



UNIVERSIDAD JOSÉ CARLOS MARIÁTEGUI

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y
ARQUITECTURA**

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

T E S I S

**MEJORAMIENTO DEL PAVIMENTO APLICANDO EL
SISTEMA DE GEOCELDA TRIDIMENSIONAL EN EL
SECTOR N° 02 BIOHUERTO SAN
ANTONIO - MOQUEGUA**

PRESENTADA POR

BACHILLER OLINDA CHURA OCHOA

ASESOR:

MGR. KARLA FIORELLA CORNEJO LECAROS

PARA OPTAR TÍTULO PROFESIONAL DE

INGENIERO CIVIL

MOQUEGUA - PERÚ

2022

CONTENIDO

	Pág.
Página de jurado	ii
Dedicatoria	iii
Agradecimientos	iv
Contenido	v
ÍNDICE DE TABLAS	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
ÍNDICE DE ECUACIONES	xiii
ÍNDICE DE APÉNDICES.....	xiv
RESUMEN	xv
ABSTRACT	xvi
INTRODUCCIÓN	xvii

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

1.1.	Descripción de la realidad del problema	1
1.2.	Definición del problema	3
1.2.1.	Problema general.	3
1.2.2.	Problemas específicos.....	4
1.3.	Objetivos de la investigación.....	4
1.3.1.	Objetivo general.	4
1.3.2.	Objetivos específicos.....	4
1.4.	Justificación	4

1.4.1.	Justificación teórica.	4
1.4.2.	Justificación práctica.	5
1.4.3.	Justificación económica.	5
1.4.4.	Justificación metodológica.	5
1.5.	Alcances y limitaciones	6
1.5.1.	Alcances.	6
1.5.2.	Limitaciones.	6
1.6.	Variables	6
1.6.1.	Identificación de variables.	6
1.6.2.	Operacionalización de variables.	7
1.7.	Hipótesis de la investigación	7
1.7.1.	Hipótesis general.	7
1.7.2.	Hipótesis derivadas.	7

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1.	Antecedentes de la investigación.	8
2.1.1.	Antecedentes internacionales.	8
2.1.2.	Antecedentes nacionales.	10
2.2.	Marco teórico.	12
2.2.1.	Pavimentos.	12
2.2.2.	Mejoramiento del pavimento con geoceldas tridimensionales.	32
2.3.	Definición de términos	42

CAPÍTULO III

MÉTODO

3.1.	Tipo de la investigación.....	44
3.2.	Diseño de la investigación.....	44
3.3.	Población y muestra	45
3.3.1.	Población.	45
3.3.2.	Muestreo.	45
3.3.3.	Muestra.	46
3.4.	Descripción de instrumentos para recolección de datos.....	46
3.4.1.	Análisis documental.	46
3.4.2.	Investigación de campo.	47

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1.	Localización y ubicación de la muestra.....	48
4.2.	Trabajo de campo	49
4.2.1.	Calicatas.	50
4.3.	Ensayos de laboratorio.....	51
4.3.1.	Propiedades físicas y mecánicas de la subrasante.	51
4.3.2.	Deformación utilizando geocelda tridimensional.....	69
4.3.3.	Costos alternativos de mejoramiento del pavimento.....	72
4.4.	Contrastación de hipótesis	74
4.4.1.	Hipótesis general.	74
4.4.2.	Hipótesis específica 1.	75

4.4.3.	Hipótesis específica 2.	75
4.4.4.	Hipótesis específica 3.	76
4.5.	Discusión de resultados	77
4.5.1.	Mejoramiento del pavimento utilizando geocelda tridimensional.	77
4.5.2.	Referido a las propiedades físicas y mecánicas del pavimento.	78
4.5.3.	Al asentamiento del pavimento aplicando geocelda tridimensional.	79
4.5.4.	Referido a los costos utilizando geocelda tridimensional.	80

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1.	Conclusiones.....	81
5.2.	Recomendaciones	82
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	84
	APÉNDICES	89
	MATRIZ DE CONSISTENCIA	144
	INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	145

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Características del suelo de Moquegua.....	2
Tabla 2. Operacionalización de variables.	7
Tabla 3. Clasificación de suelos según tamaño.....	17
Tabla 4. Clasificación de suelos según índice de plasticidad.....	18
Tabla 5. Correlación de suelos AASHTO – SUCS.....	20
Tabla 6. Límites químicos opcionales para el mezclado.....	22
Tabla 7. Granulometría para el agregado fino para pavimentos rígido.....	23
Tabla 8. Requisitos del agregado para pavimento rígido.....	24
Tabla 9. Requisitos del agregado grueso para pavimento rígido	25
Tabla 10. Cuadro de resumen de calicatas	50
Tabla 11. Perfil estratigráfico en la progresiva 0 + 000,00.....	51
Tabla 12. Perfil estratigráfico en la progresiva 0 + 400,00.....	52
Tabla 13. Análisis granulométrico calicata 01	52
Tabla 14. Análisis granulométrico calicata 02.....	54
Tabla 15. Límites de Atterberg calicata 01	57
Tabla 16. Límites de Atterberg calicata 02	58
Tabla 17. Peso unitario suelto calicata 01	58
Tabla 18. Peso unitario suelto calicata 02.....	59
Tabla 19. Peso unitario compactado calicata 01	60
Tabla 20. Peso unitario compactado calicata 02	60
Tabla 21. Proctor modificado calicata 01	61
Tabla 22. Proctor modificado calicata 02	62

Tabla 23. Ensayo de CBR de la calicata 01	63
Tabla 24. CBR al 95% y al 100 %	65
Tabla 25. Ensayo de CBR de la calicata 02	66
Tabla 26. CBR al 95% y al 100 %	68
Tabla 27. Contenido de humedad de calicata 01.....	69
Tabla 28. Contenido de humedad de calicata 02.....	69
Tabla 29. Obtención del campo de esfuerzos y deformación vertical	70
Tabla 30. Costo/m ² de pavimento con geocelda	72
Tabla 31. Costo/m ² de pavimento de concreto.....	73
Tabla 32. Costo/m ² de pavimento de asfalto.....	73
Tabla 33. Prueba t de student mejoramiento del pavimento	74
Tabla 34. Prueba t de student ensayos de mecánica de suelos.....	75
Tabla 35. Prueba t de student asentamiento con geocelda.....	76
Tabla 36. Prueba t de student costos del pavimento con geocelda	77

