - 2021 - 164  
FECHA : 26-11-2021

**DATOS DE LA MUESTRA**

CALICATA: C - 01  
DESCRIPCIÓN: TERRENO NATURAL  
UBICACIÓN: ZONA SUR DE LA CIRCUNVALACIÓN EN LA URBANIZACIÓN TAPARACHI DE JULIACA  
MATERIAL: LIMO ARENOSO DE BAJA PLASTICIDAD  
COORDENADA: S 15°31'58.5"  
W 70°07'22.3"  
PROFUND.: 0.30m a 1.50 m

**COMPACTACIÓN**

MÉTODO DE COMPACTACIÓN	"A"			
NÚMERO DE GOLPES POR CAPA	25			
NÚMERO DE CAPAS	5			
NÚMERO DE ENSAYO	1	2	3	4
PESO (SUELO + MOLDE) (gr)	5679	5830	5850	5768
PESO DE MOLDE (gr)	3798	3798	3798	3798
PESO SUELO HUMEDO (gr)	1881	2032	2052	1970
VOLUMEN DEL MOLDE (cm <sup>3</sup> )	1085.7	1085.7	1085.7	1085.7
DENSIDAD HUMEDA (gr/cm <sup>3</sup> )	1.733	1.872	1.890	1.814
DENSIDAD SECA (gr/cm <sup>3</sup> )	1.527	1.618	1.609	1.520

**CONTENIDO DE HUMEDAD**

RECIPIENTE N°	s/n	s/n	s/n	s/n
PESO (SUELO HUMEDO + TARA) (gr)	359.4	329.3	353.5	377.7
PESO (SUELO SECO + TARA) (gr)	316.8	284.7	300.9	316.4
PESO DE LA TARA (gr)				
PESO DE AGUA (gr)	42.6	44.6	52.6	61.3
PESO DE SUELO SECO (gr)	316.8	284.7	300.9	316.4
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	13.45	15.67	17.48	19.37

MÁXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm<sup>3</sup>) 1.623      ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%) 16.37

**CURVA DE COMPACTACIÓN**



**OBSERVACIONES**

- Muestras proporcionadas por el solicitante
- Los ensayos fueron ejecutados en conjunto con el solicitante

CONGEOMAT S.R.L.  
*John Percy Paricahua Tintaya*  
TEC. DE SUELOS Y PAVIMENTOS

CONGEOMAT S.R.L.  
*Alberth Ysidro Quispe Bustinza*  
ING. DE SUELOS Y PAVIMENTOS  
C.I.P. N° 151300

Lima: Jr. C. Molino del gato oficina 1307 - Cercado de Lima  
Cusco: Av. La Cultura 1114 - Edificio Oferplaza, Oficina 305  
Juliaca: Jr. 16 de diciembre Mza A Lote 30, Salida Huancané

Tel.: (051) 325735  
Cel.: (+51) 951 404988  
congeomat@gmail.com



## CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR) DE LABORATORIO

(NORMA MTC E 132, ASTM D 1883)

Código : F - 007  
 Versión : 2.0  
 Aprobado : ene-21

### DATOS GENERALES

**PROYECTO:** INFLUENCIA DE LA APLICACION DEL REFUERZO CON GEOMALLA EN LA CAPA DE MEJORAMIENTO EN EL MÓDULO DE RESILIENCIA DE SUBRASANTE DE PAVIMENTOS FLEXIBLES PARA LA URBANIZACIÓN TAPARACHI DE JULIACA  
**UBICACIÓN:** JULIACA - SAN ROMÁN - PUNO **REGISTRO:** C - 2021 - 164  
**SOLICITANTE:** BACH. CONDORI TICONA, JESUS ALEXANDER **FECHA:** 01-12-2021

### DATOS DE LA MUESTRA

**CALICATA:** C - 01  
**DESCRIPCIÓN:** TERRENO NATURAL **COORDENADA:** S 15°31'58.5"  
**UBICACIÓN:** ZONA SUR DE LA CIRCUNVALACIÓN EN LA URBANIZACIÓN TAPARACHI DE JULIACA **W** 70°07'22.3"  
**MATERIAL:** LIMO ARENOSO DE BAJA PLASTICIDAD **PROFUND.:** 0.30m a 1.50 m

### DATOS PARA EL ENSAYO

CLASIFICACION:		SUCS	ML	AASHTO	A-7.5	PROCTOR	HO=16.37	MDS=1.623	N°CAPAS	5
<b>N</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UND</b>	<b>12 GOLPES</b>		<b>26 GOLPES</b>		<b>55 GOLPES</b>			
			<b>MOLDE05</b>		<b>MOLDE08</b>		<b>MOLDE03</b>			
DENSIDAD										
Condición de humedad			Normal	Saturado	Normal	Saturado	Normal	Saturado	Normal	Saturado
1	Peso suelo húmedo + molde	g	11,396	11,576	11,697	11,791	12,086	12,164		
2	Peso del molde	g	7,982	7,982	7,961	7,961	8,083	8,083		
3	Volumen del molde REG	cc	1,985	1,985	2,107	2,107	2,124	2,124		
	Peso suelo húmedo [1]-[2]	g	3,414	3,594	3,736	3,830	4,003	4,081		
	Densidad suelo húmedo, [4]/[3]	g/cc	1.72	1.81	1.77	1.82	1.88	1.92		
6	Peso de la capsula	-	S/N	S/N	S/N	S/N	S/N	S/N		
	Peso del suelo húmedo + capsula	g	330.0	372.0	362.2	343.0	354.5	345.0		
	Peso del suelo seco + capsula	g	283.9	307.9	311.4	286.5	304.8	291.8		
	Peso del agua, [7]-[6]	g	46.1	64.1	50.8	56.5	49.7	53.2		
10	Peso de la capsula	g								
11	Peso del suelo seco, [8]-[10]	g	283.9	307.9	311.4	286.5	304.8	291.8		
12	Contenido de humedad, [9]/[11]	%	16.24	20.82	16.31	19.72	16.31	18.23		
13	Densidad seca [5]/([11]/100)	g/cc	1.480	1.499	1.524	1.518	1.620	1.625		

