



**UNIVERSIDAD JOSÉ CARLOS MARIÁTEGUI**

**VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y  
ARQUITECTURA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

**T E S I S**

**APLICACIÓN DE LA GEOCELDA TRIDIMENSIONAL PARA  
PAVIMENTACIÓN EN SUELO VOLCÁNICO EN LA  
AVENIDA 3 DEL CENTRO POBLADO COGRI EN  
EL DISTRITO DE OMATE - MOQUEGUA**

**PRESENTADA POR**

**BACHILLER ALISSON SHANYN ALCÁZAR PRADO**

**ASESOR:**

**MGR. KARLA FIORELLA CORNEJO LECAROS**

**PARA OPTAR TÍTULO PROFESIONAL DE**

**INGENIERO CIVIL**

**MOQUEGUA - PERÚ**

**2022**

## CONTENIDO

|                              | <b>Pág.</b> |
|------------------------------|-------------|
| Página de Jurado .....       | i           |
| Dedicatoria .....            | ii          |
| Agradecimientos .....        | iii         |
| Contenido.....               | iv          |
| CONTENIDO DE TABLAS .....    | vii         |
| CONTENIDO DE FIGURAS .....   | viii        |
| CONTENIDO DE APÉNDICES ..... | ix          |
| RESUMEN.....                 | x           |
| ABSTRACT .....               | xi          |
| INTRODUCCIÓN .....           | xii         |

## CAPÍTULO I

### PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

|   |   |
|---|---|
| 11.1 Descripción de la Realidad del Problema..... | 1 |
| 1.2 Definición del Problema.....                  | 2 |
| 1.2.1 Problema General.....                       | 2 |
| 1.2.2 Problemas Específicos .....                 | 2 |
| 1.3 Objetivos de la Investigación .....           | 3 |
| 1.3.1 Objetivo General .....                      | 3 |

|       |                                      |   |
|-------|--------------------------------------|---|
| 1.3.2 | Objetivos Específicos.....           | 3 |
| 1.4   | Justificación.....                   | 4 |
| 1.5   | Alcances y Limitaciones.....         | 4 |
| 1.6   | Variables.....                       | 5 |
| 1.6.1 | Operacionalización de Variables..... | 5 |
| 1.7   | Hipótesis de la Investigación.....   | 5 |
| 1.7.1 | Hipótesis General.....               | 5 |
| 1.7.2 | Hipótesis Específicas.....           | 6 |

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

|       |   |    |
|-------|---|----|
| 2.1   | Antecedentes de la Investigación.....     | 7  |
| 2.2   | Bases Teóricas.....                       | 12 |
| 2.2.1 | Geoceldas para pavimentación.....         | 12 |
| 2.2.2 | TAR (Tecnología de Alto Rendimiento)..... | 15 |
| 2.2.3 | Las Geoceldas.....                        | 15 |
| 2.2.4 | Conservacion Ambiental.....               | 28 |
| 2.2.5 | Viabilidad de las carreteras.....         | 29 |
| 2.2.6 | Asfalto.....                              | 32 |
| 2.2.7 | Diseño geométrico de Carreteras.....      | 34 |
| 2.3   | Definición de Términos.....               | 44 |

## **CAPÍTULO III**

### **MÉTODO**

|     |   |    |
|-----|---|----|
| 3.1 | Tipo De la Investigación .....                                | 47 |
| 3.2 | Diseño de la Investigación.....                               | 47 |
| 3.3 | Población y Muestra .....                                     | 47 |
| 3.4 | Técnicas para recolección de datos .....                      | 48 |
| 3.5 | Criterio de validez y confiabilidad de los instrumentos ..... | 49 |
| 3.6 | Técnicas para el procesamiento y análisis de datos.....       | 49 |
| 3.7 | Análisis Estadístico.....                                     | 52 |

## **CAPÍTULO IV**

### **ANÁLISIS E INTERPERETACIÓN DE RESULTADOS**

|     |                                  |    |
|-----|----------------------------------|----|
| 4.1 | Ubicación del Proyecto.....      | 55 |
| 4.2 | Presentación de Resultados ..... | 56 |
| 4.3 | Contrastación de Hipótesis ..... | 66 |
| 4.4 | Discusión de Resultados.....     | 69 |

## **CAPÍTULO V**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

|     |                       |    |
|-----|-----------------------|----|
| 5.1 | Conclusiones.....     | 71 |
| 5.2 | Recomendaciones ..... | 72 |

|                                 |    |
|---------------------------------|----|
| REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 73 |
| APÉNDICES.....                  | 75 |
| MATRIZ DE CONSISTENCIA .....    | 92 |

## CONTENIDO DE TABLAS

|  | <b>Pág.</b> |
|--|-------------|
| Tabla 1. Operacionalización de Variables .....                 | 5           |
| Tabla 2. Grosor y el tipo de carga .....                       | 24          |
| Tabla 3. Tabla de confiabilidad alfa de Cronbach .....         | 52          |
| Tabla 4. Deflexion del pavimento con refuerzo.....             | 53          |
| Tabla 5. Deflexion del pavimento sin refuerzo .....            | 54          |
| Tabla 6. Resumen de Ensayos de Laboratorio (sub rasante) ..... | 56          |
| Tabla 7. Diseño de Pavimentos AASHTO (convencional) .....      | 57          |
| Tabla 8. Diseño de Pavimentos (con geocelda) .....             | 59          |
| Tabla 9. Deflexiones Benkelman (con geocelda) .....            | 63          |
| Tabla 10. Deflexiones Benkelman (sin geocelda) .....           | 64          |
| Tabla 11. Costo/m <sup>2</sup> (pavimento con geocelda) .....  | 67          |
| Tabla 12. Costo/m <sup>2</sup> (pavimento tradicional) .....   | 67          |

## CONTENIDO DE FIGURAS

|  | <b>Pág.</b> |
|--|-------------|
| Figura 1. Diamond Grid (geoceldas).....                                  | 17          |
| Figura 2. Diamond Grid .....   | 18          |
| Figura 3. Diamond Grid Heavy Duty.....                                   | 19          |
| Figura 4. Autoencastrable .....  | 19          |
| Figura 5. Proceso de colocación de Diamond Grid.....                     | 20          |
| Figura 6. Unión entre mayas .....  | 21          |
| Figura 7. Ejecución de la Obra.....                                      | 21          |
| Figura 8. Vaciado.....   | 25          |
| Figura 9. Instalación.....   | 26          |
| Figura 10. Instalación.....  | 26          |
| Figura 11. Relleno.....  | 27          |
| Figura 12. Cubierta.....   | 28          |
| Figura 13. Pavimento Flexible .....                                      | 29          |
| Figura 14. Pavimentos Flexibles .....                                    | 30          |
| Figura 15. Extendido del Concreto .....                                  | 31          |
| Figura 16. Pavimentos Flexibles.....                                     | 32          |
| Figura 17. Distancias de Visibilidad de Parada y de Adelantamiento ..... | 36          |
| Figura 18. Medidas generales .....                                       | 37          |
| Figura 19. Altura máxima .....   | 38          |
| Figura 20. Ejemplo de población, Unidad de Análisis y muestra .....      | 50          |
| Figura 21. Deflexión Vs Prog. ....                                       | 53          |
| Figura 22. Deflexión Vs Prog. ....                                       | 54          |

|  |    |
|--|----|
| Figura 23. Estructura de pavimento (convencional) .....  | 58 |
| Figura 24. Estructura de pavimento con geocelda .....  | 60 |
| Figura 25. Deformación de la Sub Rasante (sin refuerzo) .....  | 61 |
| Figura 26. Deformación de la Sub Rasante (sin refuerzo) .....  | 61 |
| Figura 27. Deformación de la Sub Rasante (con refuerzo).....   | 62 |
| Figura 28. Deformación de la Sub Rasante (con refuerzo).....   | 62 |
| Figura 29. Perfil de deformación superficial para capa base reforzada y no<br>reforzada de 100 mm de espesor (Deformación 2d mediante) ..... | 65 |
| Figura 30. Perfil de deformación superficial para capa base no reforzada y<br>reforzada de 150 mm de espesor (Deformación 2d mediante) ..... | 65 |
| Figura 31. T de Student para resistencia a compresión.....   | 68 |

## CONTENIDO DE APÉNDICES

|  | <b>Pág.</b> |
|--|-------------|
| APÉNDICE A. Ensayos de laboratorio de sub rasante .....  | 76          |
| APÉNDICE B Cuestionario de Validez de Instrumentos ..... | 85          |
| APÉNDICE C Panel Fotográfico.....                        | 89          |

## RESUMEN

Las Geoceldas se utilizan cada vez más como material reforzado en varias divisiones de la ingeniería civil. El objetivo de esta investigación fue demostrar que el uso de las Geoceldas tridimensionales es la solución a los problemas de pavimentación en suelo volcánico inestable, el cual mediante la aplicación del software PLAXIS 2D se determinó el funcionamiento de geoceldas en pavimento flexible a través de Análisis de elementos finitos para investigar el efecto de la rigidez axial de las geoceldas en el pavimento a diferentes espesores de la capa base. Los resultados obtenidos según los ensayos estándares de laboratorio (Granulometría, límites de consistencia, Peso unitario, Humedad, proctor modificado y CBR), así como los ensayos especiales (Viga Benkelman y Placa de Carga) realizados en la presente investigación, se determinó que el suelo de ceniza volcánica es de baja resistencia según lo requerido por el MTC. Teniendo en cuenta que la zona alto andina de Moquegua no se tiene presencia de un buen material granular cerca para tratamiento del terreno según análisis de costos unitarios planteados se concluye que un pavimento con refuerzo de geocelda es mucho más económico que el pavimento convencional de asfalto puesto que se evita realizar un mejoramiento de sub rasante cuya profundidad mínima debe ser de 0.8 cm tal cual establece la normativa de la EG- 2013, por tener un CBR. 4.8 que es menor a 6% (MTC, 2018).

*Palabras clave: Geocelda, Pavimento y Suelo volcánico.*

## ABSTRACT

Geocells are increasingly used as a reinforced material in various divisions of civil engineering. The objective of this research was to demonstrate that the use of three-dimensional Geocells is the solution to the problems of paving in unstable volcanic soil, which through the application of PLAXIS 2D software will determine the operation of geocells in flexible pavement through Analysis of finite elements to investigate the effect of axial stiffness of geocells on the pavement at different base layer thicknesses. The results obtained according to the standard laboratory tests (Granulometry, consistency limits, unit weight, humidity, modified proctor and CBR), as well as the special tests (Benkelman Beam and Load Plate) carried out in the present investigation, extend that the volcanic ash soil is low strength as required by the MTC. Taking into account that the high Andean zone of Moquegua does not have the presence of a good granular material nearby for treatment of the land, according to the unit cost analysis proposed, it is concluded that a pavement with geocell reinforcement is much cheaper than conventional asphalt pavement. that it is avoided to carry out an improvement of subgrade whose minimum depth must be 0.8 cm as established by the regulations of the EG-2013, for having a CBR. 4.8 which is less than 6% (MTC, 2018):

*Keywords: Geocell, Pavement and Volcanic Soil.*

## INTRODUCCIÓN

El estado de deterioro de una vía es muestra de que también ha perdido capacidad estructural, lo que puede presentar riesgos e inconvenientes en la circulación de los usuarios.

Por ello la rehabilitación y mantenimiento deberán ser orientadas a asegurar una adecuada condición de operatividad, seguridad vial y condición de servicio.

La habilitación de vías pavimentadas tiene como objeto construir o restablecer la funcionalidad del pavimento y hacerlo competente por un cierto período de servicio. Esta actividad puede integrar el reemplazo total o parcial de las capas asfálticas, regularmente los procesos de asfaltado se asocian a la prolongación de periodos de vida útil, por ello que es fundamental la selección de los materiales ya que no solo deben cumplir con la función práctica de durabilidad, sino también se deben concertar a presupuestos y tener un mínimo impacto ambiental.

El presente trabajo de investigación escoge la geocelda Diamond Grid debido que la construcción de carreteras a demandado utilizar nuevas alternativas tecnológicas que sean amigables con el ambiente y resulten rentables económicamente; el uso de la geocelda es una alternativa viable puesto que cumple con todas características mencionadas y además es indicada para estabilizar terreno o pavimentos que tienen poca capacidad portante como lo son los suelos en Omate - Moquegua la cual presenta ceniza volcánica.

El presente trabajo de investigación escoge la geocelda Diamond Grid debido que la construcción de carreteras a demandado utilizar nuevas alternativas tecnológicas que sean amigables con el ambiente y resulten rentables económicamente; el uso de la geocelda es una alternativa viable puesto que cumple con todas características mencionadas y además es indicada para estabilizar terreno o pavimentos que tienen poca capacidad portante como lo son los suelos en Omate - Moquegua la cual presenta ceniza volcánica.

## **CAPÍTULO I**

### **PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **1.1 Descripción de la Realidad del Problema**

Es una preocupación constante de las entidades públicas y privadas el cumplimiento de la vida útil de los pavimentos, puesto que dicho desgaste prematuro del pavimento causa perjuicios económicos a dichas entidades.

Otra de las grandes problemáticas de los pavimentos es encontrar materiales de buena calidad y que sean fáciles de explotar trasladar hacia la zona de ejecución de la obra.

Todo ello ha llevado a la investigación y experimentación de nuevos mecanismos, materiales y hasta métodos de cimentación de pavimentos que se ajusten a los requerimientos estructurales, técnicos, económicos y ambientales; en los últimos años los ensayos realizados han proporcionado interesantes resultados, uno de ellos es la geoceldas tridimensionales, estos son materiales ensamblados de una forma geométrica parecido a una colmena, los cuales superaron las pruebas de laboratorio y está siendo utilizado en países como Estados Unidos,

Suráfrica, Alemania, cuyos resultados son buenos al punto que su uso se está expandiendo a otros países.

Varios estudios de tipo social y económico concuerdan en que uno de los problemas que incide en el atraso de las sociedades es un deficiente sistema vial, ya que impacta en el desarrollo de las actividades influyendo directamente en el comercio e intercambio cultural que desde épocas antiguas son los ejes del desarrollo y progreso de la población.

En las vías de la zona alto andina de Moquegua existe mayor presencia de terreno tipo volcánico inestable de características físicas y mecánicas de baja calidad, en esta zona alto andina el material granular clasificado para mejoramiento de suelos es escaza, por lo que genera que las vías tengan problemas de asentamiento o se deterioren con mayor velocidad.

## **1.2 Definición del Problema**

### **1.2.1 Problema General.**

¿La Geocelda tridimensional es la solución a los problemas de inestabilidad en la estructural del pavimento en Suelo volcánico en la Avenida 3 del Centro Poblado Cogli distrito de Omate - Moquegua?

### **1.2.2 Problemas Específicos.**

¿En qué medida la deflexión del suelo de fundación influye con la aplicación de la Geocelda tridimensional?

¿Cuánto influye en la deformación del pavimento el Modulo de Elasticidad de bases con refuerzo de Geocelda Tridimensional?

¿Cómo varia en costo unitario del Pavimento en suelos volcánicos usando Geocelda tridimensional en comparación con el sistema tradicional?

### **1.3 Objetivos de la Investigación**

#### **1.3.1 Objetivo General.**

Demostrar que el uso de las Geoceldas tridimensionales es la solución de los problemas de pavimentación en suelo volcánico inestable en la Avenida 3 del Centro Poblado Cogri en el Distrito de Omate.

#### **1.3.2 Objetivos Específicos.**

**OE1:** Determinar las propiedades mecánicas del suelo de fundación de la Avenida 3 del Centro Poblado Cogri-Omate.

**OE2:** Determinar la deformación inicial y final (con refuerzo) del pavimento con suelo volcánico de la Avenida 3 del Centro Poblado Cogri-Omate.

**OE3:** Determinar el costo unitario del pavimento con refuerzo de Geocelda comparado con el costo del pavimento tradicional.

## **1.4 Justificación**

Dicha investigación beneficiara a la zona alta de Moquegua que presenta suelo de Ceniza Volcánica. Aplicando el sistema de refuerzo de pavimentos con Geocelda Tridimensional y mediante un proceso de compactación adecuado se conformara un pavimento de alta resistencia acorde a la necesidad del tráfico y presupuesto establecido.