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Zonificación geotécnica de Moquegua.....	3
Figura 2. Sección transversal de un pavimento flexible	13
Figura 3. Sección transversal de un pavimento rígido	13
Figura 4. Signos convencionales para perfil de calicatas.....	15
Figura 5. Signos convencionales para perfil de calicatas – SUCS.....	16
Figura 6. Correlación AASHTO M – 145, SUCS y CBR.....	21
Figura 7. Presiones del neumático sobre el pavimento	26
Figura 8. Determinación del módulo de elasticidad.....	27
Figura 9. Efectos de la placa de carga.....	28
Figura 10. Efectos de la placa de carga.....	29
Figura 11. Efectos de la placa de carga.....	30
Figura 12. Carga distribuida según Boussinesq	30
Figura 13. Distribución de esfuerzos para cargas puntuales según Boussinesq ...	31
Figura 14. Sistema de confinamiento celular	34
Figura 15. Geocelda tridimensional	35
Figura 16. Geocelda tridimensional	36
Figura 17. Comportamiento del pavimento aplicando diamond grid	40
Figura 18. Esfuerzos y deformaciones con y sin refuerzo	41
Figura 19. Ubicación de la zona de estudio	45
Figura 20. Esquema para el análisis e interpretación de resultados.....	48
Figura 21. Ubicación de la zona de estudio	49
Figura 22. Visualización de la calicata 01 durante recojo de muestra	50

Figura 23. Visualización de la calicata 02 durante recojo de la muestra	51
Figura 24. Análisis granulométrico de la calicata 01	53
Figura 25. Curva del análisis granulométrico de la calicata 02	55
Figura 26. Clasificación SUCS calicata 01, 02	56
Figura 27. Clasificación AASHTO calicata 01, 02	56
Figura 28. Diagrama de fluidez calicata 01	57
Figura 29. Diagrama de fluidez calicata 02	58
Figura 30. Clasificación AASHTO calicata 02	62
Figura 31. Clasificación AASHTO de la calicata 02	63
Figura 32. CBR 12 golpes	64
Figura 33. CBR 25 golpes	64
Figura 34. CBR 56 golpes	65
Figura 35. CBR al 95% y al 100%	65
Figura 36. CBR 12 golpes	66
Figura 37. CBR 25 golpes	67
Figura 38. CBR 56 golpes	67
Figura 39. CBR al 95% y al 100%	68
Figura 40. Esfuerzo máximo vertical	71
Figura 41. Deformación unitaria vertical	71
Figura 42. Deformación máxima vertical	72

ÍNDICE DE ECUACIONES

	Pág.
Ecuación 1. Índice de plasticidad.....	18
Ecuación 2. Relación de poisson.....	29
Ecuación 3. Esfuerzo normal	30
Ecuación 4. Esfuerzo vertical.....	31
Ecuación 5. Módulo de elasticidad	32
Ecuación 6. Deflexión máxima vertical	32

ÍNDICE DE APÉNDICES

	Pág.
Apéndice A. Excavación de calicatas sector Biohuerto N° 02.....	89
Apéndice B. Propiedades físicas de la subrasante.....	92
Apéndice C. Propiedades mecánicas de la geocelda tridimensional.....	95
Apéndice D. Estudio de mecánica de suelos calicata 01.....	98
Apéndice E. Estudio de mecánica de suelos calicata 0.....	109
Apéndice F. Diseño de mezcla $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$	120
Apéndice G. Diseño de mezcla $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ con geocelda.....	124
Apéndice H. Resistencia a la compresión a los 7 y 28 días con geocelda.....	126
Apéndice I. Costo del sistema de Diamond Grid.....	128
Apéndice J. Planillas de costos unitarios, pavimento rígido y flexible.....	129

RESUMEN

Debido a las características geotécnicas tan peculiares en la ciudad de Moquegua se puede apreciar suelos arcillosos con un potencial expansivo en tal sentido es de requerimiento aplicar metodologías que permitan el emplazamiento de obras civiles. Por tal razón, en el presente proyecto de investigación se plantearon las siguientes interrogantes ¿Con la aplicación del sistema de geocelda tridimensional se podrá mejorar el pavimento en el sector N° 02 Biohuerto San Antonio - Moquegua? Consecuentemente referido a la problemática se concretó el objetivo general, mejorar el pavimento aplicando el sistema de geocelda tridimensional en el sector N° 02 Biohuerto San Antonio - Moquegua, determinándose el mejoramiento referente a las deformaciones. Para la determinación de las propiedades físicas y mecánicas se utilizó ensayos de laboratorio de mecánicas de suelos, referente a la aplicación de la geocelda tridimensional se empleó mediante el ensayo de placa de carga. El diseño de investigación fue experimental ya que se empleó de manera aplicada, la geocelda tridimensional en el pavimento. Obteniéndose como resultado de la investigación referido a las propiedades físicas y mecánicas del pavimento, una determinación efectiva empleando los ensayos de laboratorio, referido al asentamiento empleando geoceldas, este resultado muy por debajo de los establecido en las normativas y finalmente los costos son mucho menores a los que se emplean en pavimentos tradicionales.

Palabras clave: Geocelda, costos, placa, carga, asentamiento.

ABSTRACT

Due to the peculiar geotechnical characteristics of the city of Moquegua, clayey soils with an expansive potential can be seen in such a way that it is necessary to apply methodologies that allow the placement of civil works. For this reason, in this research project, the following questions were raised with the application of the three-dimensional geocell system, will it be possible to improve the pavement in the sector N° 02 Biohuerto San Antonio - Moquegua? Consequently, the general objective of improving the pavement by applying the three-dimensional geocell system in sector No. 02 Biohuerto San Antonio - Moquegua was determined, determining the improvement in terms of deformations. For the determination of the physical and mechanical properties, soil mechanics laboratory tests were used, regarding the application of the three-dimensional geocell, a load plate test was used. The research design was experimental since the three-dimensional geocell was used in an applied manner in the pavement. As a result of the research, the physical and mechanical properties of the pavement were effectively determined using laboratory tests. The settlement using geocells was much lower than those established in the regulations, and finally, the costs were much lower than those used in traditional pavements.