### PENETRACION

CARGA	LECTURA DIRECTA (KILO)			FUERZA (kg)				
	STANDARD	12 GOLPES	26 GOLPES	55 GOLPES	DIRECTA	CORREGIDA	DIRECTA	CORREGIDA
Area del pistón: 20.42 cm <sup>2</sup>	0.000	0	0	0	0		0	
	0.025	16	20	36	16		36	
	0.050	22	32	76	22		75	
	0.075	26	41	82	26		82	
70.5 kg-f/cm <sup>2</sup>	0.100	30	52	95	30	37*	52	51*
	0.150	42	66	107	42		66	107
105.7 kg-f/cm <sup>2</sup>	0.200	75	78	130	75	54*	78	75*
	0.250	51	80	142	51		80	142
	0.300	58	84	167	58		84	167
	0.400	62	96	212	62		96	212
	0.500	78	112	242	78		112	241

10 CORRECCIÓN: DE LA CELDA DE CARGA EN KILO ECUACION:  $X^2 + 1.00030000 X - 0.153600$

### EXPANSION

TIEMPO		LECTURA DIAL (Div)			ALTURAS						
Fecha	Hora	(Hrs)	12 GOLPES	26 GOLPES	55 GOLPES	mm	%	mm	%	mm	%
27/11/21	9:45:00 a.m.	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00%	0.00	0.00%	0.00	0.00%
29/11/21	9:45:00 a.m.	48	86.00	80.00	71.00	2.18	1.87%	2.03	1.74%	1.80	1.55%
01/12/21	9:45:00 a.m.	96	97.00	95.00	90.00	2.46	2.11%	2.41	2.07%	2.29	1.96%

### RESULTADOS

ENSAYO CBR	12 GOLPES	26 GOLPES	55 GOLPES	PROCTOR		CBR FINAL		
				Humedad óptima	16.37%	Penetración	0.1"	0.2"
Densidad Seca prom.	1.45	1.52	1.52	MDS	1.623	100% MDS	5.7	6.0
Penetración: 0.1"	2.6	3.5	5.7	95 % de la MDS	1.542	95 % MDS	4.1	4.1
Penetración: 0.2"	2.5	3.5	6.0					

### OBSERVACIONES

- Muestras proporcionadas por el solicitante
- Los ensayos fueron ejecutados en conjunto con el solicitante

**John Percy Paricahua Tinaya**  
 TEC. DE SUELOS Y PAVIMENTOS

**Alberth Ysidro Quispe Bustiza**  
 ING. DE SUELOS Y PAVIMENTOS  
 C.I.P. N° 151300

Lima: Jr. C. Molino del gato oficina 1307 – Cercado de Lima  
 Cusco: Av. La Cultura 1114 – Edificio Oferplaza, Oficina 305  
 Juliaca: Jr. 16 de diciembre Mza A Lote 30, Salida Huanacán

Telf.: (051) 325735  
 Cel.: (+51) 951 404988  
 congeomat@gmail.com

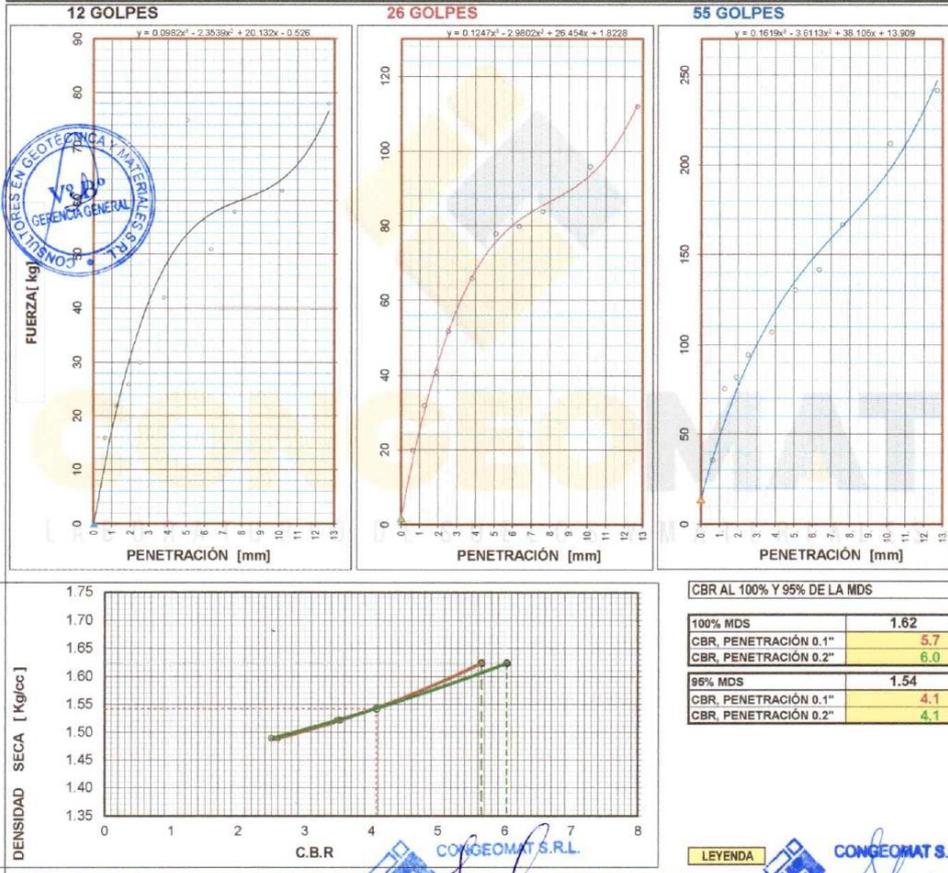
**DATOS GENERALES**

PROYECTO: INFLUENCIA DE LA APLICACIÓN DEL REFUERZO CON GEOMALLA EN LA CAPA DE MEJORAMIENTO EN EL MÓDULO DE RESILIENCIA DE SUBRASANTE DE PAVIMENTOS FLEXIBLES PARA LA URBANIZACIÓN TAPARACHI DE JULIACA  
UBICACIÓN: JULIACA - SAN ROMÁN - PUNO  
SOLICITANTE: BACH. CONDORI TICONA, JESUS ALEXANDER  
REGISTRO: C - 2021 - 164  
FECHA: 01-12-2021

**DATOS DE LA MUESTRA**

CALICATA: C - 01  
DESCRIPCIÓN: TERRENO NATURAL  
UBICACIÓN: ZONA SUR DE LA CIRCUNVALACIÓN EN LA URBANIZACIÓN TAPARACHI DE JULIACA  
COORDENADA: S 15°31'58.5"  
W 70°07'22.3"

**GRAFICA**



**CBR AL 100% Y 95% DE LA MDS**

100% MDS	1.62
CBR, PENETRACIÓN 0.1"	5.7
CBR, PENETRACIÓN 0.2"	6.0
95% MDS	1.54
CBR, PENETRACIÓN 0.1"	4.1
CBR, PENETRACIÓN 0.2"	4.1