## **1.5 Alcances y Limitaciones**

### **1.5.1 Alcances.**

- El presente trabajo de investigación determinará que el uso de la geocelda tridimensional solucionara los problemas de viabilidad en las carreteras de suelo inestable en el Perú.
- Se analizara el impacto vial, económico y ambiental de la geocelda tridimensional al ser utilizada para pavimentar suelo con Ceniza Volcánica de baja capacidad portante.

### **1.5.2 Limitaciones.**

- Falta de experiencia de aplicación de Geoceldas Tridimensionales en carreteras del Perú.
- Escasez bibliográfica acerca de los estudios aplicados en geoceldas.

## 1.6 Variables

### 1.6.1 Operacionalización de Variables.

#### 1.6.1.1 Variable Independiente (X).

- Geocelda tridimensional.

#### 1.6.1.2 Variable Dependiente (Y).

- Pavimentación en Suelo Volcánico.

**Tabla 1**

*Operacionalización de variables*

| <b>Variab</b>                    | <b>Definición</b>   | <b>Dimensiones</b>                 | <b>Indicador</b>  | <b>Escala de Medición</b> |
|----------------------------------|---|------------------------------------|---|---------------------------|
| Geocelda tridimensional          | Permite conseguir una buena compactación del terreno mediante la creación de un suelo artificial. | Tipo de geocelda<br>Resistencia    | - Especificación técnica<br>- Tracción<br>- Compresión                        | Nominal                   |
| Pavimentación en Suelo Volcánico | Estructura de pavimento en Suelo volcánico  | Tipos de Materiales<br>Resistencia | - Granulometría<br>- Clasificación SUCS y AASHTO<br>- CBR<br>- Viga Benkelman | Nominal                   |

## 1.7 Hipótesis de la investigación

### 1.7.1 Hipótesis General.

El uso de la geocelda tridimensional es la solución a los problemas de inestabilidad en la estructura de pavimentación en suelo volcánico en la Avenida 3 del Centro Poblado Cogri en el Distrito de Omate - Moquegua.

### **1.7.2 Hipótesis Específicas.**

**HD1:** Demostrar que el suelo de fundación es Volcánico e inestable mediante ensayos estándares de laboratorio.

**HD2:** Con el uso de geocelda tridimensional disminuye la deformación del pavimento en suelo Volcánico inestable.

**HD3:** El empleo de geocelda tridimensionales reduce los costos de pavimentación en suelo volcánico inestable.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1 Antecedentes de la Investigación**

##### **2.1.1. Antecedentes Internacionales.**

Delgado (2016). En su Tesis “Evaluación del Módulo de un Material Granular Reforzado con el Sistema de Confinamiento Celular Neoweb”, cuyo objetivo general es evaluar cuanto aporta estructuralmente en un pavimento el sistema de confinamiento celular Neoweb, con la verificación según ensayos en la centrifuga el modulo del material (con y sin refuerzo), se evidencia que el aumento es mínimo siendo aproximadamente un 10%, concluyendo que las geoceldas no aumentan significativamente el módulo de los materiales contenidos en el confinamiento celular Neoweb.

Oyarzún (2018). En su Tesis “Diseño y Construcción de Prototipo de Pavimentos y Superficies Drenantes”, afirma que la utilización de geoceldas en pavimentos es una herramienta en desarrollo, puesto que es de mucha mejoría su uso en condiciones geográficas desfavorables ya que facilita la construcción de pavimento flexibles como rígidos tanto en aspecto técnico como económicos.

Por otra parte según los ensayos realizados se concluye que el prototipo (geoceldas) cumple con la función de superficie drenante, favoreciendo económicamente la construcción de pavimentos, en tanto a los aspectos físico mecánicos del terreno obtenidos mediante un estudio del tráfico pesado, el resultado indica que la resistencia es mayor a la convencional, siendo las geoceldas una alternativa para la conservación de caminos en zonas extremas, pudiéndose mejorar con la adición de algún recubrimiento asfáltico.

Garzón et al. (2019). Con su tesis “Estudio de Alternativa para la Estabilidad de un Suelo Utilizando Materiales Reciclables Vs Geoceldas Convencionales”, indica que para mejorar la calidad de los materiales de un pavimento se cuentan con distintas tecnologías las cuales han ido evolucionado con el tiempo una de estas son las Geoceldas convencionales fabricadas a base de polietileno de alta densidad, el proceso de fabricación de este material emite gases CO a la atmosfera, por lo que en la tesis se desarrollaran geoceldas sostenibles las cuales se basan en el desarrollo a bajo costo, con base de materiales alternativos que puedan ser reciclados y que tengan similitud en sus componentes con una Geocelda común, esto con el fin de tener un impacto mínimo con el medio ambiente para que funcione igual o mejor manera que tengan las mismas solicitaciones de carga producidas por el entorno en el cual se encontrarán, todos los factores ambientales en el cual estarán expuestas; para demostrar que la geocelda mejora la propiedades de un pavimento haciéndolo más estable para el tránsito de vehículos.

De acuerdo a los resultados de la investigación afirma que la geocelda convencional de syntex Colombia genera mayor resistencia la cual vuelve a la subrasante mal en subrasante regular – buena.

### **2.1.2. Antecedentes Nacionales.**

Ayala (2019). Desarrollo la tesis titulada “Evaluación de la estructura de pavimento flexible con la aplicación de geoceldas en Huaura – Huaura – Lima, 2019”, en esta tesis analiza el beneficio de la aplicación de geoceldas (tipo Neoweb) en la estructura de pavimento, para mejorar las condiciones de durabilidad y reducir costo en inversión y mantenimiento debido a que la geocelda tiene hasta 75 años de vida útil, lo que garantiza la conservación de la vía, obteniendo como resultado de la investigación, que el ensayo de Californian Bearing Ratio (CBR), para evaluar la capacidad portante de terreno compactado, aumenta un 95%, con relleno de material propio o material granular clasificado mejorado en un 50%, reduciendo el asentamiento vertical en un 0.45 mm, aplicando el ensayo de placa directa con y sin refuerzo en la estructura del pavimento, así mismo con la aplicación de la geocelda se reduce el costo (material para mejoramiento, maquinarias) y el plazo de ejecución física del pavimento en vías.

Gutiérrez (2021). Sustentó la Tesis “Estabilización de la subrasante en vías no pavimentadas con resina de ciprés, trocha Carrozable Tiquiña, Checacupe, Cusco 2021” de la Universidad Cesar Vallejo, el terreno de la zona de estudio de

la investigación, la subrasante no pavimentada es inestable y tendría que ser mejorado para su uso como vía de tránsito vehicular.

En la Investigación se buscara resolver el problema de la inestabilidad del terreno por lo que como problema general se buscara el resultado de cuanto se estabilizara el suelo aplicando la resina de ciprés y posteriormente mediante ensayos especiales buscar comparar el tratamiento de suelo con resina de ciprés y el mejoramiento convencional de sub rasante.

El estudio jerarquizado se aplicó mediante justificaciones de forma teórica, práctica, conveniencia y metodológica, en tal caso los resultados obtenidos sirvieron como implementación de conocimientos sobre la estabilización aumentando la capacidad portante del terreno (subrasante), verificado según los ensayos especiales (CBR, límites de atterberg y densidad máxima).

La investigación fue de tipo aplicada, para estabilizar la subrasante en vías no pavimentadas en el cual para obtener mejores resultados la aplicación de la resina fue en porcentajes variables de: (1.5%, 3% y 6%).

El nivel de estudio fue explicativo puesto que se buscó determinar la relación de los variables y de diseño experimental por lo que se manipulo la variable independiente (estabilización de la sub rasante no pavimentada).

El terreno de la trocha presenta una topografía llana y de características de suelo limos arcillosas, el cual se obtuvo dichas clasificación mediante la excavación de 03 calicatas, con presencia de lluvias en cualquier estación del año.

Se concluye que según los ensayos especiales aplicados para mejorar la estabilización de la sub rasante como: las densidades máximas secas halladas varían de acuerdo se le adicione más porcentaje de resina de ciprés, siendo el

valor máximo alcanzado de 1.981gr/cm<sup>3</sup> con la adición del 6%, en el ensayo de CBR se obtuvo un resultado de 16.7% , por lo que como resultado final, la resina natural de ciprés si estabiliza la subrasante de características limo arcillosas.

Mattos et al. (2019). Perú, en la tesis “Mejora de la Subrasante de Suelo Arcilloso Aplicando el Sistema de Confinamiento Celular para Reducir las Capas del Pavimento, busca determinar que con la aplicación del sistema de confinamiento celular genera una mejora en el proyecto de la investigación, puesto que en la amazonia peruana el suelo tiene características arcillosas o suelos blandos, sin la presencia de material granular cercano, ocasionando que los proyecto viales sean costosos, según ensayos realizados la mejora de la subrasante es considerable mejorando de 27.63 MPa a 287.32 MPa. Asimismo al aplicar el confinamiento celular en la capa de la sub rasante el módulo de elasticidad aumenta desde 108.87 MPa a un valor d 152.42 MPa y en la base se genera una mejora máxima de 134.04MPa a 187.65 MPa, por lo que en ambos casos se obtuvo una mejora de 40%.

En conclusión aplicando el confinamiento celular tanto en la subrasante como en la base del terreno se obtiene una mejora en las propiedades mecánica y físicas para la ejecución de las vías pavimentadas.

## **2.2 Bases Teóricas**

### **2.2.1 Geoceldas para pavimentación.**

#### **2.2.1.1 Definición.**

Uno de los objetivos fundamentales del siglo XXI es el desarrollo de nuevos métodos de construcción que sean respetuosos con el medio ambiente. Por ese motivo para la conservación del medio natural se realizaron estudios y como resultado dio que los geosintéticos constituyen sinergias importantes en el uso racional.

En el Perú muchos de sus suelos son rasantes, por lo cual se convierte en un problema su reemplazo, es por ello que constantemente se está haciendo una búsqueda para una solución económica y duradera a fin de evitar las fallas prematuras en los pavimentos

#### **2.2.1.2 Criterios Asentamientos diferenciales y distorsión angular en suelos.**

El sitio web de Escuela de Formación GF, (s.f.) ofrece un mayor panorama acerca de los criterios de asentamiento donde indica que para el diseño de una cimentación, en el momento de calcular los parámetros geosintéticos es precisar en suelos los criterios de asentamiento admisible. El estado límite de servicio no hace mucho era controlado por los asientos totales admisibles de la cimentación por lo que frecuentemente se ocupaba el valor de límite de 2,5cm en asentamiento para tabloncillos aislados y en piedras de 5cm.

No obstante, es un criterio un tanto ambiguo puesto que, si la estructura asienta de igual forma en todos los puntos de la cimentación, la estructura no tiene

por qué sufrir daños, aunque se superen dichos límites de asentamientos. De forma contraria, la diferencia de asentamientos entre cimentaciones muy próximas puede producir daños en la estructura, aunque no se superen dichos valores de 2,5 o 5 cm, (Escuela de Formación GF, s.f.).

Según el sitio web Escuela de Formación GF. (s.f.), La clasificación de los Criterios de Asentamiento son:

*a. Asiento Diferencial.*

El asiento diferencial puede definirse como la diferencia de asiento máxima entre dos puntos cualquiera de la cimentación y puede calcularse con la siguiente fórmula:

$$AD1-2 = S1 - S2$$

Donde:

AD1-2: Asiento diferencial entre los puntos cimentación 1 y 2.

S1: Asiento en el punto 1 de una cimentación, normalmente asiento máximo de una cimentación.

S2: Asiento en el punto 2 de una cimentación, normalmente asiento mínimo de una cimentación.

Del lado de la seguridad, se suele asumir que un punto de la estructura sufre un asentamiento máximo mientras que el otro punto sufre un asentamiento nulo o mínimo.

*b. Distorsión Angular.*

Es el asiento diferencial de dos puntos de una cimentación dividido entre la distancia que los separa. Se calcula según la siguiente expresión:

$$DA_{1-2} = AD_{1-2} / (L_{1-2})$$

Dónde:

DA<sub>1-2</sub>: Es la distorsión angular entre dos puntos separados 1 y 2.

AD<sub>1-2</sub>: Asiento diferencial entre los puntos 1 y 2.

L<sub>1-2</sub>: Distancia horizontal entre los puntos.

Al igual que en el caso de asientos diferenciales, se suele asumir de forma conservadora, la distancia más próxima entre cimentaciones que sufran un asiento diferencial máxima.

**2.2.2 TAR (Tecnología de Alto Rendimiento).**

Según el sitio web de Cemento Artigas (2018) Al surgir el pavimento de hormigón destinado en el uso de la construcción en zonas urbanas. Surgió la oportunidad de construir caminos y rutas de hormigón que tienen rugosidad similar al asfalto. Esta tecnología es conocida como TAR, la cual hizo que la opción de los caminos y rutas de hormigón sea competitiva, consiste en un equipo que realiza la operación, el colocado, compactado y la terminación del hormigón, a través de un proceso de extrusión mediante el encofrado trepador.

Para este proceso se necesita que el hormigón tenga una gran calidad de elaboración, debido a que requiere propiedades homogéneas del material

(ejemplo.: variación de asentamiento  $\pm 2$  cm) de igual manera requiere una elevada producción (veloc. De avance  $> 0,9$  m/min.).

Para evitar detenciones en la terminadora, el transporte se lleva a cabo en bateas o camiones volcadores, para que de esta manera el hormigón se entregue con una regularidad consistente.

Características:

- Resistencia a la flexión a la edad de 28 días: 45 Kg/cm<sup>2</sup>.
- Asentamiento de tendido en Obra:  $4\pm 2$  cm.
- Baja pérdida de asentamiento durante el transporte.

La TAR durante las primeras 72 horas posee exigencias superiores del pavimento, porque demanda una alta previsibilidad del hormigón, la cual tiene propiedades bien acotadas y especificadas, (Cemento Artigas, 2018).

### **2.2.3 Las Geoceldas.**

Es otro de los novedosos tipos de asfaltado, el cual es utilizado como un material relacionado al grupo de los geosintéticos, los cuales están formados por un sistema celular, tridimensional.

Según el Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, (2008). Se refiere a estructuras tridimensionales que tienen forma de un panal de abeja que son rellenos con tierra, grava vegetal, cemento, entre otros dependiendo cual sea el uso, se desarrolló en la década de los 70's por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército Americano o por sus siglas en inglés (U.S Army Corps of Engineers) con el propósito de construir vías de acceso rápido en desiertos y playas, al confinar y reforzar arena del lugar, se refiere a un sistema de confinamiento

celular, flexible y tridimensional, fabricadas de tal manera que tengan forma de paneles de geomembrana de polietileno o polipropileno. Cada una de las celdas actúan como una pequeña represa la cual contiene y resguarda un espesor específico de tierra, que favorece el transcurso del agua o el viento sobre la superficie la cual permite disipar la fuerza erosiva de cimas y taludes e impide la formación de cauces.

Al tener un Sistema Tridimensional el cual confina y crea un suelo o pared artificial permite que se realice una compactación del terreno superior, así mismo de drenaje y en los casos que lo ameriten una promoción de vegetación con la cual se puede conseguir una buena compactación del terreno, también posee la capacidad de tomar el confinamiento del material que se le aplique, por lo que esto representa un salto en el conocimiento a los sistemas utilizados para la estabilización, el diseño de este material está hecho para disminuir los efectos negativos de la erosión ocasionados por el viento y el agua.

Por su parte Diamond Grid (2017), indica que las geoceldas siendo un sistema de rejillas entrelazables a un sistema de drenaje multicapa que suprime el compactado de la estructura y disminuye la erosión, es fácilmente relocalizable y fácil de instalar. Para este trabajo investigativo se escogió este innovador producto el cual es diseñado y producido en polipropileno 100 % reciclado en Australia.

Este producto tiene resistencia a los rayos UV Ultra Violeta, es sencillo de trasladar e instalar. Es producido por la empresa Diamond Grid la cual creó una superficie sólida, seca y segura, aún bajo condiciones como lluvias incesantes o sequedad. Este sistema con rejillas resiste una capacidad de carga de 1000 tn/m<sup>2</sup> y son duraderas. Aun Bajo un uso constante no sufren desgaste.

***Según Diamond Grid (2017) Con este material se es capaz de:***

- Prevenir que suelos naturales se conviertan en áreas de barro inutilizable en épocas lluviosas.
- Reforzar la superficie ante erosión, baches y ondulamiento.
- Reforzar áreas parqueadas proveyendo protección a las raíces.
- Permitir la retención de ripio y estabilizar terraplenes.
- Proveer drenaje cuando están rellenas de ripio.