Keywords: Geocell, costs, slab, load, settlement.

INTRODUCCIÓN

Como factor primordial para el desarrollo integral socioeconómico de un país, viene a ser la implementación de vías de comunicación. Aun así, es necesario considerar que las que actualmente son diseñadas presentan fallas en el pavimento, debido principalmente por su insuficiente resistencia estructural, esto es debido a los materiales que son parte de las capas granulares, las condiciones medioambientales y las características del lugar del suelo o terreno de fundación (Meyer, 2009).

En el distrito de San Antonio, y de manera específica en la zona N° 02 Biohuerto, presente la formación denominada “Moquegua Inferior” o conocido típicamente como “Moro Moro”, ya que es un material arcilloso expansivo, antes la presencia de humedad acompleja la implementación de vías y de edificaciones. (Núñez y Juvenal, 2004).

Por tal razón la presente investigación titulada: Mejoramiento del pavimento aplicando el sistema de geocelda tridimensional en el sector N° 02 Biohuerto San Antonio - Moquegua. Buscando generar un mejoramiento positivo en el pavimento mediante la aplicación del sistema de geocelda tridimensional. En tal virtud se precisa delimitar la problemática general: ¿Con la aplicación del sistema de geocelda tridimensional se podrá mejorar el pavimento en el sector N° 02 Biohuerto San Antonio - Moquegua? Consecuente a ello se planteó el objetivo general: Mejorar el pavimento aplicando el sistema de geocelda tridimensional en el sector N°02 Bio Huerto San Antonio - Moquegua. Así como también los objetivos específicos: Primero, determinar las propiedades físicas y mecánicas del pavimento mediante ensayos de laboratorio del sector N° 02 Biohuerto San Antonio-Moquegua. Segundo, determinar el asentamiento del pavimento aplicando

el sistema de geocelda tridimensional en el sector N° 02 San Antonio - Moquegua. Tercero, determinar el asentamiento del pavimento aplicando el sistema de geocelda tridimensional en el sector N°02 San Antonio - Moquegua. Finalmente se validó la hipótesis general: Si se aplica el sistema de geocelda tridimensional mejorará el pavimento en el sector N° 02 Biohuerto San Antonio - Moquegua.

Apreciándose que en la ciudad se presenta fallas estructurales en los pavimentos es razón por la cual la presente investigación plantea la justificación: Debido a que en la ciudad de Moquegua en gran parte los suelos presentan restricciones geotécnicas, razón por la cual su reemplazo total es necesario, por ello es necesario genera una solución efectiva que eviten fallas en los pavimentos. En tal motivo se propone como una alternativa viable de solución, el empleo de geosintéticos, los cuales son en forma de celdas tridimensionales, verificando que estas brindan confinamiento, generando mayor rigidez y reducen deformaciones.

La tesis desarrolla un tipo de investigación cuantitativa. El diseño empleado en la investigación: se contempla como experimental, desarrollándose la evaluación experimental de utilizar la geocelda tridimensional en un pavimento. La población de estudio estuvo conformada por las calles pertenecientes a la zona del sector N° 02 Biohuerto San Antonio – Moquegua. En tal razón la investigación plantea una muestra no probabilística: por conveniencia, debido a la coyuntura que se desarrolla a nivel mundial COVID - 19 desde el año 2020. Obteniéndose con ello como muestra representativa por conveniencia el Biohuerto N° 02 San Antonio – Moquegua. Se describe que los instrumentos de recolección de datos, fue el análisis documental de manera inicial, posteriormente una investigación de campo para verificar la aplicación y la deflexión de las geoceldas tridimensionales en

pavimentos. Por tanto, los instrumentos de recolección de datos fueron los formatos del laboratorio

En tal razón el presente trabajo de investigación se compone en cinco capítulos. Para el capítulo I, se aprecia el problema de investigación, así como la descripción de la realidad problemática en la presente investigación, la problemática, objetivos desarrollados para la investigación, justificación y relevancia de investigación, variables, operacionalización de variables, finalmente las hipótesis en la investigación; el capítulo II, se muestra el marco teórico, compuesto por antecedentes de la investigación, las bases teóricas, y el marco conceptual; el capítulo III desarrolla la metodología de investigación, desarrollado por la tipología de investigación, diseño de investigación, población y muestra, técnicas e instrumentos de recolección de datos, técnicas de procesamiento y análisis de datos; el capítulo IV se expone lo obtenido luego de realizar la aplicación experimental de las geoceldas tridimensionales a las propiedades físicas, mecánicas y de costos del pavimento, se desarrolla también la validación de las hipótesis de investigación, finalmente se expone la discusión de resultados obtenidos; el capítulo V brinda explícitamente las conclusiones obtenidas en la investigación así como, recomendaciones para futuras investigaciones.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. Descripción de la realidad del problema

Como principal pilar para un progreso socio – económico referido a un determinado país son sus carreteras. Según la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) alrededor del 20 % de las fallas del pavimento se deben a una resistencia estructural insuficiente considerando lo complejo de los factores intervinientes en el diseño y la posterior ejecución el cual está sujeto a constantes modificaciones ya sea por sus condiciones ambientales, características del lugar y el suelo o terreno de fundación (Meyer, 2009).

En el Perú, existen 3 redes viales: La carreteras a nivel nacional (27 109 km); la red vial departamental (27 505 km), red vial regionales, vecinal (113 857 km). Según cifras del Ministerio de transportes y comunicaciones, el porcentaje de red vial nacional pavimentada pasó del 59,9 % en 2012 al 79,1 % para el año 2018.

Aun así, la disposición no es equiparado con la red departamental que, compone 3623 km, alcanzando un 13,2 % de vías pavimentadas en 2018 para el año 2019, económicamente la inversión en el mantenimiento vial se vio incrementado a S/ 1987 millones, representando el 95,7 % del presupuesto destinado y un 26,9 % más considerando el año pasado. Apreciando vías departamentales, el gasto a nivel

regional fue de S/ 138 millones, un 72,4 % del PIM y un 44,3 % menos que en 2018. Cuantificando estas cifras brindan alarmantes gastos referido al mantenimiento vial departamental (Comex Perú, 2020).