LEYENDA

**CONGEOMAT S.R.L.**  
Alberth Ysidro Quispe Bustanza  
ING. DE SUELOS Y PAVIMENTOS  
C.I.P. N° 151300

**CONGEOMAT S.R.L.**  
John Percy Parichahua Tintaya  
ING. DE SUELOS Y PAVIMENTOS

**DATOS GENERALES**

**PROYECTO:** INFLUENCIA DE LA APLICACIÓN DEL REFUERZO CON GEOMALLA EN LA CAPA DE MEJORAMIENTO EN EL MÓDULO DE RESILIENCIA DE SUBRASANTE DE PAVIMENTOS FLEXIBLES PARA LA URBANIZACIÓN TAPARACHI DE JULIACA

**LUGAR:** JULIACA - SAN ROMÁN - PUNO

**REGISTRO:** C - 2021 - 164

**SOLICITANTE:** BACH. CONDORI TICONA, JESUS ALEXANDER

**FECHA:** 01-12-2021

**DATOS DE LA MUESTRA**

**UBICACIÓN:** C - 01

**DESCRIPCIÓN:** TERRENO NATURAL

**COORDENADA:** E: 15°31'58.5"

**UBICACIÓN:** ZONA SUR DE LA CIRCUNVALACIÓN EN LA URBANIZACIÓN TAPARACHI DE JULIACA

N: 70°07'22.3"

**MATERIAL:** LIMO ARENOSO DE BAJA PLASTICIDAD

**PROFUND.:** 0.30m a 1.50 m

**RESUMEN DEL ESTRATO**

ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	RESULTADOS	DETALLES
1	Contenido de humedad	%	12.38	--
2	Clasificación de suelos SUCS	--	ML	LIMO ARENOSO DE BAJA PLASTICIDAD
3	Clasificación de suelos AASTHO	--	A-7-5	
4	Clasificación AASTHO (INDICE DE GRUPO)	--	(8)	
5	Porcentaje de Grava	%	0.00	
6	Porcentaje de Arena	%	33.10	--
7	Porcentaje de Finos	%	66.90	--
8	Límite líquido	%	44.21	--
9	Límite plástico	%	30.19	--
10	Índice de plasticidad	%	14.02	--
11	Tamaño máximo	mm.	4.75	--
12	Máxima densidad seca	gr/cm3	1.623	--
13	Óptimo contenido de humedad	%	16.37	--
14	CBR al 100%, PENETRACIÓN 0.1"	%	5.70	--
15	CBR al 95%, PENETRACIÓN 0.1"	%	4.10	--

**OBSERVACIONES**

- Muestras proporcionadas por el solicitante

- Los ensayos fueron ejecutados en conjunto con el solicitante

CONGEOMAT S.R.L.  
  
John Percy Paricpha Tintava  
ING. DE SUELOS Y PAVIMENTOS

CONGEOMAT S.R.L.  
  
Albert Ysmael Ontipe Bustinza  
ING. DE SUELOS Y PAVIMENTOS  
C.I.P. N° 151300

## A2. En suelo con relleno



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS



# RESISTENCIA AL DESGASTE "ABRASIÓN LOS ANGELES"

NORMAS ASTM C 131, AASTHO (DESIGNACIÓN) T - 26

**TESIS** "INFLUENCIA DE LA CAPA DE MEJORAMIENTO Y REFUERZO CON GEOMALLA EN EL MÓDULO DE RESILIENCIA DE SUBRASANTE DE PAVIMENTOS FLEXIBLES PARA LA CIUDAD UNIVERSITARIA - UANCV - JULIACA"  
**SOLICITANTE** BACH. JESUS ALEXANDER CONDORI TICONA  
**MUESTRA** : N° 01  
**CANTERA** TAPARACHI  
**FECHA** : 06 DE DICIEMBRE DEL 2018

**TIPO DE AGREGADO:** FINO:  GRUESO:  OTROS:

**MUESTRA OBTENIDA POR:** CUARTEO:  DIVISOR DE MUESTRAS:

**NUMERO DE REVOLUCIONES:** 500  1000

**CARGA ABRASIVA:** 12 ESFERAS

**PESO SECO INICIAL DE LA MUESTRA:**  $W_i = 5001$  gr.

**PESO SECO FINAL RETENIDA EN EL CEDAZO N° 12:**  $W_f = 3583$  gr.

**PESO DEL MATERIAL QUE PASA EL CEDAZO N° 12:** = 1418 gr.

**PORCENTAJE DE PÉRDIDA:**  $De = \frac{W_i - W_f}{W_i} \times 100$

De = 28.35 %

### OBSERVACIONES:

**GRADACION :** "A", 1 1/2" - 1" = 1251, 1" - 3/4" = 1250, 3/4" - 1/2" = 1250, 1/2" - 3/8" = 1250  
**TIENE UNA RESISTENCIA AL DESGASTE DE :** 71.65 **Y PÉRDIDA DE :** 28.35  
**NORMA AASTHO (DESIGNACIÓN) T - 26, ASTM -C-131**

UANCV - FICP  
CAP. INGENIERÍA CIVIL  
LABORATORIO  
MECÁNICA  
DE SUELOS  
CONCRETO Y ASFALTOS  
Ing. Roxana Barrantes Cuzco  
CIP 108700

B.N° 03-014815



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"  
 FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS  
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL  
 LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS



## ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO (ASTM D422)

ENSAYOS ESTÁNDAR DE CLASIFICACIÓN (D422 - D2216 - D4318 - D427 - D2487)

**TESIS** "INFLUENCIA DE LA CAPA DE MEJORAMIENTO Y REFUERZO CON GEOMALLA EN EL MÓDULO DE RESILIENCIA DE SUBRASANTE DE PAVIMENTOS FLEXIBLES PARA LA CIUDAD UNIVERSITARIA - UANCV - JULIACA"