*Figura 1.* Diamond Grid (geoceldas)

Fuente: Diamond grid, 2017

Entre sus principales beneficios está que exclusión de los efectos que puede ocasionar el agua y el viento, al controlar la erosión del suelo, también presenta la facultad de estabilización de suelos al mitigar los problemas de drenaje por tener soporte de la carga, así mismo el refuerzo de canales. Su utilización es más eficiente que los métodos tradicionales, porque garantiza una alta calidad, rendimiento y durabilidad.

**Aplicaciones:** es funcional para toda actividad: civil, minero, rural, paisajístico

Se presentan dos tipos de modelo:

a) *La Diamond Grid*, cuyas medidas son: 900mm x 560mm x 40mm.

Es adecuado para la mayoría de aplicaciones rurales y domésticas, debido a que posee un enrejillado clásico, por lo que es óptimo para áreas de superficies limitadas que necesiten estabilización y refuerzo.

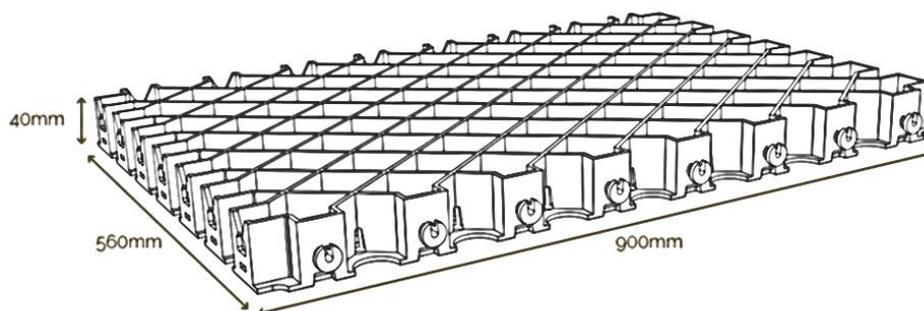
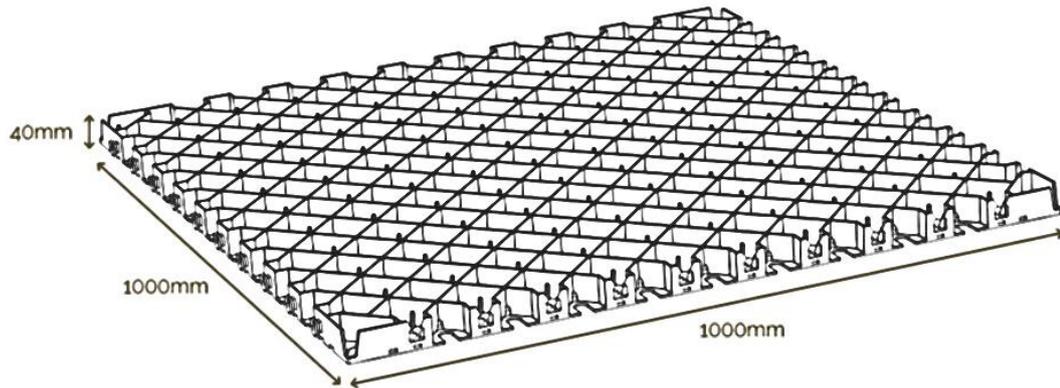


Figura 2. Diamond Grid.

Fuente: Diamond grid, 2017

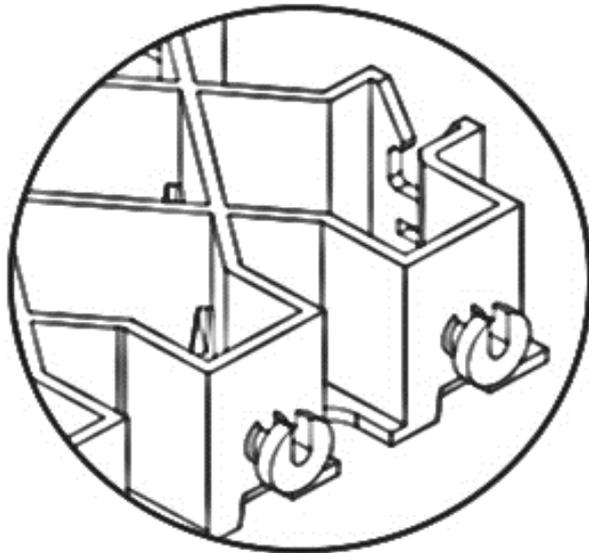
b) La *Diamond Grid Heavy Duty*, sus medidas son: 1000mm x 1000mm x 40mm. Presenta una rejilla más grande, este diseño es para ser utilizado en trabajos civiles y mineros.



*Figura 3.* Diamond Grid Heavy Duty.

Fuente: Diamond grid, 2017

Posee un sistema autoencastrable Diamond Grid es robusto y fácil de instalar.



*Figura 4.* Autoencastrable.

Fuente: Diamond grid, 2017

### **2.2.3.1 Contribuye con la Rigidez y Cohesión.**

#### **a) Rigidez.**

Por su capacidad de confinamiento contribuye con la rigidez por el endurecimiento del material de relleno, esto se debe al efecto viga el cual se carga verticalmente sobre las celdas confinadas y crea sobre los suelos blandos una placa semirrígida con alta resistencia a la flexión y rigidez. Este efecto distribuye la carga de manera efectiva en un área amplia, lo que hace que el asentamiento diferencial disminuya (hasta un 80 %).

En la siguiente imagen se muestra la construcción de un tramo de carretera, donde se utiliza Diamond Grid



*Figura 5. Proceso de colocación de Diamond Grid*

Fuente: Diamond grid, 2017



*Figura 6. Unión entre mayas*

Fuente: Diamond grid, 2017



*Figura 7. Ejecución de la Obra*

Fuente: Diamond grid, 2017

Al confinar el suelo de relleno, debido a que está restringida por una elevada resistencia tangencial limitando la deformación de manera lateral del relleno. La presión aplicada permite que las fuerzas tangenciales se activen, las cuales confinan el relleno e incrementa la resistencia. El incremento de la resistencia del

suelo con frecuencia se manifiesta con la cohesión aparente, que muestra una rigidez mayor a diferencia de otras soluciones.

#### **2.2.3.2 Beneficios.**

##### *a) Utiliza relleno local.*

El sistema puede utilizar cualquier relleno disponible localmente solo requieren un agregado limpio.

##### *b) Confina el relleno.*

El relleno se confina en la estructura 3D del sistema de geoceldas y evita el movimiento debajo de la carga, estabilizando el suelo.

##### *c) Reduce la formación de surcos y reduce el mantenimiento.*

El uso del sistema de geoceldas es una solución de profundidad integral, ésta evita la conversión de la superficie. Como resultado no es necesario el mantenimiento para cuidar la superficie de apoyo.

##### *d) Disminuye la resistencia de rodadura y favorece los tiempos.*

Favorece los tiempos de ciclo más rápidos. Las geomallas solo permiten controlar el movimiento lateral entre las capas delgadas. En cambio el Sistema 3D de geoceldas facilita la protección de la profundidad integral, debido a que forma una superficie estable y firme la cual incrementa los tiempos de ciclo, disminuye el desgaste y reemplazo del neumático, así mismo reduce el consumo de combustible.

*e) Proporciona protección instantánea.*

El efecto del sistema es inmediato y funciona en un principio de resistencia tangencial. Las geomallas necesitan tensión para activarse, y comienzan a funcionar debido a la deformación parcial.

*f) Unión sub rasantes blandas con una sola capa.*

Una capa funciona sobre sub rasantes blandas. En cambio las geomallas necesitan entre dos o tres capas para que tenga el mismo beneficio, lo cual generan un costo adicional y aumentar el tiempo de la ejecución.

*g) Se implementa directamente sobre suelos pobres.*

Al utilizar capas múltiples se debe emplear equipos de baja presión. Al emplear el sistema de geoceldas posibilita que el relleno estructural sea colocado en el borde la construcción utilizando equipos pesados.

**2.2.3.3 Disminución de costos.**

- Baja los costos de estructura de pavimento, acarreo y movimiento de tierras.
- Disminuye el mantenimiento por degradación del pavimento, las reparaciones y los ciclos de rehabilitación.
- Aumenta la prolongación del ciclo de vida útil del pavimento asfáltico por lo que se disminuyen los gastos de reparaciones.

- El sistema puede utilizar cualquier relleno disponible en la localidad ya que solo requieren un agregado limpio, por lo cual reduce el costo de transporte de material.

#### ***2.2.3.4 La geocelda empleada para la construcción de carreteras.***

Para la instalación de la geoceldas se deben tenerse en cuenta lo siguiente aspectos:

- Debe tenerse un grosor de la capa inferior con referencia al volumen de tráfico previsto. La siguiente tabla muestra datos orientativos entre el grosor y el tipo de carga:

**Tabla 2**

*Grosor y el tipo de carga*

| <b>Aplicación/Carga</b>       | <b>Grosor de la Capa Inferior</b>     |
|-------------------------------|---------------------------------------|
| Circulación de vehículos      | 50cm pesos/10cm ligeros               |
| Circulación de cargas ligeras | 5cm senderos/15cm caminos de jardines |

Fuente: Grupo Armando Álvarez, 2021

- Para geoceldas de 10 cm se deberá vaciar a una profundidad entre 7 a 8 cm y entre 2 a 3 cm para geoceldas de 5 cm, para lograr otorgar alcanzar una resistencia adecuada.

c) Para la colocación de la geocelda generalmente la estructura de la vía se extiende un geotextil entre la base y la sub base, como se muestra en la figura siguiente:

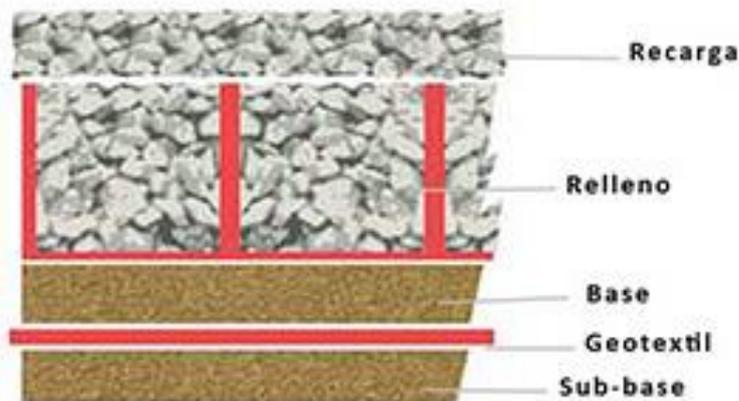


Figura 8. Vaciado

Fuente: Grupo Armando Álvarez, 2021

d) La superficie se estabiliza y se refuerza mediante la compactación.

e) Antes de efectuar la colocación, se compacta el suelo quitando todas las piedras en el caso de que la capa inferior esté lo suficientemente estabilizada para el paso de vehículos.

#### ***2.2.3.5 Instalación de las geoceldas.***

a) Extender un tramo de la geocelda y fijar el extremo con una estaca o clavos en forma de U.



*Figura 9. Instalación*

Fuente: Diamond grid, 2017

b) Estirar la geocelda aprox. 8 m. Se podrá observar que ésta disminuye al ancho.



*Figura 10 .Instalación*

Fuente: Diamond grid, 2017

c) Se podrá adaptar la malla fácilmente cortándola con un cúter o tijeras.

d) En caso de ser necesario, extender una segunda geocelda y grapar con la primera al nivel de los ángulos de las celdas hasta cubrir el espacio deseado.

### 2.2.3.6 Relleno.

- Se puede rellenar con una máquina o de forma manual.
- En el momento en que está totalmente en contacto con el suelo se debe rellenar cada extremo con conglomerado para sostenerla.
- Rellenar la malla con el material seleccionado.



Figura 11. Relleno

Fuente: Diamond grid, 2017

- No quitar las barreras empleadas o estacas, hasta que no queden los extremos rellenados.
- Es importante rellenar el conjunto de las celdas y extender una capa por encima en el momento de finalización procurando que quede bien cubierta.
- Por último, se revisará y retocará alguna parte si hace falta con el objetivo de que todo quede bien cubierto y con la altura adecuada.



*Figura 12.*Cubierta

Fuente: Diamond grid, 2017

#### **2.2.4 Conservación ambiental.**

La unión con diferentes elementos naturales del suelo permite conformar sistemas sostenibles, la combinación de estos materiales debe ser utilizada de manera racional y para la conservación de recursos naturales del entorno, su utilización aminora o hasta elimina algunos problemas como:

- Preservar el agua potable.
- Anticipar la erosión.
- El Refuerzo taludes y terraplenes.
- Amable con el ambiente y resulta muy funcionales para el entorno ecológico.

### **2.2.5 Viabilidad de las carreteras.**

El pavimento, estructura de una o varias capas que son colocadas en superficies para interior de construcciones, caminos, calles o banquetas, con el propósito de caminar o transportarse sin mucho esfuerzo. Para la pavimentación los materiales más usuales son el asfalto, concreto, piedra, azulejo, ladrillo y otros. (ASSHTO, 1993).

#### ***2.2.5.1 Tipos de pavimentos.***

Hasta hace poco se utilizaban 2 clases de pavimentos:

##### ***a) Pavimentos flexibles.***

Esta clase de pavimento se caracteriza por la constituido fundamentalmente de una capa bituminosa, la cual es apoyada a otras capas que se encuentran al inferior y tienen el nombre de base y subbbase, no obstante, es influyente la calidad de la subrasante y las necesidades de cada Obra para evitar la colocación de las capas inferiores.



*Figura 13. Pavimento flexible*

Fuente: Camargo, 2012

Carpeta o Capa de Rodadura, el principal cometido de esta capa es proporcionar una superficie segura, estable en el tránsito vehicular y cómoda, ya que es la capa más superficial; así mismo esta capa actúa como un impermeable la cual evita la infiltración del agua en la estructura del pavimento.

- La Base, es la que recibe los esfuerzos de la carpeta y se encarga de transmitir de manera adecuada los esfuerzos a la subbase y a la subrasante.
- La Subbase, el contenido de los materiales de esta capa son fáciles de adquirir y económicos, por lo que considerada económica. Su función es actuar como capa de transición entre la base y la subrasante, ya que impide la inserción de materiales finos de la subrasante, de igual manera la ascensión capilar. (Menéndez, 2010).

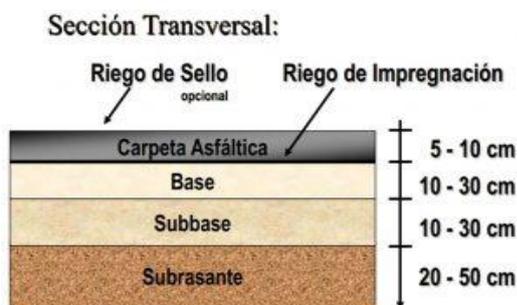


Figura 14. Pavimentos Flexibles

Fuente: Ortiz, 2017

#### b) Pavimentos Rígidos.

Según la página web (<https://civilgeeks.com/>) indica que los pavimentos rígidos están constituidos generalmente por una capa de materiales seleccionados como aglomerantes, arenas y toda clase de material granular y de concreto hidráulico.

Según Kraemer et al. (2004). El concreto está caracterizado por tener una elevada resistencia a esfuerzos mecánicos altos y niveles de elasticidad mayores, estableciéndose como un pavimento eficiente y duradero. A continuación se realizará una breve descripción del pavimento rígido según su funcionalidad.

- Losa de concreto: la finalidad de la losa de concreto es de igual manera que el de la carpeta asfáltica, en otras palabras, soportar los esfuerzos generados por el flujo vehicular y así mismo transmitir de forma notable a las capas inferiores.
- Subbase: El objetivo de esta capa es evitar la fluencia de material fino con el agua, esto es por la penetración de agua que ingresa por la juntas de pavimento, fuera de la estructura del pavimento. También debe permitir el libre drenaje.



*Figura 15.* Extendido del Concreto

Fuente: SEECSA, 2019

## 2.2.6 Asfalto.

El asfalto está constituido por un hidrocarburo obtenido en la destilación de petróleo crudo, es una sustancia espesa, impermeable y generalmente tiene color negro, este tipo de material generalmente es utilizado para la fabricación de cemento asfáltico, la mezcla con la que se pavimentan carreteras, avenidas, pistas de aeropuertos y estacionamientos. Este producto puede ser mezclado dependiendo del uso, para proporcionar flexibilidad o resistencia, como ejemplo con arena natural, hormigón o grava triturada (Hebert, 2017).