A nivel local según Núñez y Juvenal (2004) en la región de Moquegua se presentan una variabilidad de suelos distribuidos en diferentes zonas.

Tabla 1

Características del suelo de Moquegua

Zona	Ubicación	Descripción
I	Centro poblado de los Ángeles	Gravas con Matriz Arenosa Limosa
II	Chen Chen (Pampas)	Grava con Matriz Limosa
IIIA	San Antonio (Llano)	Arcillas limosas con potencial expansivo
IIIB	San Antonio (Cerro)	Arcilla limosa con alto potencial expansivo
IV	San Francisco	Rellenos, suelos finos, pendiente mayor grado

Fuente: Núñez y Juvenal, 2004

Dentro de esta diversidad de suelos son definidos como de difícil manejo y que dan mayor problemática, aquellos que son evaluados como de baja resistencia y expansividad lo que origina problemáticas al momento de realizar obras civiles el cual se manifestará posteriormente en la estructura del pavimento (Núñez y Juvenal, 2004).

En San Antonio de manera específica en la zona N° 02 Biohuerto no son la excepción a estos problemas, presentan una formación llamada: “Moquegua Inferior” o conocida también como “Moro” este material arcilloso expansivo con humedad considerable en la fundación, complica la estabilización, el cual puede generar cambios en la estructura del pavimento como las deflexiones y/o asentamientos incrementando el costo del pavimento (Núñez y Juvenal, 2004).

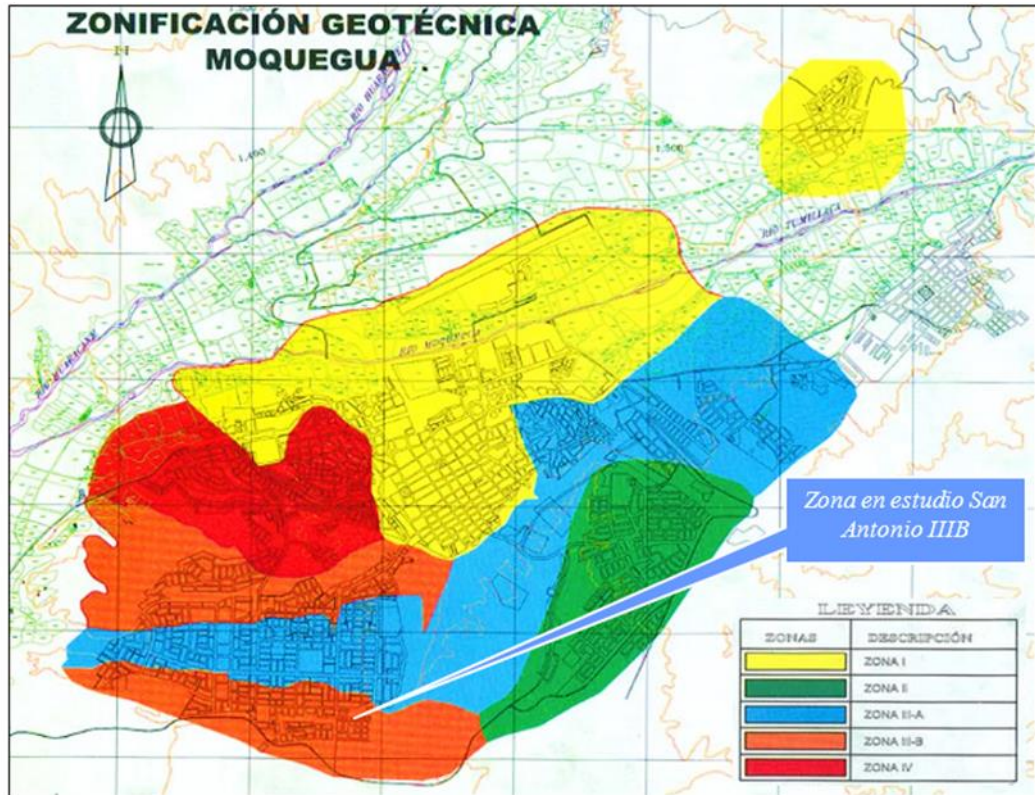


Figura 1. Zonificación geotécnica de Moquegua

Fuente: Núñez y Juvenal, 2004

Debido a estas características que poseen los suelos han llevado a los profesionales a investigar y experimentar técnicas innovadoras, mediante la utilización de nuevos materiales de refuerzo que mejoren la estructura global del pavimento y se ajusten a los requerimientos estructurales, técnicos, y económicos; en la actualidad los ensayos han arrojado resultados satisfactorios, uno de ellos es la denominada geocelda tridimensional.

1.2. Definición del problema

1.2.1. Problema general.

¿Con la aplicación del sistema de geocelda tridimensional se podrá mejorar el pavimento en el sector N° 02 Biohuerto San Antonio - Moquegua?

1.2.2. Problemas específicos.

- ¿Cuáles son las propiedades físicas y mecánicas del pavimento del sector N° 02 Biohuerto San Antonio - Moquegua?
- ¿Con la aplicación del sistema de geocelda tridimensional será posible reducir el asentamiento del pavimento en el sector N° 02 Biohuerto San Antonio - Moquegua?
- ¿Es posible reducir el costo del pavimento utilizando el sistema de geocelda tridimensional en el sector N° 02 Biohuerto San Antonio - Moquegua?

1.3. Objetivos de la investigación

1.3.1. Objetivo general.

Mejorar el pavimento aplicando el sistema de geocelda tridimensional en el sector N° 02 Biohuerto San Antonio - Moquegua.

1.3.2. Objetivos específicos.

- Determinar las propiedades físicas y mecánicas del pavimento mediante ensayos de laboratorio del sector N° 02 Biohuerto San Antonio - Moquegua.
- Determinar el asentamiento del pavimento aplicando el sistema de geocelda tridimensional en el sector N° 02 Biohuerto San Antonio - Moquegua.
- Demostrar si se reduce costos utilizando el sistema de geocelda tridimensional en el sector N° 02 Biohuerto San Antonio - Moquegua.

1.4. Justificación

1.4.1. Justificación teórica.

Referente a la propuesta de mejoramiento del pavimento aplicando el sistema de geocelda tridimensional surge de la necesidad de implementar una tecnología que

sea viable económica, y reduzca los asentamientos sin afectar la capacidad estructural del pavimento.