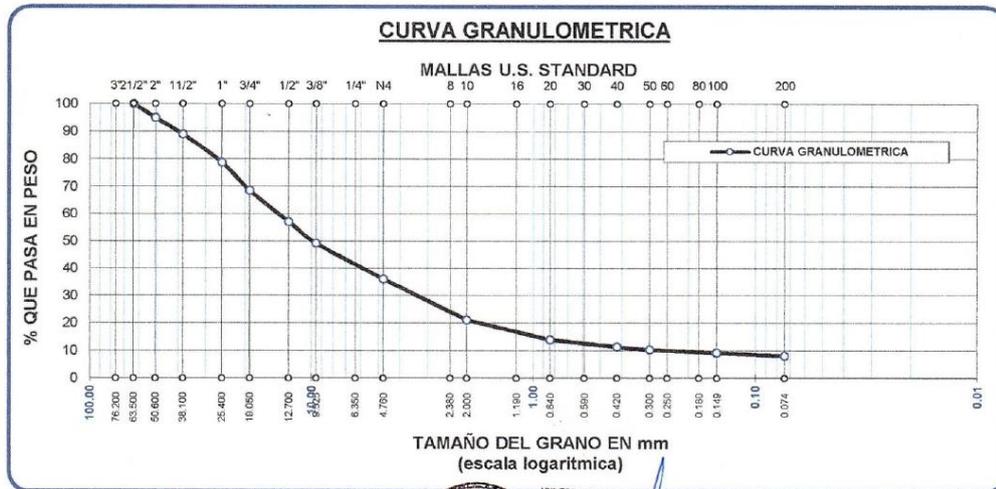
**SOLICITANTE** BACH. JESUS ALEXANDER CONDORI TICONA

**MUESTRA** MUESTRA N°02

**CANTERA** TAPARACHI

**FECHA** 11 DE ENERO DEL 2019

TAMICES ASTM	ABERTURA mm	PESO RETENIDO	%RETENIDO PARCIAL	%RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	ESPECIF.	TAMAÑO MÁXIMO:
3"	76.200						<b>DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA</b>
2 1/2"	63.500	0.00	0.00	0.00	100.00		P.I.= 5000.00
2"	50.600	253.80	5.08	5.08	94.92		P.L.= 4888.08
1 1/2"	38.100	301.88	6.04	11.11	88.89		P.P.= 111.92
1"	25.400	502.17	10.04	21.16	78.84		% W = 9.67
3/4"	19.050	513.22	10.26	31.42	68.58		<b>LÍMITES DE CONSISTENCIA:</b>
1/2"	12.700	571.35	11.43	42.85	57.15		L.L.= 39.22
3/8"	9.525	396.47	7.93	50.78	49.22		L.P.= 21.86
1/4"	6.350						I.P.= 17.36
No4	4.760	659.38	13.19	63.97	36.03		<b>CARACT. GRANULOMÉTRICAS:</b>
No8	2.380						D10= 0.253 Cu= 56.5
No10	2.000	206.25	41.25	78.83	21.17		D30= 3.639 Cc= 3.67
No16	1.190						
No20	0.840	99.47	19.89	86.00	14.00		
No30	0.590						
No40	0.420	36.52	7.30	88.63	11.37		<b>CLASIFICACIÓN:</b>
No 50	0.300	13.87	2.77	89.63	10.37		I.G. =
No60	0.250						<b>SUCS:</b> GW-GC
No80	0.180						<b>ASSTHO:</b> A-1-b(0)
No100	0.149	16.29	3.26	90.80	9.20		<b>OBSERVACIONES:</b>
No200	0.074	15.68	3.14	91.93	8.07		
<b>BASE</b>		111.92	22.38	100.00	0.00		
<b>TOTAL</b>		5000.00	100.00				
<b>% PERDIDA</b>		2.24					



B.N. ° 05-00129370



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"  
 FACULTAD DE INGENIERIAS Y CIENCIAS PURAS  
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL  
 LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS



TESIS

"INFLUENCIA DE LA CAPA DE MEJORAMIENTO Y REFUERZO CON GEOMALLA EN EL MÓDULO DE RESILIENCIA DE SUBRASANTE DE PAVIMENTOS FLEXIBLES PARA LA CIUDAD UNIVERSITARIA - UANCV - JULIACA"

SOLICITANTE

BACH. JESUS ALEXANDER CONDORI TICONA

MUESTRA

MUESTRA N°02

CANTERA

TAPARACHI

FECHA

11 DE ENERO DEL 2019

**CONTENIDO DE HUMEDAD  
 ASTM - D - 2216 - MTC - E 108**

SUELO HUMEDO + TARRO	gr	586.95
SUELO SECO + TARRO	gr	538.75
PESO DEL TARRO	gr	40.18
PESO DEL AGUA	gr	48.20
PESO DEL SUELO SECO	gr	498.57
HUMEDAD %	%	9.67

**LIMITE LIQUIDO - LIMITE PLASTICO E INDICE DE PLASTICIDAD  
 ASTM - D424 D-4318 AASHTO - T90**

**LIMITE LIQUIDO**

TARRO N°		S	N
SUELO HUMEDO + TARRO	gr	36.92	37.16
SUELO SECO + TARRO	gr	31.82	32.02
PESO DEL TARRO	gr	18.85	18.88
PESO DEL AGUA	gr	5.10	5.14
PESO DEL SUELO SECO	gr	12.97	13.14
HUMEDAD %	%	39.32	39.12
N° DE GOLPES		25	25

**LIMITE PLASTICO**

D	M-2
13.35	13.72
12.50	12.75
8.63	8.29
0.85	0.97
3.87	4.46
21.96	21.75

**LIMITE LIQUIDO : 39.22      LIMITE PLASTICO : 21.86**

**INDICE PLASTICO : 17.36**

LL =  $W_n * (N/25)^{0.121}$   
 Donde:  
 LL = Limite Liquido  
 Wn = Contenido de Humedad Promedio (%)  
 N = Numero de Golpes

NOTA LAS MUESTRAS FUERON TRABAJADAS POR EL BACHILLER EN EL LABORATORIO

UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"  
 FACULTAD DE INGENIERIAS Y CIENCIAS PURAS  
 DECANO  
 DR. ALFREDO T. ZEGARRA BUTRÓN  
 DECANO  
 CIP: 32590



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS



## CONTROL DE COMPACTACIÓN

TESIS : "INFLUENCIA DE LA CAPA DE MEJORAMIENTO Y REFUERZO CON GEOMALLA EN EL MÓDULO DE RESILIENCIA DE SUBRASANTE DE PAVIMENTOS FLEXIBLES PARA LA CIUDAD UNIVERSITARIA - UANCV - JULIACA"  
SOLICITANTE : BACH. JESUS ALEXANDER CONDORI TICONA  
LUGAR : CIUDAD UNIVERSITARIA  
CANTERA : TAPARACHI - JULIACA  
FECHA : 13 DE DICIEMBRE DEL 2018 CAPA : SUBRASANTE