### 2.2.6.1 Tipos de mezclas.

Es la unión de agregados pétreos que tengan relleno mineral o no, y la adición de un producto asfáltico.

La mezcla asfáltica es utilizada en pavimentos flexibles, para la construcción de vías, el pavimento es una estructura constituida por una o una serie de capas, la cual se encarga de transmitir las cargas producidas por el flujo vehicular al terreno natural evitando que se genere deformación.

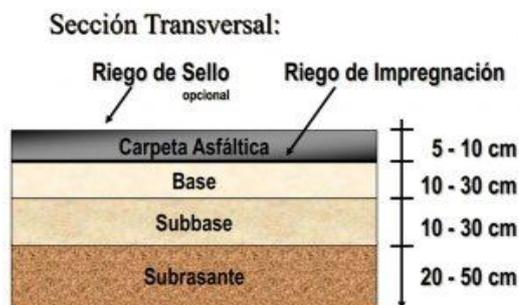


Figura 16. Pavimentos Flexibles

Fuente: Ortiz, 2017

Para la construcción de carreteras, aeropuertos, pavimentos industriales, entre otros; son utilizados estos tipos de mezclas.

Existen dos tipos:

*a) Mezcla asfáltica en caliente.*

Conocida también como mezcla bituminosa. Es la mezcla de un ligante (asfalto) con áridos (incluido el polvo mineral). Las cantidades de ligantes y áridos son relativas y determinan las propiedades físicas de la mezcla.

Esta mezcla es fabricada con asfaltos a altas temperaturas, las cuales tienen el rango de 140 a 170 C°. Se calientan de acuerdo a la viscosidad del ligante y los agregados, esto se realiza para que el asfalto no pueda enfriar al entrar en contacto con estos. La puesta en Obra se ejecuta con temperaturas que varía de los 100 y 150 grados; por lo que este pavimento no es trabajable por debajo de los 100 grados se endurece y no se puede extender, menos aún compactarse de la manera correcta.

*b) Mezcla asfáltica en frío.*

Es la unión de ligante (RC 250, MC – 30 y/o Emulsión asfáltica), con agregado pétreo con o sin relleno mineral. Este proceso se realiza a temperatura ambiente, es aplicable principalmente para conservar carreteras secundarias y en la construcción. Para reducir el tiempo de envejecimiento de las mezclas asfálticas se suele realizar el sellado por medio de lechadas asfálticas y/o slurry (micro pavimento). A diferencia del asfalto en caliente, que es necesario su instalación el

mismo día de su fabricación, el asfalto en frío se define por su trabajabilidad tras realizarse la fabricación de esta, incluso durante semanas.

### **2.2.7 Diseño geométrico de Carreteras.**

Según la Gerencia de Estudios y normas (2021), de la SUTRAN para el diseño geométrico se tienen que basar en las características, que están en el Reglamento Nacional de Vehículos, que este vigente. Conforme a este reglamento, los automóviles ligeros deberán corresponder a las siguientes categorías:

- L (vehículos automotores con menos de cuatro ruedas)
- M1 (vehículos automotores de cuatro ruedas diseñados para el transporte de pasajeros con ocho asientos o menos, sin contar el asiento del conductor).

Serán considerados como vehículos pesados, los pertenecientes a las categorías:

- M (vehículos automotores de cuatro ruedas diseñados para el transporte de pasajeros, excepto la M1).
- N (vehículos automotores de cuatro ruedas o más, diseñados y construidos para el transporte de mercancías).
- O (remolques y semirremolques).
- S (combinaciones especiales de los M, N y O).

La clasificación del tipo de vehículo según encuesta de origen y destino, empleada por SNIP para el costo de operación vehicular (VOC), es la siguiente:

Vehículos de Pasajeros:

- Jeep (VL)
- Auto (VL)
- Bus (B2, B3, B4 y BA)
- Camión C2

Vehículos de Carga:

- Pick-up (equivalente a Remolque Simple T2S1)
- Camion C2
- Camion C3 y C2CR
- T3S2

#### ***2.2.7.1 Vehículos ligeros.***

a) La longitud y el ancho de los automóviles ligeros no influyen la ejecución del proyecto, a menos que por la vía no exista la circulación de camiones, la cual es una situación de poca posibilidad en el proyecto de ejecución de carteras (MTC, 2018).

Usualmente las dimensiones de los automóviles de origen norte americano son mayores a diferencia del resto de los fabricantes de vehículos; a continuación dimensiones referenciales (MTC, 2018):

- Ancho: 2.10 m.
- Largo 5.80 m.

Alturas, asociadas a los vehículos ligeros, que cubran las situaciones más favorables en cuanto a visibilidad:

- **h**: altura de las luces delanteras: 0.60 m.
- **h1**: altura a los ojos del conductor: 1.07 m.
- **h2**: altura de un obstáculo fijo en la carreta: 0.15 m.
- **h4**: altura de las luces traseras de un vehículo o menor altura visible de carrocería: 0.45 m.
- **h5**: altura del techo de un vehículo: 1.30 m.

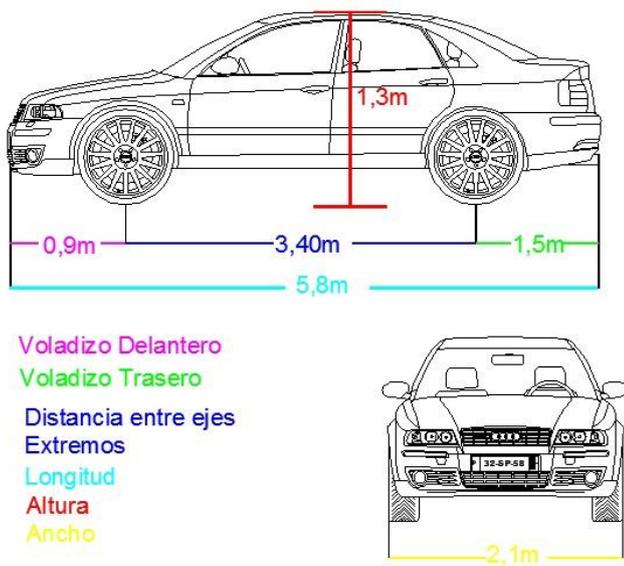


Figura 17. Distancias de visibilidad de parada y de adelantamiento

Fuente: Moreno, 2013

### 2.2.7.2 Vehículos Pesados.

De acuerdo al Reglamento Nacional de Vehículos. (MTC, 2018):

Se considera las características máximas en definición geométrica:

a) *Cálculo de distancias de visibilidad de Parada y de Adelantamiento vehículos pesados:*

Se precisa definir las diferentes alturas, relacionado a los vehículos ligeros, que abarquen las situaciones más favorables con respecto a visibilidad (MTC, 2018).

- **h:** altura de las luces delanteras: 0.60 m.
- **h3:** altura a los ojos del conductor de camión o bus, esencial para la comprobación de visibilidad en curvas verticales cóncavas bajo estructuras de 2.50 m.
- **h4:** altura de las luces traseras de un vehículo o menor altura visible de carrocería: 0.45 m.
- **h6:** altura del techo del vehículo pesado: 4.10 m.

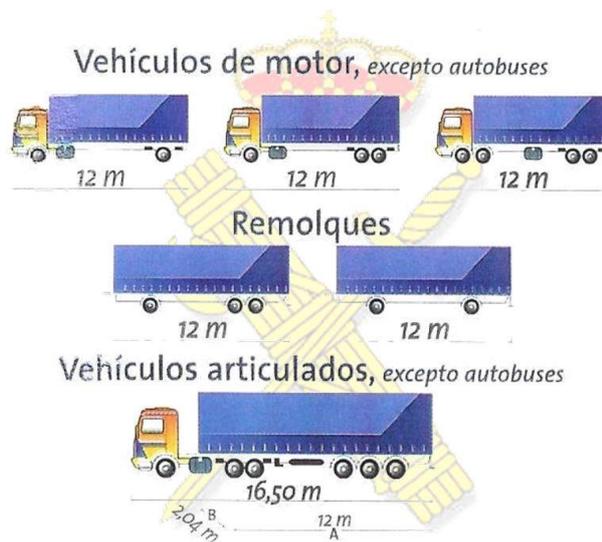


Figura 18. Medidas generales

Fuente: MTC, 2018

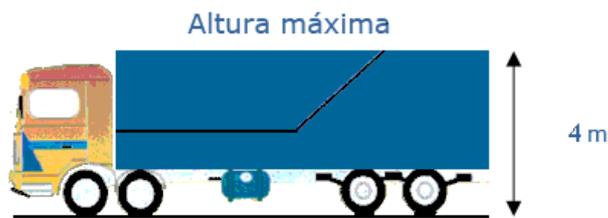


Figura 19. Altura Máxima

Fuente: MTC, 2018

### 2.2.7.3 Factores que Influyen en el Diseño Geométrico de Carreteras.

#### 2.2.7.3.1 Tráfico.

Es de vital importancia que para proyectar una carretera se tenga conocimiento del tráfico por el que va a someterse, del número total de vehículos, factor de crecimiento al año, distribución en el tiempo, el tipo de vehículo; no solo en la determinación de la sección transversal apropiada; si no de igual forma la pendiente longitudinal máx. Admisible, la long., la calidad que debe tener la estruc. del pavimento; entre otros.

Para la determinación del tráfico total del año, el tráfico horario y el tráfico diario, se efectúan estudios especializados de conteos electrónicos, conteos manuales, origen y destino de los vehículos.

a. *Tráfico Total del Año*; en un año los vehículos pasan por un punto determinado, por lo que el tráfico total de año es el número total de estos, de todos los tipos. Esto es fundamental porque se valorara la importancia de

manera económica de la vía y para determinar las dimensiones de la sección transversal.

- b. *Trafico Medio Diario*; corresponde al año en total esto se divide con los 365 días que posee. Conocido como el promedio anual de intensidad diaria de tránsito (PAIDT). De igual forma se argumentara la inversión en la vida y la importancia económica en esta.
  
- c. *Trafico Horario*, analiza una hora del día la cual sirve para estimar la sección transversal de la carretera. Para que la vía este sub utilizada en las horas del año se tiene que calcular la vía para el tráfico horario máximo del año. A causa de esto, de acuerdo a la norma se considera la hora 30 del año de lo cual es aquel que el tráfico se sobrepasa 30 h al año. El trafico horario varía entre el 12 – 18 % del (PAIDT).

Cuando se proyecta una vía es de gran importancia no solo considerar el tráfico actual, sino que de igual manera considerar para un periodo de 10 a 20 años, un posible aumento.

#### 2.2.7.3.2 Topografía.

Para la ejecución de una carretera y que esta sea lo más económicamente aceptable, se debe tratar que el recorrido de esta sea el mínimo posible, donde igualmente los movimientos de tierra para alcanzar la cota de la sub rasante sea mínimo; y que se cumplan todos los principios y normas del diseño geométrico.

Todas estas condiciones son difíciles de lograr en un proyecto. Para que esto se pueda conseguir se tiene que conocer perfectamente el relieve del terreno, tener planos y fotos aéreas del lugar donde se va a ejecutar la carretera.

Para establecer diferentes opciones de unión entre los puntos externos a vincular y escoger la situación de un trazado nuevo, un factor de importancia es conocer la situación y condición topográfica de la zona.

De acuerdo a los contextos topográficos se puede diferenciar 03 diferentes variedades de trazados:

- Uno son las divisorias de aguas
- El otro trazado en valle
- Y el último trazado perpendicular a la divisoria.

#### *2.2.7.3.3 Estudio de Transito, Capacidad y niveles de Servicio.*

El presente estudio es el primero que se debe cumplir, debido a que evalúa los volúmenes de tránsito que se requieren al momento de proporcionar un servicio a la carretera y su comportamiento en el transcurso de su vida útil de la misma. Se tiene en cuenta dos finalidades, que son: el diseño de pavimentos y la rentabilidad de la vía.

Sin embargo, cuando se habla de nivel de servicio, hace referencia a la calidad de servicio de la vía que se da a los usuarios. Principalmente, este nivel de servicio está contemplado por dos elementos: primero, la velocidad media de

recorrido y segundo, la relación (volumen-capacidad). Esto quiere decir, que a más velocidad mayor será el nivel de servicio y a mayor valor de la relación (volumen-capacidad) menos nivel de servicio tendrá.

Al hablar de nivel de servicio, se refiere principalmente a: velocidad media de recorrido y segundo, a la relación (vol. – capacidad). Eso quiere decir a la calidad del servicio, que a más velocidad mayor será el nivel de servicio y a menos nivel de servicio se refiere a mayor valor en la relación (vol. – capacidad).

- a. *Estudio de Señalización*, Es la explicación donde se ubican las diferentes señales verticales, reglamentadas, de prevención e información; del mismo modo, las líneas marcadas en el pavimento también son señalizaciones.
- b. *Estudio de geología para ingeniería y geotecnia*. Es la zona apropiada que se selecciona o elige para realizar el trazado de una pista, para ello, se realiza un estudio geológico con el fin de obtener ubicada las posibles fallas o complicaciones de estabilidad que se presenten en la construcción durante o después de esta.

La geología es una ciencia que aporta información de la estabilidad de las pendientes naturales, del comportamiento de las quebradas, excavaciones y sedimentaciones. La geología estudia los lugares para obtener fuentes de materiales y el lugar adecuado para elegir la zona de corte aprovechable.

- c. *Estudio de suelos para el diseño de cimentaciones:* se refiere que se debe tener un estudio de suelo para esta manera obtener un diseño adecuado a la capacidad del suelo, antes de construir cimentaciones para estructuras, como: muros, puentes, alcantarillas de cajón, entre otros.
- d. *Estudio de Estabilidad y Estabilización de taludes:* este estudio se realiza para evitar problemas de estabilidad, se considera el tipo de suelo y la altura, para comprobar la máx. inclinación se realizan ensayos y estudios. En toda la extensión de una carretera existen diversos tipos de suelos, por lo tanto las inclinaciones también varían en el recorrido de la vía.
- e. *Estudio geotécnico para el diseño de pavimentos:* Si se considera el tránsito que va recorrer, el espesor de carga que va a tener y las condiciones del suelo, se tiene que hacer una serie de cálculos, donde se tiene que tener en cuenta el espesor y las características de las diversas capas que conforma la estructura del pavimento. Asimismo, en toda la extensión de la vía se debe considerar que las características y los espesores pueden variar.
- f. *Estudio de hidrología, hidráulica y socavación:* En todo el recorrido de una vía se tiene que ubicar, diseñar y construir las obras por donde va discurrir el agua, es decir, el drenaje; tal es así que asegure su recorrido y tenga el mín. efecto ambiental. La hidrología es una ciencia que estudia los caudales y velocidades del agua partiendo de parámetros, como: la pluviosidad, topografía, áreas, vegetación entre otros. El estudio de socavación analiza el comportamiento del

fondo de ríos y quebradas con la finalidad de impedir que los estribos, fundaciones y pilas se desestabilicen a causa del recorrido agresivo del agua.

g. *Estudio de impacto ambiental*: Este estudio comprueba el impacto en la construcción de la carretera sobre un área influyente. Sin embargo, también se debe señalar cuáles son las medidas que se debe tener en cuenta para aminorar o disminuir esos efectos. Al construir una carretera, uno de los principales problemas que se presenta es de orden ambiental, porque se hace un movimiento de tierra, excavaciones y disposiciones. Asimismo, los diferentes materiales obtenidos en la explotación de la construcción deben tener un plan o programa que reduzca la contaminación ecológica.

Entre otros factores para el diseño definitivo de una vía se clasifica en: externos e internos.

I. *Externos*: vienen a ser las condiciones que existieron anteriormente y de las cuales se tiene que adquirir toda la información necesaria, con la finalidad de analizar la evidencia y determinar nuevas características que son importantes para la nueva carretera.

Esas características pueden identificarse como:

- Características físicas: topografía, geología, climatología e hidrología.
- Ruta de ciclistas.
- Características y espesor del actual y futuro tránsito
- Recorrido de peatones.

- Recursos económicos para la construcción y mantenimiento de la vía.
- Situaciones ambientales.
- El desarrollo existente y previsto urbanístico en las zonas de influencia.
- Estructuras existentes de calidad.
- Seguridad de vías.