En por ello que según Núñez y Juvenal (2004) da a conocer que en la ciudad de Moquegua la mayor parte de los suelos presentan restricciones geotécnicas por su tipo de suelo, las vías en la zona N° 02 Biohuerto no son la excepción a estas restricciones razón por lo que su reemplazo se convierte en su mayor problema, es por ello por lo que constantemente se está haciendo una búsqueda para una solución que evite las fallas prematuras en los pavimentos.

1.4.2. Justificación práctica.

Como una alternativa de solución se propone la utilización de una geocelda que es un tipo de geosintéticos fabricados en forma de celdas tridimensionales interconectadas, el cual se puede utilizar como refuerzo para mejorar la estructura del pavimento proporcionando confinamiento lateral para aumentar su rigidez, resistencia y reducir la deformación y/o asentamiento (Pokharel, Han, Leshchinsky, Parson y Halahmi, 2010).

1.4.3. Justificación económica.

El empleo de este geosintético afecta de manera directa en el aspecto económico ya que, ya que reduce el espesor del estructural del pavimento lo cual significa ahorros de inversión y tiempos de ejecución (Lázaro y Telles, 2018).

1.4.4. Justificación metodológica.

Este estudio que corresponde a la investigación experimental, debido a que se realizan en campo en una situación real, se caracteriza por la manipulación de la variable independiente mejoramiento de pavimento mediante la aplicación de la geocelda tridimensional en el pavimento.

1.5. Alcances y limitaciones

1.5.1. Alcances.

- La presente investigación abarca de manera integral únicamente la zona N° 02 Biohuerto San Antonio - Moquegua.
- Se dio a conocer la aplicación de la geocelda tridimensional en la reducción de la deflexión del pavimento rígido.

1.5.2. Limitaciones.

- Inexistencia de datos concretos y fehacientes referidos a los geo sintéticos.
- La investigación no contempla el desarrollo y abordaje de estudios de tránsito vial.
- Los cronogramas establecidos, resultaran variables, por motivos de tiempo de ejecución y factores referidos a disponibilidad.
- El precio contemplado en la investigación considerara variaciones apreciando los requerimientos que se presente en el desarrollo de esta.
- Es muy precario el conocimiento temático referido a geoceldas y su aplicación en estructuras viales del Perú.
- Es inexistente las investigaciones de geocelda tridimensional en la ciudad de san Antonio - Moquegua aplicado hacia el pavimento rígido.

1.6. Variables

1.6.1. Identificación de variables.

Variable independiente : Geocelda tridimensional

Variable dependiente : Mejoramiento del pavimento

1.6.2. Operacionalización de variables.

A continuación en la tabla 2 se da a conocer la operacionalización de variables considerado en la investigación.

Tabla 2

Operacionalización de variables

Tipo de variable	Variable	Dimensiones	Indicadores	Tipo Investigación
Independiente	Geocelda tridimensional	Asentamiento	Placa de carga	Experimental
		Deflexión	Placa de carga	
		Reducción de costo de ejecución	Costos finales	
Dependiente	Mejoramiento del pavimento	Propiedades físicas y mecánicas	Ensayos de laboratorio	Experimental
		Reducción del asentamiento	Deformímetro	
		Resistencia	CBR	

1.7. Hipótesis de la investigación

1.7.1. Hipótesis general.

Si se aplica el sistema de geocelda tridimensional mejorará el pavimento en el sector N° 02 Biohuerto San Antonio - Moquegua.

1.7.2. Hipótesis derivadas.

- Los estudios y ensayos de laboratorio caracterizarían efectivamente las propiedades físicas y mecánicas del pavimento del sector N° 02 Biohuerto San Antonio - Moquegua.
- Se reducirá el asentamiento del pavimento aplicando el sistema de geocelda tridimensional en el sector N°02 Biohuerto San Antonio - Moquegua.
- La aplicación del sistema de geocelda tridimensional reducirá los costos del pavimento en el sector N°02 Biohuerto San Antonio - Moquegua.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

2.1.1. Antecedentes internacionales.

Babu y Jigisha (2017) en su artículo: Análisis de pavimento flexible utilizando geocelda, estudio de caso comparativo. Se enfoca en el tema del fortalecimiento del limo de suelo de alta plasticidad (MH) disponible en las cercanías de la carretera nacional 8, la estación de ferrocarril Bhilad, la escuela Swaminarayan y el GIDC de Vapi, región de Gujarat, para ser utilizado como material de subgrado utilizando SW 330 geocelda como refuerzo. La prueba de CBR se llevó a cabo con SW 330 geocelda y sin geocelda tanto en condiciones no remojadas como remojadas de suelo tipo MH para identificar los efectos del sistema de refuerzo de geocelda SW 330. El uso de SW 330 geoceldas aumentó el valor CBR y ayudó a disminuir el grosor de la capa bituminosa densa del pavimento flexible de 780 mm a 600 mm en el análisis de diseño. El uso de geoceldas SW 330 también podría aumentar la estabilidad de las carreteras y mejorar su rendimiento al mejorar la capacidad de carga del suelo. Se realizó la investigación para hacer un estudio comparativo para diseñar el pavimento flexible convencional y el tipo de pavimento flexible reforzado con geocelda strata SW 330 geocelda.

Tavakoli y Karimi (2018) en su artículo indica que los estudios existentes confirmaron que la respuesta de los lechos reforzados con geoceldas se ven directamente afectada por factores contribuyentes, incluidos los granos del suelo, las características de las geoceldas y las geometrías de carga de la superficie. En este artículo, conllevó pruebas de carga de placas para comprender mejor el comportamiento del suelo reforzado con geoceldas. Las variables consideradas fueron cuatro tamaños de granos de suelo diferentes, dos tamaños de apertura de geoceldas diferentes y tres tamaños de placa de carga diferentes. Durante las pruebas, se registraron la carga aplicada y los asentamientos de la superficie del suelo para evaluar la respuesta de los sistemas. Como se esperaba, el suelo reforzado con geoceldas exhibió una mayor capacidad de carga que el estado no reforzado, hasta un 524 %. Los resultados se centraron además en el importante papel del efecto de escala en la respuesta de los cimientos reforzados. El tamaño de celda nominal óptimo de las geoceldas se obtuvo aproximadamente 15 veces el tamaño de grano medio del suelo. Además, se encontró que, para obtener los mayores beneficios de refuerzo, la zapata. El ancho debe estar en el rango de 13 a 27 (20 en promedio) veces del tamaño de grano medio del relleno. Finalmente, para proporcionar un relleno reforzado con geoceldas más estable y confiable, se recomienda que el tamaño de las geoceldas sea seleccionada menor que 0,67 veces el ancho de la zapata.