Progresiva	TRAMO 2				
Ubicación	UANCV				
CAPA	14.5 CM				

### DENSIDAD DE CAMPO

1 Peso del Frasco + arena grs.	6500				
2 Peso Frasco + arena sobrante grs.	2080				
3 Peso arena empleada gr. (1)-(2)	4420				
4 Peso arena del cono grs.	1617				
5 Peso arena de hueco gr. (3)-(4)	2803				
6 Densidad de la arena	1.42				
7 Volumen de hueco cc. (5)/(6) Y	1974				
8 Peso tarro + suelo + grava gr.	4280				
9 Peso del tarro grs.	--				
10 Peso del suelo + grava (8)-(9)gr.	4280				
11 Densidad muestra humeda gr/cm3	2.17				

CONTENIDO DE HUMEDAD (Cuando el contenido de grava es 15% de la muestra compactada)

12 Peso recipiente + suelo hum. gr.	430.15				
13 Peso recipiente + suelo seco gr.	399.45				
14 Peso de agua gr. (12)-(13)	30.70				
15 Peso recipiente grs.	38.53				
16 Peso suelo seco gr. (13)-(15)	360.92				
17 Cont. hum. (14):(16) x 100	8.51				
18 Dens. muestra seca(11):(19)+(17)	2.01				

### % DE GRAVA

19 Peso total muestra seca gr. .	3974				
20 Peso retenido tamiz Nø 3/4 gr.	371.11				
21 % ret. en tamiz Nø 3/4(20):(19)x100	9.34				
22 Peso esp. de la grava	2.49				

CORRECCIÓN DE DENSIDAD POR CONTENIDO DE GRAVA DE 15% a 40%

23 Volumen de grava cc.	149				
24 Peso seco finos gr. (19)-(20)	3602				
25 Volumen de finos CC (7)-(23)	1825				
26 Dens. seca finos (24):(25)	1.970				
27 Maxima densidad	2.102				
28 Optimo cont. Humedad	9.39				
29 Correc. dens. Proctor (grava 40%)					
% COMPACTACIÓN	93.72				



F N° 02-0294



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"  
 FACULTAD DE INGENIERIAS Y CIENCIAS PURAS  
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL  
 LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS



### ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO

ASTM D-1557 MTC E 115-200

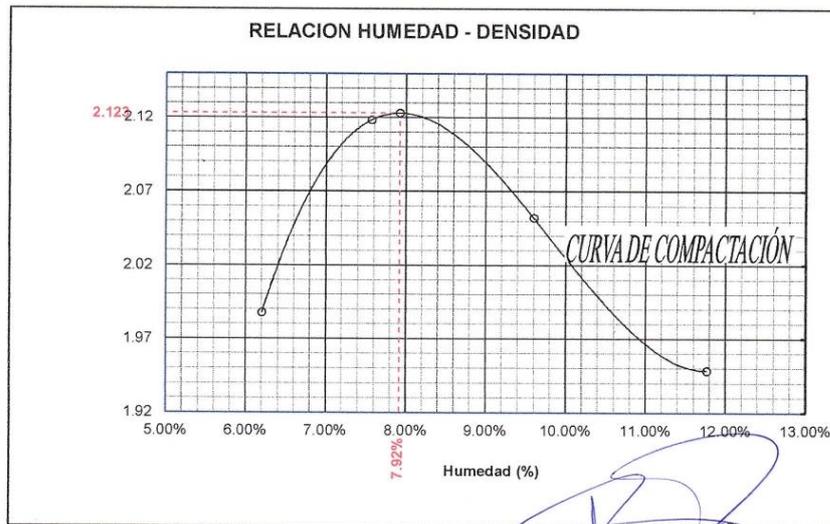
TESIS	: "INFLUENCIA DE LA CAPA DE MEJORAMIENTO Y REFUERZO CON GEOMALLA EN EL MÓDULO DE RESILIENCIA DE SUBRASANTE DE PAVIMENTOS FLEXIBLES PARA LA CIUDAD UNIVERSITARIA - UANCV - JULIACA"		
SOLICITANTE	: BACH. JESUS ALEXANDER CONDORI TICONA		
MUESTRA	: N° 1		
CANTERA	: TAPARACHI	FECHA	: 06 DE DICIEMBRE DEL 2018

MOLDE No	: 2	VOLUMEN DEL MOLDE	: 2115 cm <sup>3</sup>
No DE CAPAS	: 5	GOLPES POR CAPA	: 56 golpes

Peso Suelo Humedo + Molde	gr.	10395	10749	10687	10536
Peso del Molde	gr.	5930	5930	5930	5930
Peso del Suelo Humedo	gr/cm <sup>3</sup> .	4465	4819	4757	4606
Densidad del Suelo Humedo	gr/cm <sup>3</sup> .	2.111	2.278	2.249	2.178

Capsula No	No	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.
Suelo Humedo + Capsula	gr.	311.09	263.93	259.89	290.53	284.35	280.53	311.47	324.30
Peso del Suelo Seco + Capsula	gr.	295.76	250.15	244.37	272.74	263.28	258.78	282.35	294.48
Peso del Agua	gr.	15.33	13.78	15.52	17.79	21.07	21.75	29.12	29.82
Peso de la Capsula	gr.	38.27	36.62	38.17	38.78	37.03	38.78	38.30	37.48
Peso del Suelo Seco	gr.	257.49	213.53	206.20	233.96	226.25	220.00	244.05	257.00
% de Humedad	%	5.95%	6.45%	7.53%	7.60%	9.3%	9.89%	11.93%	11.60%
Promedio de Humedad	%	6.20%		7.57%		9.60%		11.77%	
Densidad del Suelo Seco	%	1.988		2.118		2.052		1.948	

METODO:	ASTM D - 1557 MODIFICADO "C"	MAXIMA DENSIDAD SECA	: 2.123 gr/cm <sup>3</sup>
		HUMEDAD OPTIMA	: 7.92 %



UANCV - FIEP  
 CAP INGENIERIA CIVIL  
 LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS  
 JULIACA - PERÚ  
 Ing. Roxana Barrantes Quiroz  
 C.R. 03-015349  
 C.R. 108700



# GEOTECNIA, PAVIMENTOS Y CONSTRUCCIÓN

MECÁNICA DE SUELOS - PAVIMENTOS - CIMENTACIONES - SUPERVISIÓN - PROYECTOS DE INGENIERÍA - CONSULTARÍA - CONSTRUCCIÓN EN GENERAL