II. *Internos*: Forman parte de la carretera, sin embargo, dependen de los externos. Estos son los siguientes:

- Kilometraje de autos en la vía.
- Rasgos característicos de los vehículos.
- Geometría de la zona.
- Particularidades del transporte.
- La capacidad de la carretera para el transporte.
- Las conductas y actitudes de los choferes.

### **2.3 Definición de Términos.**

Es importante revisar los términos a continuación:

**Cenizas volcánicas:** Material proveniente de la erupción de un volcán el cual tiene una composición de rocas y mineral generalmente de un diámetro inferior a 2mm.

**Tridimensional:** Objeto de tres (03) dimensiones, que muestran profundidad, altura y anchura.

**Aplicación:** Colocación, puesta o aplicación para definición para procedimientos mediante para conseguir un fin.

**Construcción:** Acto de ejecutar con diferentes materiales una estructura, ya sea una edificación o una vía.

**CBR (California Bearing Ratio):** Valor relativo de soporte de un suelo o material, que se mide por la penetración de una fuerza dentro de una masa de suelo.

**Mezcla asfáltica:** Es la unión de asfalto y agregados minerales pétreos en proporciones exactas con un espesor determinado con una resistencia adecuada al tráfico transitable, que se utiliza para construir una superficie de rodamiento para vías de comunicación entre localidades.

**Carretera:** Vía de comunicación, que están construidas principalmente para la circulación a cualquier máquina que permite desplazarse de un sitio hacia otro.

**Confinamiento:** El confinamiento es una acción que implica la reclusión, el encierro de algo, un individuo en un lugar determinado.

**Pavimento:** Capa lisa, dura y resistente de asfalto, cemento, madera, adoquines u otros materiales con que se recubre el suelo para que esté firme y llano.

**Durabilidad:** Propiedad de un material o mezcla para resistir desintegración por efectos mecánicos, ambientales o de tráfico.

**Refuerzo:** Pieza o parte de una cosa que sirve para hacerla más fuerte o resistente.

**Asentamiento:** Desplazamiento vertical o hundimiento de cualquier elemento de la vía.

**Estabilidad de terreno:** Mejoramiento de las propiedades físicas de un suelo a través de procedimientos mecánicos e incorporación de productos químicos, naturales o sintéticos. Tales estabilizaciones, por lo general se realizan en las

superficies de rodadura o capas inferiores de la carretera, y son conocidas como suelo cemento, suelo cal y otros diversos.

**Compactación:** Proceso manual o mecánico que tiende a reducir el volumen total de vacíos de suelos, mezclas bituminosas, morteros y concretos frescos de cemento Pórtland.

**Capacidad Portante:** máxima presión media de contacto entre la cimentación y el terreno tal que no se produzcan un fallo por cortante del **suelo** o un asentamiento diferencial excesivo.

## **CAPÍTULO III**

### **MÉTODO**

#### **3.1 Tipo de Investigación**

La investigación fue de tipo aplicada, porque determina la causalidad y sus implicaciones, la cual se utiliza en la recolección de datos con la finalidad de comprobar la hipótesis mediante el análisis cuantitativo de la información recolectada y el análisis estadístico de la misma. Cumple con plantear un problema, revisar y desarrollar un marco teórico, elaborar hipótesis y definir variables. Busca generalizar los resultados obtenidos con la muestra (Monje, 2011).

#### **3.2 Diseño de la Investigación**

La presente investigación fue de carácter experimental pues se determina un valor mediante ensayos de laboratorio.

#### **3.3 Población y Muestra**

Para la presente investigación se consideró:

- Población: Zona de ceniza volcánica de Omate (Av. #1, #2, #3, #4)

- Muestra: Avenida #3, que se representa en 02 calicatas

### **3.4 Técnicas para recolección de datos**

En el caso de la presente tesis, se utilizó la recolección de datos mediante ensayos estándares de laboratorio de la sub rasante, tráfico y propiedades físicas de los mejoradores de suelos.

Se realizó un cuestionario técnico (a 04 profesionales en pavimentación) validado (método alfa Cronbach la confiabilidad de la investigación.)

Para los cálculos se obtuvo los propuestos en el Manual de carreteras brindado por el Manual de Carreteras del MTC, además, estas pruebas tienen su fundamento en la normativa ASTM y AASTHO.

#### **3.4.1 Técnicas.**

Según Ramos (2018) Técnicas es el conjunto de elementos o factores los cuales son normativos y que una adecuada estructura a la investigación, con ellos se estructural las fases o etapas de la investigación y se aumentan instrumentos y medios que serán usados para la recolección y conservación de datos. Se estudian dos formas generales:

##### ***3.4.1.1 Técnica documental.***

Esta investigación tuvo como técnica documental la información de la historia de todo el proceso constructivo en la ejecución (Especificaciones técnicas) sobre usos y aplicaciones de geo celdas, libros, normas aplicadas, fichas técnicas de los componentes que se utilizaron.

#### **3.4.1.2 Técnica de campo.**

Esta investigación tuvo como técnica de campo, la procedencia de los agregados que se utilizaron para la ejecución del diseño, ensayos de geoceldas y componentes.

### **3.5 Criterio de validez y confiabilidad de los instrumentos**

Los criterios de validez y confiabilidad de los instrumentos para este trabajo de investigación (certificados de ensayos de laboratorio de suelos) han sido revisados previamente por la Municipalidad Provincial de Sánchez Cerro-Omate, y los criterios para la validez del estudio de tráfico utilizados son de acuerdo a los formatos estándares establecidos (MTC, 2018):

### **3.6 Técnicas para el procesamiento y análisis de datos**

Llegado el momento del procesamiento y análisis de la data, utilizarán hojas de cálculos, Software de ingeniería con la finalidad de realizar los cálculos respectivos como diseño de pavimentos y comparaciones de metodologías aplicadas.

#### **3.6.1 Muestreo.**

Según Hernández y Carpio (2019) “Es el proceso de selección de materiales de una población con la finalidad de analizarlos y poder concretar el total de la población, el muestreo se va a clasificar en dos grupos, unos serán probabilísticos, serán basando en base al criterio de la equiprobabilidad y los otros como no

probabilísticos, lo cual selecciona a un sujeto de la población” tal cual se muestra en la figura 20.

Este trabajo de investigación está considerado como grupo de muestreo no probabilístico por conveniencia porque se analizaron 100 pastillas a condiciones de congelamiento para luego ser ensayadas por resistencia a la tracción Marshall.

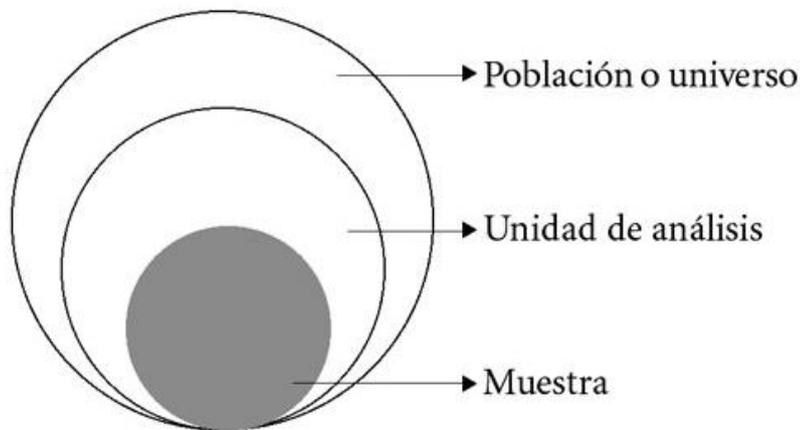


Figura 20. Ejemplo de población, unidad de análisis y muestra.

Fuente: Admin, 2016

### **3.6.2 Confiabilidad.**

#### ***3.6.2.1 Prueba de Alfa de Cronbach.***

Para dar mayor confiabilidad a los resultados obtenidos se realizó una encuesta de 10 preguntas a ingenieros especialistas en pavimentos sobre el tema en

investigación, para lo cual se utilizó la metodología de Alfa de Cronbach cuya escala es de 0 a 1, tal como se detalla a continuación:

- K**: El número de ítems
- $\Sigma Si^2$ : Sumatoria de Varianzas de los Ítems
- $S_T^2$ : Varianza de la suma de los Ítems
- $\alpha$ : Coeficiente de Alfa de Cronbach

| Ítems          | I           | II          | III         | IV          | V           | VI          | VII         | VIII        | IV          | V           | Suma de Ítems          |
|----------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|------------------------|
| <b>Sujetos</b> |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |                        |
| <b>WILBERT</b> | 4           | 5           | 4           | 4           | 4           | 4           | 4           | 4           | 4           | 4           | 41                     |
| <b>FLOR</b>    | 5           | 4           | 5           | 5           | 5           | 5           | 4           | 5           | 5           | 4           | 47                     |
| <b>JENLA</b>   | 5           | 5           | 5           | 5           | 5           | 5           | 5           | 5           | 5           | 5           | 50                     |
| <b>WILLIAN</b> | 4           | 4           | 4           | 4           | 4           | 4           | 4           | 4           | 5           | 4           | 41                     |
| <b>VARP</b>    | <b>0.25</b> | <b>0.25</b> | <b>0.25</b> | <b>0.25</b> | <b>0.25</b> | <b>0.25</b> | <b>0.19</b> | <b>0.25</b> | <b>0.19</b> | <b>0.19</b> | $S_T^2$ : <b>15.19</b> |

(Varianza de la Población)

$$\Sigma Si^2 : \boxed{2.31}$$

- K**: El número de ítems
- $\Sigma Si^2$ : Sumatoria de las Varianzas de los Ítems
- $S_T^2$ : La Varianza de la suma de los Ítems
- $\alpha$ : Coeficiente de Alfa de Cronbach

|       |
|-------|
| 10    |
| 2.31  |
| 15.19 |

$$\alpha = \frac{K}{K - 1} \left[ 1 - \frac{\sum S_i^2}{S_T^2} \right]$$

$$\frac{10}{9} [ 1 - 0.15 ]$$

$$1.111111111 [ 0.85 ]$$

$$\alpha = \boxed{0.94}$$

Entre más cerca de 1 está  $\alpha$ , más alto es el grado de confiabilidad

Según Mata (2020), la confiabilidad está en relación a la estabilidad de todos los datos que logran ser obtenidos y la eliminación de riesgos que varían entre los distintos casos y momentos de aplicación, descansa tanto en aspectos propiamente técnicos, como también humanos.

Con los resultados se obtuvo una confiabilidad del 83.86% que se usó para esta investigación. Comparando el resultado con la tabla 3 tenemos una confiabilidad excelente de acuerdo al coeficiente Cronbach.

**Tabla 3**

*Cuadro de confiabilidad alfa de Cronbach*

| <b>RANGO</b>       | <b>CONFIABILIDAD</b>           |
|--------------------|--------------------------------|
| 0.53 a menos       | Confiabilidad nula             |
| 0.54 a 0.59        | Confiabilidad baja             |
| 0.60 a 0.65        | Confiable                      |
| 0.66 a 0.71        | Muy confiable                  |
| <b>0.72 a 0.99</b> | <b>Excelente confiabilidad</b> |
| 1                  | Confiabilidad perfecta         |

Por consiguiente; la confiabilidad de resultados obtenidos según revisión y opinión de los especialistas en pavimentos demuestra un resultado EXCELENTE.

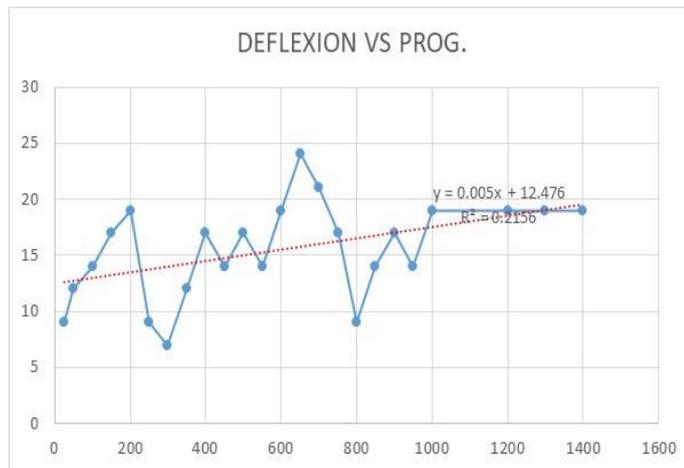
### **3.7 Análisis estadístico**

Se realizó el R2 para verificar la variabilidad de las deflexiones del pavimento, donde se obtuvo un R2=0.21 el cual no guarda mucha correlación lineal puesto que son deformaciones sobre suelo natural que no están preparados.

**Tabla 4**

*Deflexion del pavimento con refuerzo*

| <b>DEFLESIONES CON REFUERZO</b> |                  |
|---------------------------------|------------------|
| <b>DISTANCIA</b>                | <b>DEFLEXION</b> |
| 25                              | 9                |
| 50                              | 12               |
| 100                             | 14               |
| 150                             | 17               |
| 200                             | 19               |
| 250                             | 9                |
| 300                             | 7                |
| 350                             | 12               |
| 400                             | 17               |
| 450                             | 14               |
| 500                             | 17               |
| 550                             | 14               |
| 600                             | 19               |
| 650                             | 24               |
| 700                             | 21               |
| 750                             | 17               |
| 800                             | 9                |
| 850                             | 14               |
| 900                             | 17               |
| 950                             | 14               |
| 1000                            | 19               |
| 1200                            | 19               |
| 1300                            | 19               |
| 1400                            | 19               |



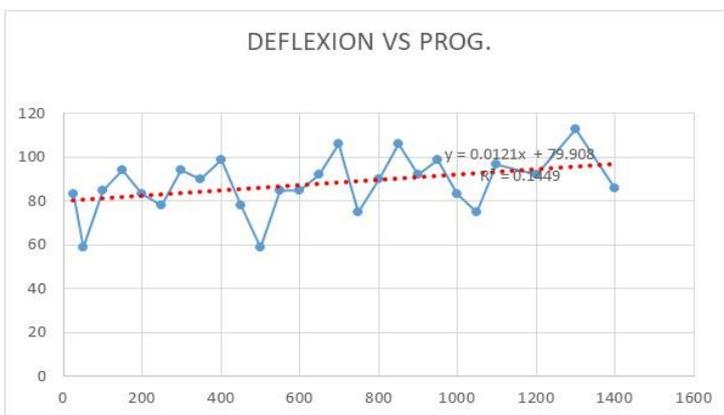
*Figura 21. Deflexión VS Prog.*

Se realizó el R2 para verificar la variabilidad de las deflexiones del pavimento, donde se obtuvo un R2=0.14 el cual no guarda mucha correlación lineal puesto que son deformaciones sobre suelo natural que no están preparados.