Martín (2017) en su tesis: Desempeño estructural de un sistema de confinamiento celular como alternativa de mejoramiento de suelos. Realizó un análisis del comportamiento a nivel mecánico de la subrasante, incorporando geocelda en la estructura que lo compone. Experimentalmente desarrollo conformar

una subrasante que fuera sometido a solicitaciones estáticas; para procesar la información obtenida, y su posterior análisis. Como principal resultado ante solicitaciones estáticas y cíclicas, se registran desplazamientos en la subrasante blanda, siendo estos muchos menores cuando se coloca geocelda, por tanto, en todos los casos se reducen porcentualmente al 80 % en solicitaciones estáticas de 5 KN, y porcentualmente del 2 % a 5 %. Concluyéndose que existe una mejora en el comportamiento ante solicitaciones mecánicas, menguando los desplazamientos del material, cuando se considera geocelda en la capa estructural.

Cañón (2018). en su tesis: Beneficios técnicos y económicos en el uso de geoceldas en estructura de pavimentos frente a los sistemas tradicionales. El trabajo de investigación refirió, la realización de un análisis comparativo del pavimento convencional y empleando el confinamiento del tipo celular (geoceldas). Abarcó el comparar presupuestos, programaciones, ventajas y costo – beneficio. Resultando en una mayor rentabilidad hacia el ámbito constructivo aplicando tecnologías en geosintéticos (geoceldas), sostenido bajo un ámbito comparativo (presupuesto y cronograma) siendo un total de \$ 3,875905430 el cual fue de obra mejoramiento vial con geoceldas y referido al costo de obra mejoramiento vial de tipo usualmente empleado fue de \$ 4,418.188.148, evidenciándose reducciones económicas del 12% en un mes como tiempo promedio.

2.1.2. Antecedentes nacionales.

Lázaro y Telles (2018) en su tesis: Influencia del sistema diamond grid en el mejoramiento de la resistencia a la compresión en un pavimento en la ciudad de Trujillo 2018. El objetivo fue determinar la influencia del sistema diamond grid en el acrecentamiento a la resistencia a compresión, del pavimento. La investigación

fue experimental, se consideraron 3 tipos de diseño: celdas individuales, compuesta y sin bordes. Los cuales fueron sometidos a ensayos de resistencia a la comprensión y deformación. Al comparar una vía de tránsito reducido y sin el uso del sistema para determinar el beneficio económico. Se concluye que empleando el diamond grid, se incrementa cuantitativamente las características del suelo además de brindar una rentabilidad superior, verificándose una disminución del 19% en costos considerando un pavimento flexible. (deflexión y resistencia a la compresión)

Chávez y Fernández (2019) en su tesis: Mejora de la productividad en la instalación de un pavimento de capa de rodadura compuesta por geocelda y grava con el uso de suelo-cemento y herramientas. Para mejorar la pavimentación en la selva peruana se planteó la utilización del sistema de geoceldas o enrejillado, ya que esta se encarga de estabilizar el terreno por su alta resistencia de confinamiento de cargas y a la vez permite el drenaje del agua de lluvia sin apreciar desgaste en su superficie. En la investigación se realizó 3 tipos de ensayos de pavimentación con geocelda grava, relleno, material bituminoso y relleno con concreto. Fueron evaluados para establecer cuál sería el idóneo para la tipología del suelo y condición climática, la investigación evidenció menor demanda de mano de obra en la capa de rodadura, a través de indicadores de productividad y el control de plazos establecidos.

Santisteban (2019) en la investigación titulada: Evaluación de la estructura de pavimento flexible con la aplicación de geoceldas. Cuya investigación se realizó en la ciudad de Huaura – Huaura – Lima, 2019”, su objetivo principal fue: Determinar el beneficio de la aplicación de geoceldas en la estructura de pavimento flexible. Para ello se ha realizado calicatas y se extrajeron muestras de suelos,

adicionalmente se realizó el estudio de tráfico en el km: 0 + 300, se consideró también muestras de material granular para base de la cantera “Acaray”, para la determinación la reducción del asentamiento se realizó un ensayo con equipos de placa carga comparando sin y con geoceldas de 150 mm de altura, para la determinación costos de inversiones diseños de pavimento, cálculos mediante análisis de precios unitarios, planilla de sustentación de metrados, realización de cortes y rellenos mediante un software AutoCAD Civil 3D se llegó a la conclusión, empleando las geoceldas en la estructura de pavimento flexible, se acrecentó el CBR de 19,8 % a un 58,2 % de M.D.S. a 0,2” (95), disminuyendo el asentamiento de la estructura de pavimento al 28,09 %, por lo cual la conservación del pavimento a un largo plazo será menor si se aplica un adecuado monitoreo, disminuyendo costos de inversión al 8,23 %.

2.2. Marco teórico

2.2.1. Pavimentos.

2.2.1.1. Definición.

De acuerdo con el manual de carreteras, un pavimento es una determinada estructura compuesta por diversas capas como lo son la base, la subbase y la carpeta de rodadura para soportar esfuerzos ocasionas por los automóviles, es por ello necesario el mejorar las condiciones referido a la seguridad y brindar comodidad idónea hacia el tránsito (MTC, 2014).

Para demostrar la buena calidad de los materiales que compone el pavimento se debe realizar diversos ensayos de laboratorio a los agregados para que se demuestre las propiedades y/o características físicas y mecánicas (MTC, 2014).

2.2.1.2. Tipos de pavimentos.

a. Pavimentos flexibles.

También conocido como pavimento asfáltico, es un sistema estructural formado por capas granulares; subrasante, subbase, base y la carpeta asfáltica (véase figura 2), construida con material bituminoso. No obstante, es posible omitir las capas dependiendo la calidad de la subrasante (MTC, 2014).