## GEOTECNIA PUNO EIRL

MECANICA DE SUELOS- PAVIMENTOS - CIMENTACIONES- SUPERVISION-PROYECTOS DE INGENIERIA

OBRA : INFLUENCIA DE LA CAPA DE MEJORAMIENTO Y REFUERZO CON GEOMALLA EN EL MODULO DE RESILIENCIA DE SUBRASANTE DE PAVIMENTOS FLEXIBLES PARA LA CIUDAD UNIVERSITARIA UANCV JULIACA  
 CANTERA : TAPARACHI  
 MUESTRA : N° 01  
 TESISISTA : BACH. JESUS ALEXANDER CONDORI TICONA FECHA 16/12/2019

### VALOR RELATIVO DE SOPORTE (C.B.R.) (ASTM D-1883)

Molde N°	4	5	6
Capa N°	5	5	5
Golpes por capa N°	56	25	12
Condición de la muestra	SIN SUMERGIR	SUMERG.	SIN SUMERGIR
Peso molde + suelo humedo gr.	12842	12816	12782
Peso del molde gr.	7765	7945	8154
Peso del suelo humedo gr.	5077	4871	4638
Volumen del molde cc.	2213.8	2213.8	2213.8
Densidad Humeda gr./cc	2.29	2.2	2.1
Humedad %	7.90	7.80	7.90
Densidad seca gr./cc	2.12	2.04	1.95
Tarro N°	1	2	3
Tarro suelo humedo gr.	819	983	789
Tarro suelo seco gr.	759	893	731
Agua gr.	60	70	58
Peso del Tarro gr.	0	0	0
Peso del suelo seco gr.	759	893	731
Humedad %	7.9	7.8	7.9
Promedio de la humedad %			

### ENSAYO EXPANSION

FECHA	HORA	TIEMPO	DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION	
				m.m.	%		m.m.	%		m.m.	%

### PENETRACION

PENETRACION			Lectura Kg	Lectura Lb	Presiones Lb/plg <sup>2</sup>	Lectura Kg	Lectura Lb	Presiones Lb/plg <sup>2</sup>	Lectura Kg	Lectura Lb	Presiones Lb/plg <sup>2</sup>
Tiempo	mm	plg									
0.30	0.600	0.25	28	61.6	21	21	46.2	15	16	35.2	12
1.00	1.300	0.50	127	279.4	93	102	224.4	75	76	167.2	56
1.30	1.900	0.075	435	957	319	272	598.4	199	134	294.8	98
2.00	2.600	0.100	751	1652.2	551	452	1016.4	339	241	530.2	177
3.00	3.800	0.150	1024	2252.8	751	871	1916.2	639	336	739.2	246
4.00	5.000	0.200	1462	3216.4	1072	1263	2778.6	926	556	1223.2	408
5.00	6.000	0.250	1782	3920.4	1307	1681	3698.2	1233	842	1852.4	617
6.00	7.500	0.300	2125	4675	1558	2136	4699.2	1566	1024	2252.8	751
8.00	10.000	0.400									
10.00	12.500	0.500									

GEOTECNIA PUNO EIRL.  
Ingeniería de Fundaciones, Asesoría Consultoría y Construcción

ALFREDO ALVARO ATARRACHA  
INGENIERO CIVIL  
R.D. CIP 31732

TIAHUANACO H 17 URBANIZACIÓN RESIDENCIAL KOLLASUYO I ETAPA - JULIACA

# GEOTECNIA, PAVIMENTOS Y CONSTRUCCIÓN

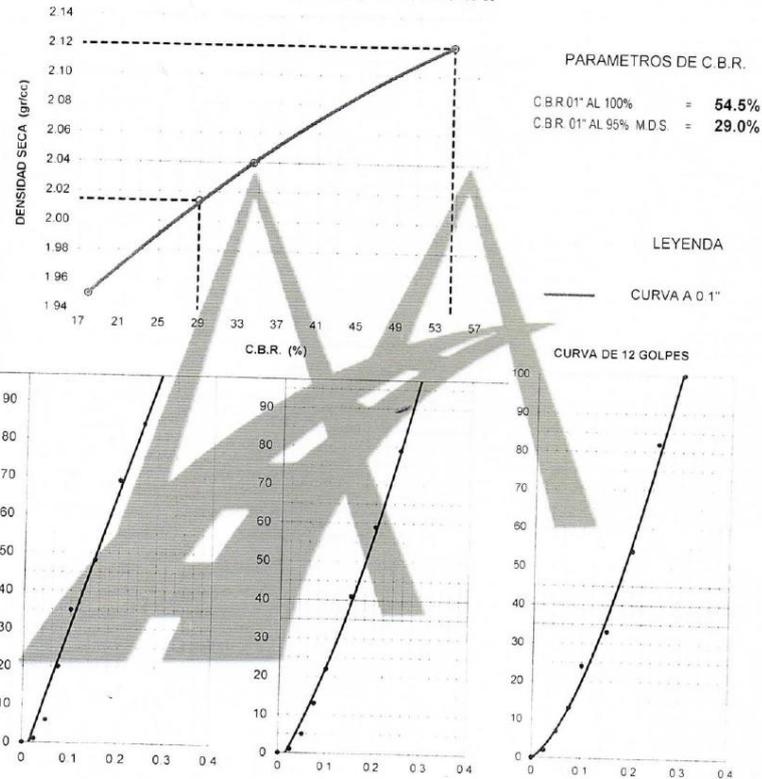
MECÁNICA DE SUELOS - PAVIMENTOS - CIMENTACIONES - SUPERVISIÓN - PROYECTOS DE INGENIERÍA - CONSULTARÍA - CONSTRUCCIÓN EN GENERAL

## GEOTECNIA PUNO EIRL

MECANICA DE SUELOS- PAVIMENTOS - CIMENTACIONES- SUPERVISION-PROYECTOS DE INGENIERIA

PROYECTO : INFLUENCIA DE LA CAPA DE MEJORAMIENTO Y REFUERZO CON GEOMALLA EN EL MODULO DE RESILIENCIA DE SUBRASANTE DE PAVIMENTOS FLEXIBLES PARA LA CIUDAD UNIVERSITARIA UANCV JULIACA  
TAPARACHI  
MUESTRA : N° 01  
PROFUND. : BACH JESUS ALEXANDER CONDORI TICONA      FECHA : 16/12/2019

### GRAFICO DE C.B.R.



GEOTECNIA PUNO EIRL  
Ingeniería de Pavimentos, Geotecnia y Construcción

ALFREDO ALARCÓN ATAHUACMA  
INGENIERO CIVIL  
Reg. CIP 21720

TIAHUANACO H 17 URBANIZACIÓN RESIDENCIAL KOLLASUYO I ETAPA - JULIACA

# ANEXO B. DEFLEXIONES CON LA VIGA DE BENKELMAN



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"  
 FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS PURAS  
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL  
 LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS

TESIS: "INFLUENCIA DE LA CAPA DE MEJORAMIENTO Y REFUERZO CON GEOMALLA EN EL MÓDULO DE RESILIENCIA DE SUBRASANTE DE PAVIMENTOS FLEXIBLES PARA LA CIUDAD UNIVERSITARIA - UANCY - JULIACA"  
 SOLICITANTE: BACH: JESÚS ALEXANDER CONDORI TICONA  
 TRAMO: CONTROL (SIN GEOMALLA)  
 FECHA: 11/02/2020

Carga por eje	8200 kg
Carga por ensayo	4100 kg
Presión de inflado	80psi.