**Tabla 5**

*Deflexion del pavimento sin refuerzo*

| <b>DEFLEXIONES SIN REFUERZO</b> |                  |
|---------------------------------|------------------|
| <b>DISTANCIA</b>                | <b>DEFLEXION</b> |
| 25                              | 83               |
| 50                              | 59               |
| 100                             | 85               |
| 150                             | 94               |
| 200                             | 83               |
| 250                             | 78               |
| 300                             | 94               |
| 350                             | 90               |
| 400                             | 99               |
| 450                             | 78               |
| 500                             | 59               |
| 550                             | 85               |
| 600                             | 85               |
| 650                             | 92               |
| 700                             | 106              |
| 750                             | 75               |
| 800                             | 90               |
| 850                             | 106              |
| 900                             | 92               |
| 950                             | 99               |
| 1000                            | 83               |
| 1050                            | 75               |
| 1100                            | 97               |
| 1200                            | 92               |
| 1300                            | 113              |
| 1400                            | 86               |



*Figura 22. Deflexión VS Prog.*

## CAPÍTULO IV

### ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

#### 4.1 Ubicación del Proyecto

| Mapa de Macro Localización del Perú   | Mapa de Macro Localización de la Región Moquegua   |
|---|--|
|  Mapa del Perú que muestra sus departamentos: Tumbes, Piura, Amazonas, Loreto, Lambayeque, Cajamarca, San Martín, La Libertad, Ancash, Huancayo, Ucayali, Pasco, Junín, Lima, Madre de Dios, Huancavelica, Cuzco, Arequipa, Moquegua, Tacna, Ilo, Puno, Arequipa, y Chila. Incluye un globo terráqueo que indica la posición del Perú en América del Sur. |  Mapa de la Región Moquegua que muestra sus distritos: General Sánchez Cerro, Mariscal Nieto, Tacna, y Ilo. El distrito de General Sánchez Cerro está resaltado en verde y circulado con una línea azul. Se muestran también las ciudades de Arequipa y Puno. |
| Mapa de Macro Localización del Distrito de Sánchez Cerro  | Mapa de Macro Localización de Omate - Cogri  |
|  Mapa del Distrito de Sánchez Cerro que muestra sus distritos: Ubinas, Yungay, Ichuña, Lloque, Chojata, Matalaque, Coaloque, Puquina, Omate, y La Capilla. El distrito de Omate está resaltado en rojo y circulado con una línea azul.   |  Imagen satelital de un área urbana que muestra una calle principal etiquetada como 'AV. 3 COGRI'.   |

## 4.2 Presentación de resultados

De los resultados obtenidos con los diferentes cálculos se obtuvieron los se obtuvieron los siguientes resultados:

-Deformación máxima de la Sub rasante : 192 x 10e2

-Deformación máxima del pavimento con Geocelda : 40 x 10e2

### 4.2.1 Resumen de Ensayos de Laboratorio (sub rasante).

**Tabla 6**

*Resumen de Ensayos de Laboratorio (sub rasante)*

| DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO    | CALICATA N° 01 | UND               | CALICATA N° 02 | UND               | OBSERVACIONES   |
|---------------------------|----------------|-------------------|----------------|-------------------|-----------------|
| CBR                       | 4.8            | %                 | 5.3            | %                 | Suelo Volcánico |
| PENETRACIÓN               | 0.1"           | Pulg.             | 0.1"           | Pulg.             | Suelo Volcánico |
| DENSIDAD MÁXIMA (PROCTOR) | 1.38           | g/cm <sup>3</sup> | 1.39           | g/cm <sup>3</sup> | Suelo Volcánico |
| % HUMEDAD ÓPTIMA          | 11.7           | %                 | 12.5           | %                 | Suelo Volcánico |
| % HUMEDAD NATURAL         | 1.15           | g/cm <sup>3</sup> | 1.17           | g/cm <sup>3</sup> | Suelo Volcánico |
| DENSIDAD MÍNIMA           | 2.3            | %                 | 1.8            | %                 | Suelo Volcánico |
| LÍMITE LÍQUIDO            | N P            | %                 | NP             | %                 | Suelo Volcánico |
| LÍMITE PLÁSTICO           | N P            | %                 | NP             | %                 | Suelo Volcánico |
| ÍNDICE DE PLASTICIDAD     | SP - SM        | *                 | SP-SM          | *                 | Suelo Volcánico |
| CLASIFICACIÓN             | 8.3            | %                 | 7.5            | %                 | Suelo Volcánico |
| % FINOS                   |                |                   |                |                   |                 |

### Interpretación:

De las dos (02) calicatas ensayadas se aprecia y se interpreta claramente que son materiales de residuos volcánicos tipo “Piro clasto” de baja resistencia.

**Tabla 7***Diseño de Pavimentos Aastho (convencional)*

| <b>DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE N°01 (OMATE)</b>       |                |                  |
|--|----------------|------------------|
| <b>METODO: AASTHO 93</b>                               |                |                  |
| <b>1. CARACTERISTICAS DE MATERIALES</b>                |                | <b>DATOS</b>     |
| A. MODULO DE RESILIENCIA DE LA CARPETA ASFALTICA (ksi) |                | 400.00           |
| B. MÓDULO DE RESILIENCIA DE LA BASE GRANULAR (ksi)     |                | 20.16            |
| C. MÓDULO DE RESILIENCIA DE LA SUB BASE (ksi)          |                | 17.16            |
| <b>2. DATOS DE TRÁFICO Y PROPIEDADES DE LA S.R.</b>    |                |                  |
| A. NUMERO DE EJES EQUIVALENTES TOTAL (W18)             |                | 8.18E+05         |
| B. FACTOR DE CONFIABILIDAD ( R )                       |                | 85%              |
| STANDARD NORMAL DE VIATE (Zr)                          |                | -1.036           |
| OVERAL L STANDARD DE VIATON (So)                       |                | 0.45             |
| C. MODULO DE RESILIENCIA DE LA SUBRASANTE (MR, KSI)    |                | 7.20             |
| D. SERVICIABILIDAD INICIAL (pi)                        |                | 4.00             |
| E. SERVICIABILIDAD FINAL (pt)                          |                | 2.50             |
| F. PERIODO DE DISEÑO (años)                            |                | 10.00            |
| <b>3. DATOS PARA ESTRUCTURACIÓN DEL REFUERZO</b>       |                |                  |
| A. COEFICIENTES ESTRUCTURALES DE CAPA                  |                |                  |
| CONCRETO ASFALTICO CONVENCIONAL (a1)                   |                | 0.43             |
| BASE GRANULAR ESTABILIZADA (a2)                        |                | 0.20             |
| SUB BASE (a3)  |                | 0.12             |
| B. COEFICIENTES DE DRENAJE DE CAPA                     |                |                  |
| BASE GRANULAR (MEJORADA)                               |                | 1.15             |
| SUB BASE   |                | 1.00             |
| <b>DATOS DE SALIDA</b>                                 |                |                  |
| NUMERO ESTRUCTURAL REQUERIDO TOTAL (SNreq)             |                | 3.35             |
| NUMERO ESTRUCTURAL CARPETA ASFÁLTICA (SNca)            |                | 0.85             |
| NUMERO ESTRUCTURAL BASE GRANULAR (SNbg)                |                | 1.56             |
| NUMERO ESTRUCTURAL SUB BASE (SNsb)                     |                | 0.94             |
| <b>ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO PROPUESTA</b>              |                |                  |
|  | <b>TEORICO</b> | <b>PROPUESTO</b> |
| ESPESOR CARPETA ASFÁLTICA (CM)                         | 5.0            | 5.0              |
| ESPESOR BASE GRANULAR MEJORADA (CM)                    | 19.8           | 20.0             |
| ESPESOR SUB BASE GRANULAR (CM)                         | 20.0           | 20.0             |
| ESPESOR TOTAL (CM)                                     |                | 45.0             |

### Observaciones

- El cálculo se realizó con el módulo de resiliencia crítico del tramo (CBR = 4.8%).
- Se asume que el material de base tendrá un CBR = 100%.
- Se deberá de cumplir todas las EE.TT. emitidas por la EG – 2013.

### Interpretación:

El diseño de espesores tradicional es el mostrado en la figura N°23

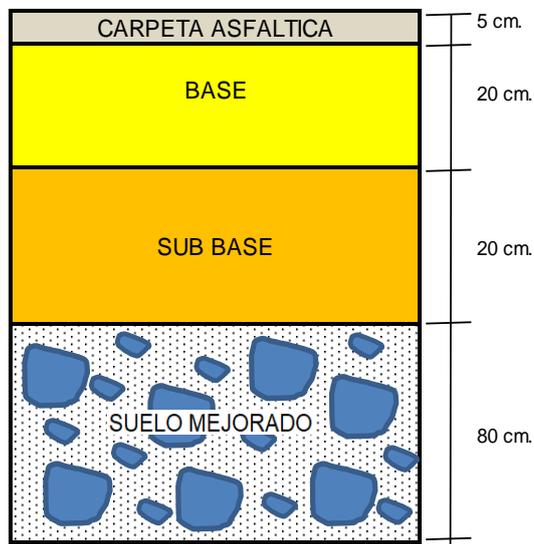


Figura 23. Estructura de pavimento

**Tabla 8***Diseño de Pavimentos (con Geocelda)*

| <b>DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE N°02 (OMATE)</b>       |         |              |
|--|---------|--------------|
| METODO: AASTHO 93                                      |         |              |
| <b>1. CARACTERÍSTICAS DE MATERIALES</b>                |         | <b>DATOS</b> |
| A. MODULO DE RESILIENCIA DE LA CARPETA ASFALTICA (ksi) |         | 400.00       |
| B. MÓDULO DE RESILIENCIA DE LA BASE GRANULAR (ksi)     |         | 20.16        |
| C. MÓDULO DE RESILIENCIA DE LA SUB BASE (ksi)          |         | 17.16        |
| <b>2. DATOS DE TRÁFICO Y PROPIEDADES DE LA S.R.</b>    |         |              |
| A. NUMERO DE EJES EQUIVALENTES TOTAL (W18)             |         | 8.18E+05     |
| B. FACTOR DE CONFIABILIDAD ( R )                       |         | 85%          |
| STANDARD NORMAL DE VIATE (Zr)                          |         | -1.036       |
| OVERAL L STANDARD DE VIATON (So)                       |         | 0.45         |
| C. MODULO DE RESILIENCIA DE LA SUBRASANTE (MR, KSI)    |         | 7.20         |
| D. SERVICIABILIDAD INICIAL (pi)                        |         | 4.00         |
| E. SERVICIABILIDAD FINAL (pt)                          |         | 2.50         |
| F. PERIODO DE DISEÑO (años)                            |         | 10.00        |
| <b>3. DATOS PARA ESTRUCTURACIÓN DEL REFUERZO</b>       |         |              |
| A. COEFICIENTES ESTRUCTURALES DE CAPA                  |         |              |
| CONCRETO ASFALTICO CONVENCIONAL (a1)                   |         | 2.58         |
| BASE GRANULAR ESTABILIZADA (a2)                        |         | 0.20         |
| SUB BASE (a3)  |         | 0.00         |
| B. COEFICIENTES DE DRENAJE DE CAPA                     |         |              |
| BASE GRANULAR (MEJORADA)                               |         | 1.15         |
| SUB BASE   |         | 1.00         |
| <b>DATOS DE SALIDA</b>                                 |         |              |
| NUMERO ESTRUCTURAL REQUERIDO TOTAL (SNreq)             |         | 3.35         |
| NUMERO ESTRUCTURAL CARPETA ASFÁLTICA (SNca)            |         | 5.10         |
| NUMERO ESTRUCTURAL BASE GRANULAR (SNbg)                |         | 0.50         |
| NUMERO ESTRUCTURAL SUB BASE (SNsb)                     |         | 0.00         |
| <b>ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO PROPUESTA</b>              |         |              |
|  | TEORICO | PROPUESTO    |
| ESPESOR CARPETA ASFÁLTICA (CM)                         | 5.0     | 5.0          |
| ESPESOR BASE GRANULAR MEJORADA (CM)                    | 6.4     | 10.0         |
| ESPESOR SUB BASE GRANULAR (CM)                         | 0.0     | 0.0          |
| ESPESOR TOTAL (CM)                                     |         | 15.0         |

### Observaciones

- El cálculo se realizó con el módulo de resiliencia crítico del tramo (CBR = 4.8%).
- Se asume que el material de base tendrá un CBR = 100%.
- Se deberá de cumplir todas las EE.TT. emitidas por la EG – 2013.

### Interpretación:

El diseño de espesores Con Geocelda es el mostrado en la figura N°24



Figura 24. Estructura de pavimento con geocelda

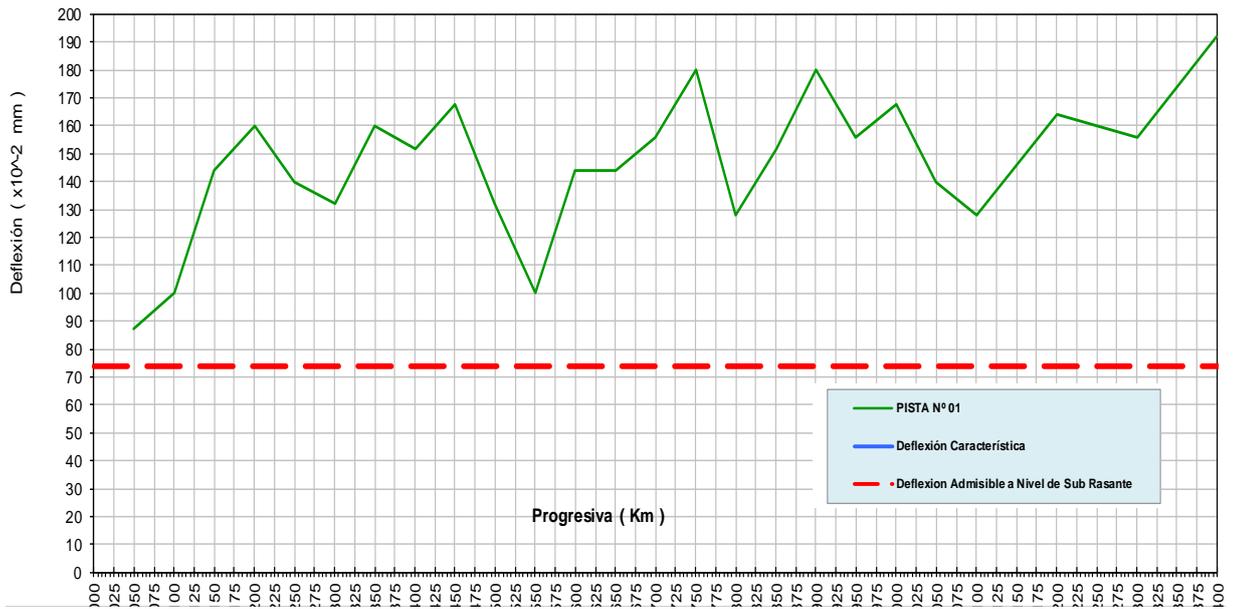


Figura 25. Deformación de la Sub Rasante (sin refuerzo)

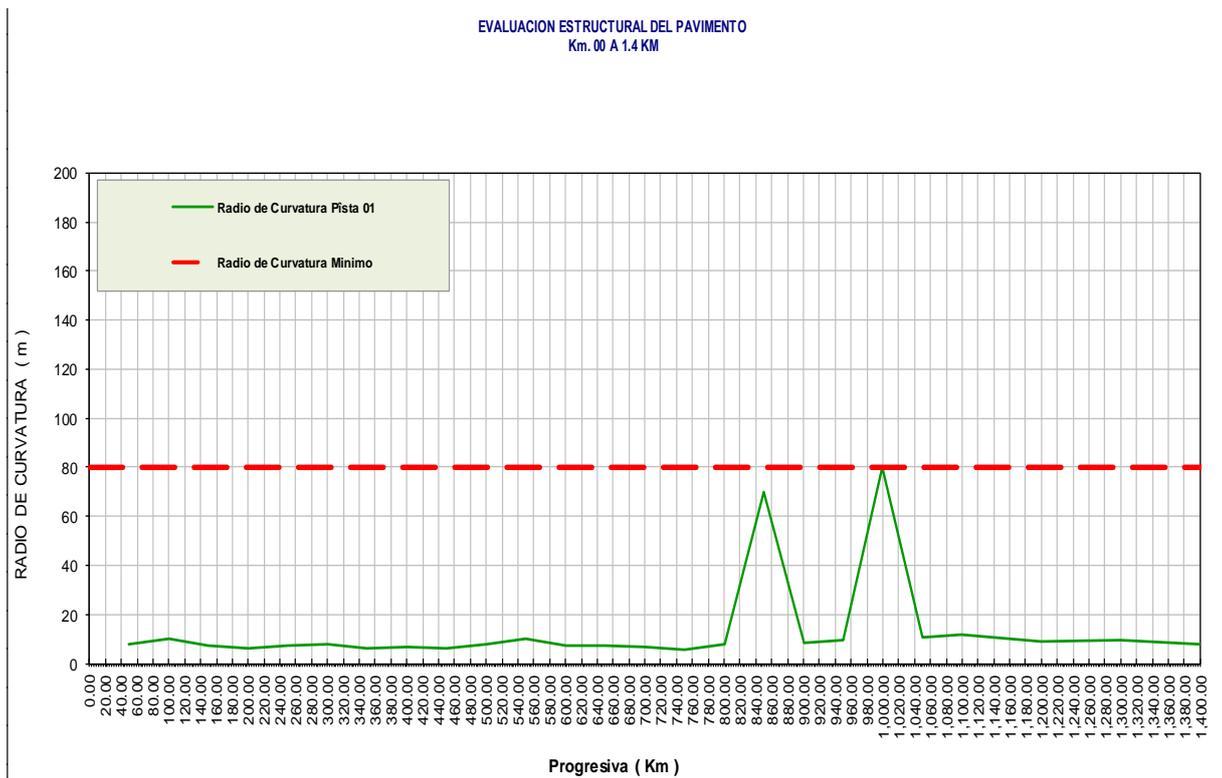


Figura 26. Deformación de la Sub Rasante (sin refuerzo)