Figura 2. Sección transversal de un pavimento flexible

Fuente: Giordani y Leone, 2015

b. Pavimento rígido.

Compuestos de una capa de concreto y se apoya por capas de subbase granular según MTC (2014) estos pueden ser de base granular, materiales asfálticos o cal, y una capa de rodadura de losa de concreto de cemento hidráulico como aglomerantes, agregados y de ser el caso aditivos (véase figura 3).

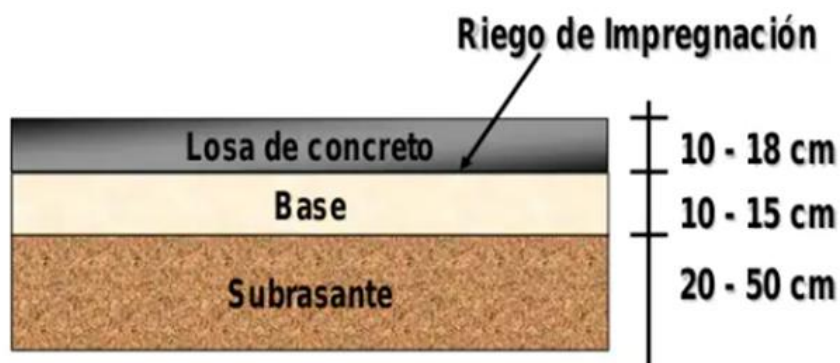


Figura 3. Sección transversal de un pavimento rígido

Fuente: Giordani y Leone, 2015

c. Pavimento semirrígido.

Son aquellos pavimentos compuestos principalmente por capas asfálticas (carpeta asfáltica en caliente sobre base tratada con asfalto); también se considera a estructuras semirrígidas a bases tratadas con material cementante, base tratada con cal, bajo esta tipología se incluye aquellos pavimentos adoquinados (Ministerio de Economía y Finanzas, 2015).

2.2.1.3. Elementos estructurales del pavimento.

Principalmente el pavimento está compuesto por los siguientes elementos: Capa base, subbase y capa de rodadura (MTC, 2014).

a. Capa de Rodadura.

Es la parte superficial del pavimento que está compuesto principalmente por material bituminoso o del tipo rígido, el objetivo es la de sostener el tránsito idóneamente (MTC, 2014).

b. Base.

Es referido a la capa de la parte inferior, el cual tiene como objetivo la distribución, el sostenimiento y la transmisión de cargas provistas por la carga vehicular, está compuesto por un material del tipo granular ($CBR \geq 80 \%$) (MTC, 2014).

c. Subbase.

Resulta ser una capa granular con espesor definido bajo diseño, este soporta la base y carpeta asfáltica. Empleado mayormente como drenaje y para el control de capilaridad ($CBR \geq 80 \%$) tratada con asfalto, cal o cemento (MTC, 2014).

2.2.1.4. Propiedades físicas y mecánicas del suelo.

Según el MTC (2014) los factores primordiales para un adecuado diseño de pavimento son:

a. *Estudio de suelos.*

Los parámetros más importantes para la construcción de una vía es conocer las propiedades mecánicas y físicas que se posee el suelo, debido a que es un factor importante para el tránsito que va a soportar la carretera (MTC, 2014).

Para la obtención de información geotécnica se efectúan investigaciones de campo y laboratorio (Escarraga y Mejía, 2019).

b. *Descripción de los suelos.*

Los tipos de suelos encontrados a explorar serán clasificados bajos dos sistemas obligatoriamente AASHTO y SUCS, se utilizan signos convencionales (MTC, 2014)

Podemos observar en las figuras 4 y 5 los signos usuales a utilizar para la clasificación por AASHTO y SUCS, que serán utilizados en la clasificación de los suelos que encontramos en la subrasante del área de estudio (MTC, 2014).

Simbología	Clasificación	Simbología	Clasificación
	A-1-a		A-5
	A-1-b		A-6
	A-3		A-7-5
	A-2-4		A-7-6
	A-2-5		MATERIA ORGANICA
	A-2-6		ROCA SANA
	A-2-7		ROCA DESINTEGRADA

Figura 4. Signos convencionales para perfil de calicatas

Fuente: AASHTO, 1993

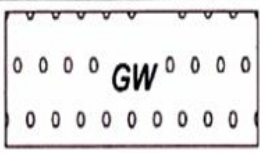
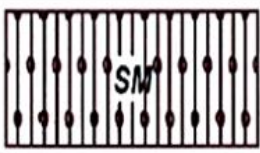

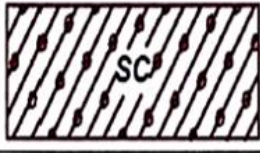


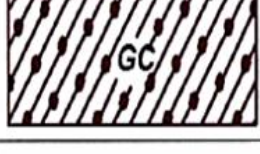
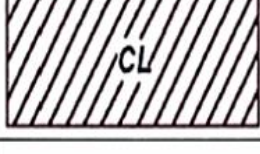



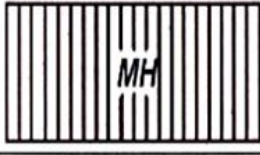


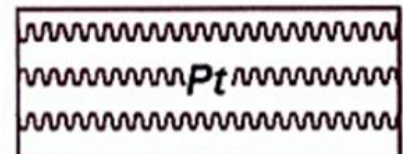
	Grava bien graduada mezcla, grava con poco o nada de materia fino, variación en tamaños granulares		Materiales finos sin plasticidad o con plasticidad muy bajo
	Grava mal granulada, mezcla de arena-grava con poco o nada de material fino		Arena arcillosa, mezcla de arena-arcillosa
	Grava limosa, mezcla de grava, arena limosa		Limo orgánico y arena muy fina, polvo de roca, arena fina limosa o arcillosa o limo arcilloso con ligera plasticidad
	Grava arcillosa, mezcla de grava-arena-arcilla; grava con material fino cantidad apreciable de material fino		Limo orgánico de plasticidad baja o mediana, arcilla grava, arcilla arenosa, arena limosa, arcilla magra
	Arena bien graduada, arena con grava, poco o nada de material fino. Arena limpia poco o nada de material fino, amplia variación en tamaños granulares y cantidades de partículas en tamaños intermedios		Limo orgánico y arcilla limosa orgánica, baja plasticidad
	Arena mal graduada con grava poco o nada de material fino. Un tamaño predominante o una serie de tamaños con ausencia de partículas intermedias		Limo inorgánico, suelo fino gravoso o limoso, micacea o diatometacea, limo elástico
	Arcilla inorgánica de elevada plasticidad, arcilla gravosa		
	Arcilla orgánicas de mediana o elevada plasticidad, limo orgánico		
	Turba, suelo considerablemente orgánico		

Figura 5. Signos convencionales para perfil de calicatas – SUCS

Fuente: MTC, 2014

c. *Granulometría.*

Según especificaciones técnicas de ensayos (MTC M 107) la granulometría determinara la distribución que posee el agregado mediante el tamizado a partir del cual se puede estimar con mayor o menor aproximación, las demás propiedades que pudieran interesar (MTC, 2016).