Relación de longitudes de brazo	2.1
Unidad de lectura (1/100 mm)	0.01mm
Factor de corrección estacional	1.00

## EVALUACIÓN DEFLECTOMÉTRICA - VIGA BENKELMAN

Prog.	Lado	Lectura de dial ( $\times 10^{-2}$ ) mm					Resultados deflexión ( $\times 10^{-2}$ ) mm					
		Lo	L(25 cm)	L(50 cm)	L(75 cm)	L(100 cm)	Lf	D0	D25	D50	D75	D100
0+001	Izquierdo	0	5	26	51	64	78	156	146	104	54	28
0+003	Izquierdo	0	12	40	35	64	81	162	138	82	52	34
0+005	Izquierdo	0	7	32	52	63	89	178	164	114	74	52
0+007	Izquierdo	0	9	30	45	64	90	180	162	120	90	52
0+009	Izquierdo	0	2	14	18	18	45	90	86	62	54	34
0+001	centro	0	8	21	40	58	81	162	146	120	82	46
0+003	centro	0	7	164	41	58	82	164	150	118	82	46
0+005	centro	0	2	19	48	62	84	168	164	130	72	44
0+007	centro	0	10	30	60	80	104	208	188	148	88	48
0+009	centro	0	10	28	58	81	102	204	184	148	88	42
0+001	Derecho	0	8	30	39	59	91	182	166	122	104	64
0+003	Derecho	0	2	11	30	48	76	152	148	130	92	56
0+005	Derecho	0	1	13	30	49	72	144	142	118	84	46
0+007	Derecho	0	5	34	49	79	103	206	196	138	108	48
0+009	Derecho	0	4	35	49	60	74	148	140	78	50	28



B.N° 05-0179370



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"  
 FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS PURAS  
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL  
 LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS



TESIS: "INFLUENCIA DE LA CAPA DE MEJORAMIENTO Y REFUERZO CON GEOMALLA EN EL MÓDULO DE RESILIENCIA DE SUBRASANTE DE PAVIMENTOS FLEXIBLES PARA LA CIUDAD UNIVERSITARIA - UANCV - JULIACA"  
 SOLICITANTE: BACH. JESÚS ALEXANDER CONDORI TICONA  
 TRAMO: EXPERIMENTAL (CON GEOMALLA)  
 FECHA: 11/02/2020

8200 kg  
 4100 kg  
 80psi.

Carga por eje  
 Carga por ensayo  
 Presión de inflado

EVALUACIÓN DEFLECTOMÉTRICA - VIGA BENKELMAN

Relación de longitudes de brazo  
 Unidad de lectura (1/100 mm)  
 Factor de corrección estacional

2.1  
 0.01mm  
 1.00

Prog.	Lado	Lectura de dial ( $\times 10^{-2}$ ) mm					Resultados deflexión ( $\times 10^{-2}$ ) mm						
		L <sub>e</sub>	L(25 cm)	L(50 cm)	L(75 cm)	L(100 cm)	Lf	D0	D25	D50	D75	D100	
0+001	Izquierdo	0	2	21	49	58	70	140	136	98	42	24	
0+003	Izquierdo	0	4	23	42	54	72	144	136	98	60	36	
0+005	Izquierdo	0	3	20	48	57	87	174	168	134	78	60	
0+007	Izquierdo	0	2	18	42	60	85	170	166	134	86	50	
0+009	Izquierdo	0	6	28	52	70	93	186	174	130	82	46	
0+001	centro	0	10	31	50	70	84	168	148	106	68	28	
0+003	centro	0	5	20	40	55	70	140	130	100	60	30	
0+005	centro	0	8	27	49	62	84	168	152	114	70	44	
0+007	centro	0	9	29	49	57	84	168	150	110	70	54	
0+009	centro	0	15	38	65	73	90	180	150	104	50	34	
0+001	Derecho	0	3	15	55	75	99	198	192	168	88	48	
0+003	Derecho	0	1	18	34	55	80	160	158	124	92	50	
0+005	Derecho	0	2	14	40	50	80	160	156	132	80	60	
0+007	Derecho	0	1	17	40	54	81	162	160	128	82	54	
0+009	Derecho	0	1	13	22	44	82	164	162	138	120	76	



UANCV FICP  
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

Mgtr. José Antonio Paredes Vera  
 C.I.P. 62794

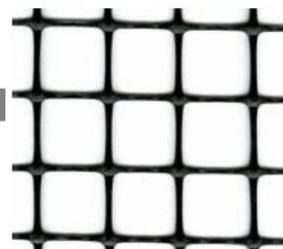
# ANEXO C. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LA GEOMALLA

## MacGrid® EGB 30

### Geomalla Biaxial Extruida

#### Características técnicas

MacGrid® EGB 30 es una geomalla biaxial extruida de polipropileno, indicada para refuerzo y estabilización de suelos.



Propiedades Físicas	Unidades	Ensayo	EGB 30
Abertura nominal de la malla longitudinal (MD) <sup>(1)</sup>	mm		36
Abertura nominal de la malla transversal (TD) <sup>(1)</sup>	mm		38
Polímero			Polipropileno
Color			negro

Propiedades Mecánicas	Unidades	Ensayo	EGB 30
Resistencia longitudinal a la tracción (MD)	kN/m	ASTM D 6637	30.0
Resistencia transversal a la tracción (TD)	kN/m	ASTM D 6637	30.0
Resistencia longitudinal al 2% de deformación (MD)	kN/m	ASTM D 6637	10.5
Resistencia transversal al 2% de deformación (TD)	kN/m	ASTM D 6637	10.5
Resistencia longitudinal al 5% de deformación (MD)	kN/m	ASTM D 6637	21.0
Resistencia transversal al 5% de deformación (TD)	kN/m	ASTM D 6637	21.0
Eficiencia de las juntas	%	GRI GG2	93
Rigidez Flexural	mg-cm	ASTM D 1388	3,500,000
Espesor mínimo de la costilla Longitudinal (MD)	mm	ASTM D 1777	2.00
Espesor mínimo de la costilla Transversal (TD)	mm	ASTM D 1777	1.50
Estabilidad de las Aperturas	m-N/deg	COE Method	1.40

Presentación del Rollo	Unidades	Ensayo	EGB 30
Ancho del rollo	m		3.95
Largo del rollo	m		50

(1) La tolerancia de las dimensiones de la abertura es de  $\pm 2$ mm.