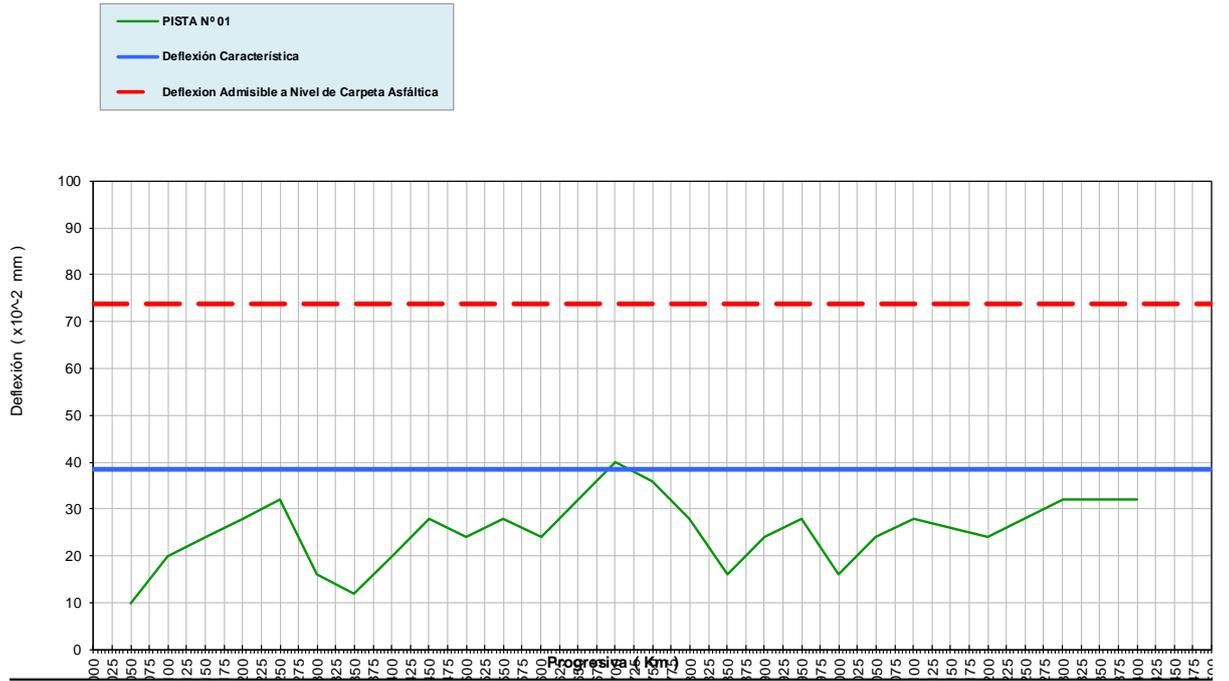


Figura 27. Deformación de la Sub Rasante (con geocelda)

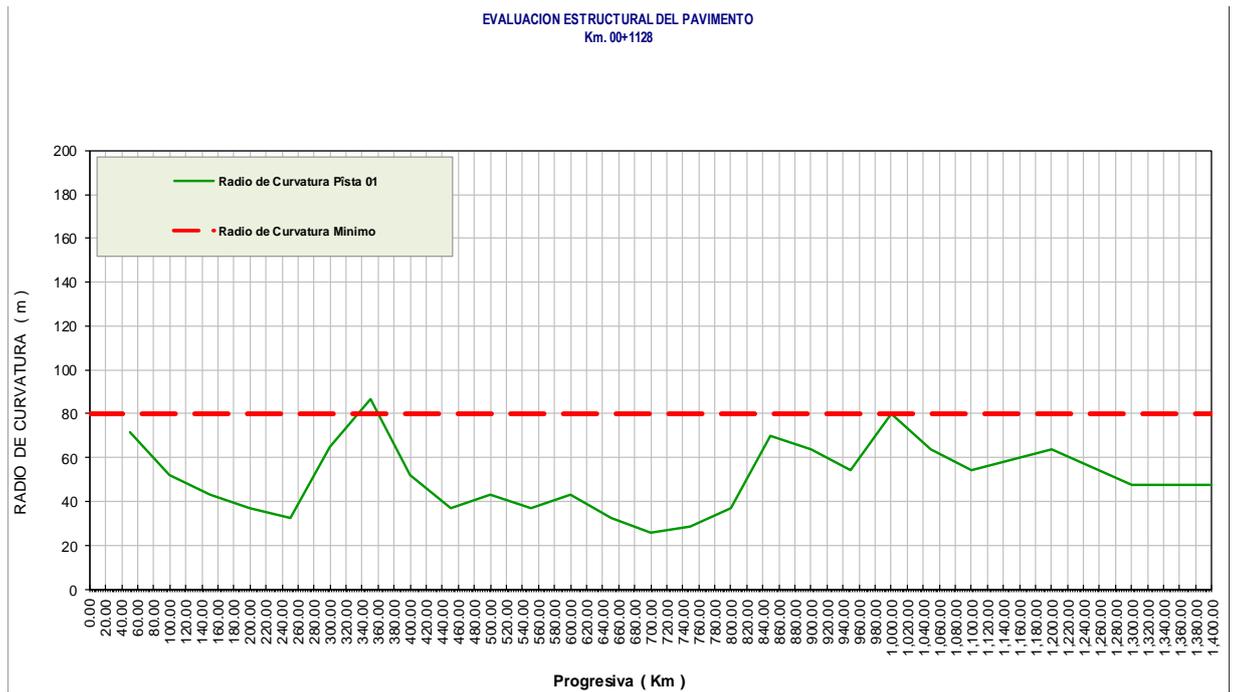


Figura 28. Deformación de la Sub Rasante (con geocelda)

### Datos para Deflexión Benkelman

- Presión Neumática : 80 lb/pulg<sup>2</sup>
- Carga en eje Posterior : 8,200 kg.
- V.B. Relación : ¼
- Pista : 1

**Tabla 9**

*Deflexiones Benkelman (con geocelda)*

| <b>DEFLEXIONES BENKELMAN (Método CONREVIAL)</b> |                  |     |                        |              |                  |                           |   |    |                        |
|---|------------------|-----|------------------------|--------------|------------------|---------------------------|---|----|------------------------|
| Progresiva (km)                                 | Lectura del DIAL |     | Superficie de Rodadura |              |                  | Temperatura Ambiente (°C) | Deflexión Corregida (x10 <sup>-2</sup> m) |    | Radio de Curvatura (m) |
|   | 0                | 25  | Tipo                   | Espesor (cm) | Temperatura (°C) |                           | 0   | 25 |                        |
| 25.00   | 4                | 2.4 |                        | 5.0          | 20.10 °C         | 21.0 °C                   | 10  | 9  | 71                     |
| 50.00   | 5                | 3   |                        | 5.0          | 20.10 °C         | 21.0 °C                   | 20  | 12 | 52                     |
| 100.00  | 6                | 3.5 |                        | 5.0          | 20.10 °C         | 21.0 °C                   | 24  | 14 | 43                     |
| 150.00  | 7                | 4.1 |                        | 5.0          | 20.10 °C         | 21.0 °C                   | 28  | 17 | 37                     |
| 200.00  | 8                | 4.7 |                        | 5.0          | 20.10 °C         | 21.0 °C                   | 32  | 19 | 32                     |
| 250.00  | 4                | 2.4 |                        | 5.0          | 20.10 °C         | 21.0 °C                   | 16  | 9  | 65                     |
| 300.00  | 3                | 1.8 |                        | 5.0          | 20.10 °C         | 21.0 °C                   | 12  | 7  | 86                     |
| 350.00  | 5                | 3   |                        | 5.0          | 20.10 °C         | 21.0 °C                   | 20  | 12 | 52                     |
| 400.00  | 7                | 4.1 |                        | 5.0          | 20.10 °C         | 21.0 °C                   | 28  | 17 | 37                     |
| 450.00  | 6                | 3.5 |                        | 5.0          | 20.10 °C         | 21.0 °C                   | 24  | 14 | 43                     |
| 500.00  | 7                | 4.1 |                        | 5.0          | 20.10 °C         | 21.0 °C                   | 28  | 17 | 37                     |
| 550.00  | 6                | 3.5 |                        | 5.0          | 20.10 °C         | 21.0 °C                   | 24  | 14 | 43                     |
| 600.00  | 8                | 4.7 |                        | 5.0          | 20.10 °C         | 21.0 °C                   | 32  | 19 | 32                     |
| 650.00  | 10               | 5.9 |                        | 5.0          | 20.10 °C         | 21.0 °C                   | 40  | 24 | 26                     |
| 700.00  | 9                | 5.3 |                        | 5.0          | 20.10 °C         | 21.0 °C                   | 36  | 21 | 29                     |
| 750.00  | 7                | 4.1 |                        | 5.0          | 20.10 °C         | 21.0 °C                   | 28  | 17 | 37                     |
| 800.00  | 4                | 2.4 |                        | 5.0          | 20.10 °C         | 21.0 °C                   | 16  | 9  | 70                     |
| 850.00  | 6                | 3.5 |                        | 5.0          | 20.10 °C         | 21.0 °C                   | 24  | 14 | 64                     |
| 900.00  | 7                | 4.1 |                        | 5.0          | 20.10 °C         | 21.0 °C                   | 28  | 17 | 54                     |
| 950.00  | 4                | 2.4 |                        | 5.0          | 20.10 °C         | 21.0 °C                   | 16  | 9  | 80                     |
| 1,000.00  | 6                | 3.5 |                        | 5.0          | 20.10 °C         | 21.0 °C                   | 24  | 14 | 64                     |
| 1,050.00  | 7                | 4.1 |                        | 5.0          | 20.10 °C         | 21.0 °C                   | 28  | 17 | 54                     |
| 1,100.00  | 6                | 3.5 |                        | 5.0          | 20.10 °C         | 21.0 °C                   | 24  | 14 | 64                     |
| 1,200.00  | 8                | 4.7 |                        | 5.0          | 20.10 °C         | 21.0 °C                   | 32  | 19 | 48                     |
| 1,300.00  | 8                | 4.7 |                        | 5.0          | 20.10 °C         | 21.0 °C                   | 32  | 19 | 48                     |
| 1,400.00  | 8                | 4.7 |                        | 5.0          | 20.10 °C         | 21.0 °C                   | 32  | 19 | 48                     |

**Tabla 10***Deflexiones Benkelman (sin geocelda)*

| DEFLEXIONES BENKELMAN (Método CONREVIAL) |                  |      |                        |              |                  |                           |   |     |                        |
|--|------------------|------|------------------------|--------------|------------------|---------------------------|---|-----|------------------------|
| Progresiva (km)                          | Lectura del DIAL |      | Superficie de Rodadura |              |                  | Temperatura Ambiente (°C) | Deflexión Corregida (x10 <sup>-2</sup> m) |     | Radio de Curvatura (m) |
|  | 0                | 25   | Tipo                   | Espesor (cm) | Temperatura (°C) |                           | 0   | 25  |                        |
| 25.00                                    | 35               | 20.7 |                        | 5.0          | 20.10 °C         | 21.0 °C                   | 87  | 83  | 8                      |
| 50.00                                    | 25               | 14.8 |                        | 5.0          | 20.10 °C         | 21.0 °C                   | 100                                       | 59  | 10                     |
| 100.00                                   | 36               | 21.2 |                        | 5.0          | 20.10 °C         | 21.0 °C                   | 144                                       | 85  | 7                      |
| 150.00                                   | 40               | 23.6 |                        | 5.0          | 20.10 °C         | 21.0 °C                   | 160                                       | 94  | 6                      |
| 200.00                                   | 35               | 20.7 |                        | 5.0          | 20.10 °C         | 21.0 °C                   | 140                                       | 83  | 7                      |
| 250.00                                   | 33               | 19.5 |                        | 5.0          | 20.10 °C         | 21.0 °C                   | 132                                       | 78  | 8                      |
| 300.00                                   | 40               | 23.6 |                        | 5.0          | 20.10 °C         | 21.0 °C                   | 160                                       | 94  | 6                      |
| 350.00                                   | 38               | 22.4 |                        | 5.0          | 20.10 °C         | 21.0 °C                   | 152                                       | 90  | 7                      |
| 400.00                                   | 42               | 24.8 |                        | 5.0          | 20.10 °C         | 21.0 °C                   | 168                                       | 99  | 6                      |
| 450.00                                   | 33               | 19.5 |                        | 5.0          | 20.10 °C         | 21.0 °C                   | 132                                       | 78  | 8                      |
| 500.00                                   | 25               | 14.8 |                        | 5.0          | 20.10 °C         | 21.0 °C                   | 100                                       | 59  | 10                     |
| 550.00                                   | 36               | 21.2 |                        | 5.0          | 20.10 °C         | 21.0 °C                   | 144                                       | 85  | 7                      |
| 600.00                                   | 36               | 21.2 |                        | 5.0          | 20.10 °C         | 21.0 °C                   | 144                                       | 85  | 7                      |
| 650.00                                   | 39               | 23.0 |                        | 5.0          | 20.10 °C         | 21.0 °C                   | 156                                       | 92  | 7                      |
| 700.00                                   | 45               | 26.6 |                        | 5.0          | 20.10 °C         | 21.0 °C                   | 180                                       | 106 | 6                      |
| 750.00                                   | 32               | 18.9 |                        | 5.0          | 20.10 °C         | 21.0 °C                   | 128                                       | 75  | 8                      |
| 800.00                                   | 38               | 22.4 |                        | 5.0          | 20.10 °C         | 21.0 °C                   | 152                                       | 90  | 7                      |
| 850.00                                   | 45               | 26.6 |                        | 5.0          | 20.10 °C         | 21.0 °C                   | 180                                       | 106 | 8                      |
| 900.00                                   | 39               | 23.0 |                        | 5.0          | 20.10 °C         | 21.0 °C                   | 156                                       | 92  | 10                     |
| 950.00                                   | 42               | 24.8 |                        | 5.0          | 20.10 °C         | 21.0 °C                   | 168                                       | 99  | 8                      |
| 1,000.00                                 | 35               | 20.7 |                        | 5.0          | 20.10 °C         | 21.0 °C                   | 140                                       | 83  | 11                     |
| 1,050.00                                 | 32               | 18.9 |                        | 5.0          | 20.10 °C         | 21.0 °C                   | 128                                       | 75  | 12                     |
| 1,100.00                                 | 41               | 24.2 |                        | 5.0          | 20.10 °C         | 21.0 °C                   | 164                                       | 97  | 9                      |
| 1,200.00                                 | 39               | 23.0 |                        | 5.0          | 20.10 °C         | 21.0 °C                   | 156                                       | 92  | 10                     |
| 1,300.00                                 | 48               | 28.3 |                        | 5.0          | 20.10 °C         | 21.0 °C                   | 192                                       | 113 | 8                      |
| 1,400.00                                 | 36               | 21.2 |                        | 5.0          | 20.10 °C         | 21.0 °C                   | 144                                       | 85  | 11                     |

**Interpretación:**

Como se aprecia en las tablas N°10 (sin Geocelda) todas las deformaciones sobrepasan las máximas permisibles, Así mismo en la tabla N°09 (con geocelda) se aprecia que las deformaciones disminuyeron considerablemente.