Los datos técnicos e informaciones indicadas en la presente hoja técnica están basados en la más recientes informaciones disponibles y pueden estar sujetas a variaciones, debido a modificaciones de los procesos productivos y de la política comercial.

**MACCAFERRI**  
AMÉRICA LATINA

Maccaferri se reserva el derecho de revisar estas especificaciones en cualquier momento, de acuerdo con las características de los productos fabricados.

Sistema de Gestión de Calidad  
Certificado de Conformidad con la  
Norma ISO 9001:2000

**ISO 9001**

[www.maccaferri.com.pe](http://www.maccaferri.com.pe)

Mayo, 2011

## ANEXO D. PESAJE DEL VOLQUETE

### GRIFO LOS PINOS

SERVICIO: BALANZA ELECTRONICA  
DE ANTONIETA SATURNINA WAGNER SALMON  
RUC: 10023948619  
DIRECCION: AV. HEROES DEL PACIFICO Km. 2 - JULIACA - PUNO

---

TICKET DE PESAJE N°: 684

Cliente : -  
N° de Placa : Z2T-877  
Conductor : -  
Producto : -  
Operador : -  
Observación : -



---

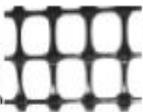
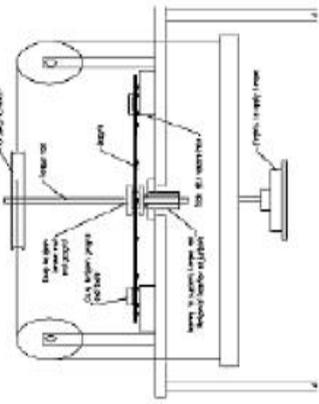
#### PRIMERA PESADA

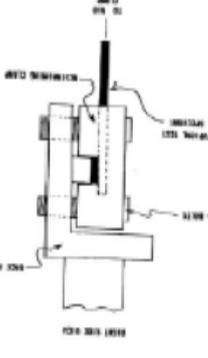
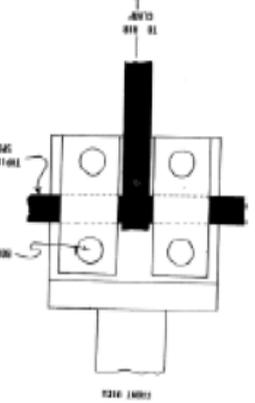
Fecha : 17/10/2019  
Hora : 08:56:26 a.m.  
PESO : 8200 Kg.

---

## II.1.2 GEOMALLAS.

Tabla 2.1: Ensayos para determinar diferentes pruebas a Geomallas.

ENSAYOS	CONCEPTO	Figura 2.2: Mesa para ensayo de resistencia a la torsión para geomalla biaxial.
<p>ESTABILIDAD DE LA ABERTURA Y RESISTENCIA A LA TORSIÓN</p>	<p>Los términos "estabilidad secante de la apertura", "módulo torsional de rigidez" y "módulo de estabilidad de la apertura", son términos frecuentemente utilizados para describir esta misma propiedad. El módulo de estabilidad de la apertura, se define como una fuerza torsional, o torque, dividido entre los grados de rotación del mismo. El módulo de estabilidad de la apertura, se define como una fuerza torsional, o torque, dividido entre los grados de rotación del mismo. El ensayo finaliza en el momento de alcanzar un torque de dos mil newton-milímetro, o bien un ángulo de rotación de veinte grados.</p>  <p>Figura 2.1: Muestra de geomalla biaxial para ensayo.</p>	
<p>RIGIDEZ Y RESISTENCIA A LA FLEXIÓN</p>	<p>El ensayo se realiza para determinar la rigidez y la resistencia a la flexión de un conjunto de costillas de una geomalla biaxial. El ensayo consiste en aplicar una fuerza a la muestra, hasta que esta se doble, tomando la lectura de la escala incorporada en la máquina, tanto del ángulo de rotación, no mayor de cuarenta grados, así como la longitud de curva formada en la deflexión, datos de los cuales se obtiene la rigidez flexural, o resistencia a la flexión.</p>	<p>Figura 2.3: Máquina para realizar ensayo de rigidez y resistencia a la flexión.</p> 

<p><b>RESISTENCIA A LA TENSIÓN</b></p>	<p>Este ensayo se realiza para determinar la resistencia a la tensión y el comportamiento a la elongación de una costilla o de un conjunto de estas, de una geomalla biaxial, el resultado del mismo puede utilizarse como referencia para el rollo completo de geomalla, indicando siempre la dirección del mismo en a que se realizó el ensayo. Para la realización de este ensayo se deben identificar oos tipos de costillas propias de la geomalla biaxial, las costillas longitudinales y las transversales. El procedimiento consiste en aplicar una fuerza de tensión constante sobre la muestra midiendo al mismo tiempo la fuerza aplicada y la deformación o elongación de la misma, a una velocidad de cincuenta milímetros por minuto, hasta que esta falle. Este procedimiento se utiliza para determinar la resistencia de una unión también llamada nudo o nodo, de una geomalla biaxial. Los resultados de este pueden ser comparados con los del ensayo de la resistencia a la tensión, de la misma muestra. La unión o nudo se define como la interconexión de las costillas longitudinales y transversales de una geomalla biaxial, proporcionando estabilidad dimensional así como un mecanismo de transferencia de cargas o esfuerzos.</p>	<p><b>Figura 2.4:</b> Costilla de geomalla biaxial utilizada para ensayo.</p> 
<p><b>RESISTENCIA DE LA UNIONES O NUDOS</b></p>	<p><b>Figura 2.5:</b> Sección de abrazadera rectangular para sujeción de nudo.</p> 	<p><b>Figura 2.6:</b> Abrazadera rectangular para sujeción de nudo.</p> 

Fuente: Extracción del manual de Geosoft Pavco, capítulo 2.