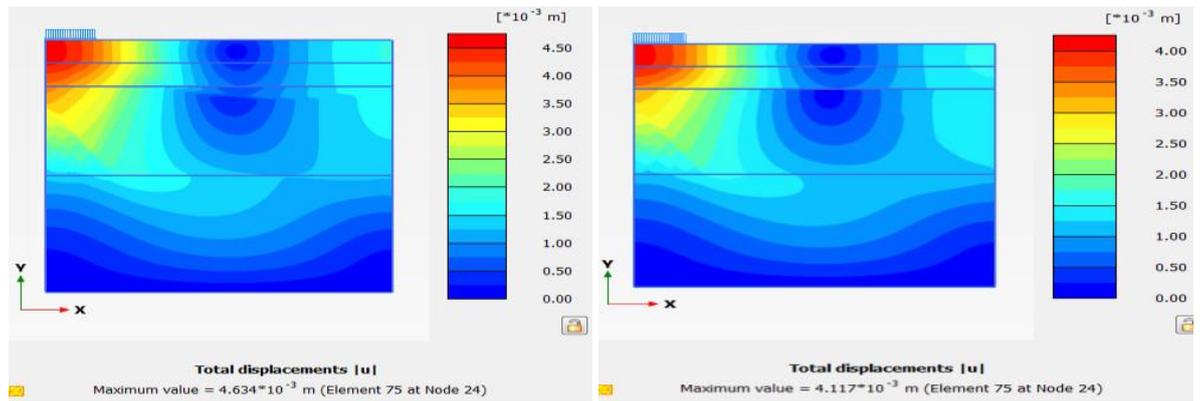


Figura 29. Perfil de deformación superficial para capa base reforzada y no reforzada de 100 mm de espesor (Deformación 2d mediante PLAXIS)

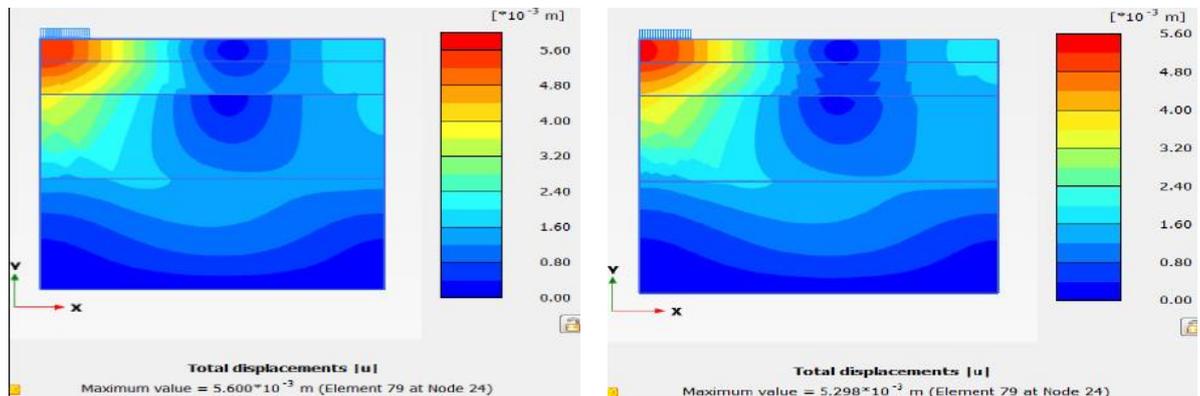


Figura 30. Perfil de deformación superficial para capa base no reforzada y reforzada de 150 mm de espesor (Deformación 2d mediante PLAXIS)

### Interpretación:

Las deformaciones fueron halladas analíticamente mediante software Plaxis, donde se evidencia claramente las deformaciones críticas (color rojo) a diferentes profundidades.

### 4.3 Contrastación De Hipótesis.

Prueba de hipótesis con el estadístico t: Utilizando el valor de P y T.

Se consideraron de todas las muestras de ensayos en Geoceldas ensayadas y sometidas a deformación en el pavimento,

Formulación de hipótesis:

HG: El uso de la geocelda tridimensional es la solución a los problemas de pavimentación en suelo volcánico.

- Contrastación General; **Se da por aceptado**, puesto que la aplicación de la Geocelda tridimensional las deformaciones fueron inferiores al parámetro  $0.75 \times 10e - 02$ .

HD1: Demostrar que el suelo de fundación es Volcánico e inestable mediante ensayos estándares de laboratorio.

- Contrastación HD1; **Se da por aceptado**; puesto que con los ensayos estándares de laboratorio (Granulometría, Clasificación SUCS, CBR) se demostró que es un suelo de baja calidad.

HD2: El uso de geocelda tridimensional disminuye la deformación del pavimento en suelo Volcánico inestable.

- Contrastación HD2; Se da por aceptado; puesto que la deformación del pavimento con Geocelda ( $40 \times 10e2$ ) es inferior a la deformación de la sub rasante ( $192 \times 10e2$ ).

HD3: El empleo de geocelda tridimensionales reduce los costos de pavimentación en suelo volcánico inestable.

- Contratación HD3; **Se da por aceptado**; puesto que los costos unitarios se reducen en 27% que equivale a 17 soles/m2, tal como de detalla en los cuadros adjuntos.

V máx.  $192 \geq 75 \times 10^{-02} \sim$  **NO CUMPLE**

V máx.  $40 \geq 75 \times 10^{-02} \sim$  **SI CUMPLE**

**Tabla 11**

*Costo/M2 (Pavimento con Geocelda)*

| DESCRIPCIÓN                      | U/M | P.U. | TOTAL    |
|----------------------------------|-----|------|----------|
| GEOCELDA TRIDIMENSIONAL (e= 4cm) | M2  | 42   |          |
| CONCRETO F'C 210 KG/CM2 (e= 4cm) | M2  | 12   |          |
| BASE (e= 8cm)                    | M2  | 8    |          |
|                                  |     | 62   | SOLES/M2 |

**Tabla 12**

*Costo/M2 (Pavimento Tradicional)*

| DESCRIPCIÓN                | U/M | P.U. | TOTAL    |
|----------------------------|-----|------|----------|
| CARPETA ASFALTICA (e= 5cm) | M2  | 51   |          |
| BASE (e= 5cm)              | M2  | 15   |          |
| SUB BASE (e= 15cm)         | M2  | 9    |          |
| IMPRIMADO (5mm)            | M2  | 4    |          |
|                            |     | 79   | SOLES/M2 |

Por la tanto según las contrastaciones de las hipótesis generales y específicas dan por aceptadas teniendo en cuenta el siguiente valor de significancia:

Valor  $P >$  Nivel de significancia  $\rightarrow$  Se acepta la  $H_0$  y se rechaza la  $H_a$

Valor  $P <$  Nivel de significancia  $\rightarrow$  Se rechaza la  $H_0$  y se acepta la  $H_a$

Considerando el nivel de confianza de 95%, nivel de significancia del 5% y según ensayo y cálculo realizado la deformación máxima con refuerzo de geo celda es **menor a  $75 \times 10^{-2}$**

Por consiguiente, se cumple con el primer supuesto (hipótesis nula), entonces se **ACEPTA LA HIPOTESIS NULA.**

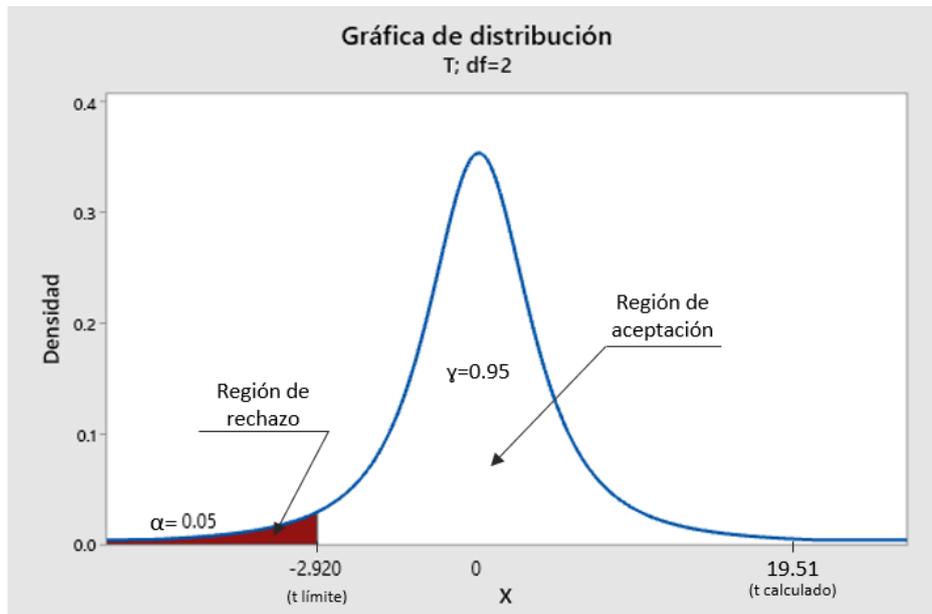


Figura 31. T de Student para resistencia a compresión.

#### 4.4 Discusión De Resultados.

A partir de los resultados hallados, tal como se demuestra en las gráficas expuestas anteriormente se evidencia que las deformaciones con geoceldas son muchos menores que las que no tiene refuerzo tal como se detalla a continuación:

\*Según norma:

-Deformación máxima según norma AASTHO:  $75 \times 10^{-2}$

Resultados Obtenidos mediante la presente investigación:

-Deformación máxima de sub rasante:  $192 \times 10^{-2}$

-Deformación máxima con geocelda:  $40 \times 10^{-2}$

Se demuestra que la deformación obtenida es inferior a la deformación según norma por lo que los resultado obtenidos son aceptables.

\*Según tesis similares:

- a) Según Mattos et al. (2019). En la tesis Mejora de la Subrasante de Suelo Arcilloso Aplicando el Sistema de Confinamiento Celular para reducir las capas del pavimento, se concluye que : Gracias a los efectos que se genera al aplicarse el sistema de confinamiento celular en la subrasante del proyecto vial, se puede observar que se genera una mejora máxima del módulo de elasticidad en la capa adyacente; si la capa adyacente es la subbase, en nuestro estudio aumento desde 108.87 MPa a 152.42 MPa y, si la capa adyacente es la base la mejora máxima es de 134.04 MPa a 187.65 MPa; teniendo en ambos casos una mejora del 40.00%.

**Conclusión:** Por lo tanto la geocelda tipo celular se asemeja a las características de la geocelda tridimensional “tipo diamante” demostrando en ambos casos que las geoceldas si mejoran la resistencia del pavimento.

- b) Según Garzón et al. (2019), en la tesis “Estudio de Alternativa para la estabilidad de un Suelo utilizando Materiales Reciclables Vs Geoceldas Convencionales”; en la que concluye que el ensayo de tensión, con la geocelda se evidencia que el índice de rotura llega a un 60% de la geocelda convencional esto quiere decir que es viable no solo su construcción, sino que aporta en gran medida a las fuerzas axiales en el suelo.

**Conclusión:** Por lo tanto la geocelda tipo convencional se asemeja a las características de la geocelda tridimensional “tipo diamante” demostrando en ambos casos que las geoceldas si mejoran la resistencia del pavimento.

## **CAPÍTULO V**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **5.1 Conclusiones**

Se acuerdo con la investigación realizada en la presente tesis se concluye lo siguiente por objetivos:

**Primero.** Primero. Según la deformación hallada mediante Placa de Carga en suelo de Ceniza Volcánica, no excede el límite máximo permisible.

**Segundo.** Mediante ensayos de laboratorio se determino que el suelo es Ceniza Volcánica de baja resistencia.

**Tercero.** Según el ensayo de Placa de Carga la deformación inicial sin refuerzo y la deformación final con refuerzo de geocelda se determina el comportamiento del pavimento.

**Cuarto.** Se determinó que el costo del pavimento con geocelda con un monto de S/. 62.00 soles, no supera el costo del pavimento tradicional con un monto de S/. 79.00 soles, haciendo una diferencia de 17 soles /m<sup>2</sup> entre pavimento con geocelda vs el pavimento tradicional.

## **5.2 Recomendaciones**

**Primero.** Se recomienda utilizar Geoceldas en suelos de baja capacidad portante y en zonas donde NO EXISTE canteras cercanas.

**Segundo.** Las Deformaciones In-Situ se podrán realizar con equipos de Viga Benkelman, Placa de Carga y Deflextometro de Impacto.

**Tercero.** En la zona no se recomienda mejorar la sub rasante utilizando enrocado, puesto que la cantera dista mayor a 10 km. y esto encarece demasiado el costo del pavimento.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Admin. (2016). *¿Qué es una muestra y cómo se selecciona?* Recuperado de <https://normasapa.net/que-es-una-muestra-y-como-se-selecciona/>.
- American Association Of State Of Highway And Transportation. (1993). *Guide for design of pavement structures*. Washington, Estados Unidos.
- Ayala, S. (2019). *Evaluación de la estructura de pavimento flexible con la aplicación de geoceldas en Huaura – Huaura – Lima, 2019*. (Tesis de Pregrado). Universidad Cesar Vallejo, Lima Perú.
- Camargo, J. (2012). *Tipos de pavimentos*. Recuperado de <https://civilgeeks.com/2011/12/28/tipos-de-pavimentos/>.
- Cemento Artigas. (23 de diciembre del 2015). *Obra en Ruta 12*. Recuperado de <https://www.cementosartigas.com.uy/noticia/obra-en-ruta-12#this>.
- Delgado, V. (2016). *Evaluación del Módulo de un Material granular reforzado con el Sistema de Confinamiento Celular NEOWEB*, Universidad de los Andes, Bogotá Colombia.
- Diamond Grid. (2017). *Tough and Sustainable*. Recuperado de <https://diamondgrid.squarespace.com/>.
- Escuela de Formación GF. (s.f.). *Asentamiento diferencial y distorsión angular en cimentaciones*. Recuperado de

<https://geotecniafacil.com/asentamientodiferencial-y-distorsion-angular-en-cimentaciones/>.

Garzón, J. y Henao, B. (2019). *Estudio De Alternativa para la Estabilidad de un Suelo utilizando Materiales Reciclables Vs Geoceldas Convencionales*. Universidad Católica de Colombia, Bogotá Colombia

Gerencia de Estudios y Normas. (2021). *Compendio Normativo Sobre Pesos y Medidas*. Ministerio de Transportes y Comunicaciones, Superintendencia de Transporte Terrestre de personas, carga y Mercancías.

Grupo Armando Álvarez (2021). *Geoceldas para la estabilización de gravas y taludes*. Recuperado de <https://texdelta.com/blog/geoceldas-para-la-estabilizacion-de-gravas-y-taludes/>.

Gutiérrez, E. (2021). *Estabilización de la subrasante en vías no pavimentadas con resina de ciprés, trocha carrozable Tiquiña, Checacupe, Cusco 2021*. (Tesis de Pregrado), Universidad Cesar Vallejo, Lima, Perú.

Hebert, L (2017). *The Engineer's and Mechanic's Encyclopaedia, Vol. 2*. Reino Unido.

Hernández, C. y Carpio, N. (2019). Introducción a los tipos de muestreo. *Alerta, Revista científica Del Instituto Nacional De Salud, 2(1), 75-59*. <https://doi.org/10.5377/alerta.v2i1.7535>.

- Kraemer C., Pardillo J.M., Rocci S., Romana M. y Sánchez V. (2004). *Ingeniería de Carreteras Vol. II*. Mc. Graw Hill. España.
- Mata, L. (2020). *Confiabilidad y validez en la investigación cuantitativa*. Recuperado de <https://investigaliacr.com/investigacion/confiabilidad-de-instrumentos-y-validez-de-resultados-en-la-investigacion-cuantitativa/>.
- Mattos, J. y Vásquez, D. (2019). *Mejora de la sub rasante de suelo arcilloso aplicando el sistema de confinamiento celular para reducir las capas del pavimento*. (Tesis de Pregrado). Universidad Ricardo Palma. Lima Perú.
- Menéndez, J. (2010). *Ingeniería de Pavimentos, materiales, Diseño y Conservación*. Instituto de la Construcción y Gerencia. Lima.
- Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, (2008). *El medio ambiente y el medio rural y marino en España*, Madrid, España.
- Monje, C. (2011). *Metodología de la Investigación cuantitativa y cualitativa Guía Didáctica*. Universidad Surcolombiana. Neiva, Colombia.
- Moreno, P. (2013). *Diseño de Vías de Comunicación Terrestres*. Recuperado de <https://topoviasdecomunicacion.wordpress.com/>.
- MTC. (2018). *Manual De Carreteras: Diseño Geométrico DG – 2018*. Lima – Perú. Recuperado de [http://transparencia.mtc.gob.pe/idm\\_docs/normas\\_legales/1\\_0\\_4038.pdf](http://transparencia.mtc.gob.pe/idm_docs/normas_legales/1_0_4038.pdf).

Ortiz, A. (2017). *Instructivo del Proceso Constructivo de una Vía en Pavimento Flexible*. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá D.C.

Oyarzun, L. (2018). *Diseño Y Construcción De Prototipo De Pavimentos Y Superficies Drenantes*, (Tesis de Pregrado), Universidad Técnica Federico Santa María, Valparaíso Chile.

Ramos, E. (2018). *Métodos y técnicas de investigación*. Recuperado de <https://www.gestiopolis.com/metodos-y-tecnicas-de-investigacion/>.

Servicios Especializados para la Construcción. (2019). *Extendedora Terex*. Recuperado de <https://seecsa.com.mx/extendido-de-concreto/>.