El fin del análisis por granulometría es establecer como se proporciona los diversos elementos constituyentes y clasificarlos por su tamaño y su función (MTC, 2014).

Tabla 3

Clasificación de suelos según tamaño

Tipo de material	Tamaño de las partículas
Grava	75 mm – 4,75 mm
	Gruesa: 4,75 mm – 2,00 mm
Arena	Gruesa: 2,00 mm – 0,425 mm
	Gruesa: 4,75 mm – 0,075 mm
Material fino	Limo 0,075 mm – 0,005 mm
	Arcilla Menor a 0,005

Fuente: MTC, 2014

d. *Plasticidad.*

Esta propiedad se utiliza para describir a los suelos con cierto límite de humedad sin separarse, por ende, lo plástico de un suelo, dependerá principalmente de sus elementos más finos (MTC, 2014).

Granulométricamente no es posible apreciar esta característica de fineza por lo que es necesario determinar los límites de consistencia (MTC, 2014).

Los límites de Atterberg establecen las características del comportamiento de los suelos finos en relación con su contenido de humedad (agua), definiéndolos

en 3 estados de consistencia según su humedad (líquido, plástico y sólido), estos límites cuantifican la cohesión del suelo, límite líquido (LL) según MTC EM 110, límite plástico (LP) según MTC EM 111 y límite de contracción (LC) según MTC EM 112 (MTC, 2014).

- Límite líquido (LL) un suelo en estado semilíquido cambia a semisólido a plástico y se moldea
- Límite plástico (LP) el suelo en estado plástico se vuelve semisólido y se rompe
- Límite de contracción (retracción) cuando en estado semisólido el suelo cambia aun estado sólido, perdiendo humedad.
- El LL y el LP, es una característica para obtener es el índice de plasticidad IP (véase la ecuación 1) (ensayo MTC EM 111) que se define como la diferencia entre LL y LP (MTC, 2014).

$$IP = LL - LP \dots\dots\dots [Ecuación 1]$$

Empleando el IP (índice de plasticidad) se magnifica como intervalo de unidad del suelo determina la consistencia plástica, clasificándolos adecuadamente un suelo (MTC, 2014).

Por consiguiente, el suelo con relación a su índice de plasticidad puede clasificarse según lo siguiente:

Tabla 4
Clasificación de suelos según índice de plasticidad

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

Fuente: MTC, 2014

Se considerará a un suelo arcilloso, pondrá en riesgo un suelo de subrasante afectando a la estructura del pavimento susceptible al agua (MTC, 2014).

e. Humedad natural.

Cuantificar la humedad natural, permitiendo la comparación de la humedad obtenida en el ensayo Proctor, para la posterior obtención del CBR. Si acaso esta humedad resultara en medida optima o igual a la humedad optima, se propone una compactación del suelo in situ, aportando la cantidad requerida de agua. Si fuera superior a la medida optima, se brindará una mayor energía en la compactación, aireando el suelo y en último recurso reemplazando el material saturado (MTC, 2014).

f. Clasificación de suelos.

Viene a ser la ordenación de diversos suelos, cuyas propiedades son similares, el objetivo es el de proporcionar las propiedades que poseen cada tipo de suelo, ya que ante la existencia de muchas combinaciones, realizar una clasificación de manera universal es poco adecuado de conseguir, en tal razón estas agrupaciones, considerando las propiedades, dependen de la función que se vaya cumplimiento alrededor de los suelos, para ello se emplea un sistema de clasificación, en este caso el AASHTO, agrupando considerando su adaptabilidad en la construcción de pavimentos (Sowers y Sowers, 1972).

La clasificación de los suelos se realizará conforme al tabla 5, esta clasificación permitirá conocer la forma de comportarse de manera aproximada considerando los suelos, contribuye a la delimitación de sectores homogéneos, partiendo de una visualización geotécnica (MTC, 2014).

Por ello se da a conocer las tipologías de clasificación de suelos más utilizadas a nivel mundial AASHTO y ASTM (SUCS):

Tabla 5

Correlación de suelos AASHTO – SUCS

Clasificación de suelos AASHTO M - 145	Clasificación de suelos SUCS ASTM – D - 2487
A – 1 - a	GW, GP, GM, SW, SP, SM
A-1-b	GM, GP, SM, SP
A - 2	GM, GC, SM, SC
A - 3	SP
A - 4	CL, ML
A - 5	ML, MH, CH
A - 6	CL, CH
A - 7	OH, MH, CH

Fuente: MTC, 2014

g. El ensayo CBR.

Este ensayo da a conocer la capacidad de un determinado terreno para resistir las cargas que son aplicadas, verificándose que las máximas fallas en la interacción de carga y máxima presión no genere una fisura por cortante en el suelo, o un asentamiento enorme (Coronado, 2002).

Por tanto, el CBR mide esta resistencia al punzonamiento sobre un suelo, en probetas previamente elaboradas, por el procedimiento del Proctor y posteriormente se compara estos valores, con uno de referencia (Coronado, 2002).

De esta manera se determina la capacidad portante del terreno, considerando un valor de la densidad húmeda. Expresado en un índice y en un porcentaje de valor referencial. Si se verifica un alto porcentaje e índice la capacidad es mayor en el suelo (Coronado, 2002).

En la figura 6 se da conocer la clasificación AASHTO M-145 y la correlación con SUCS (ASTM D 2487) así como también la capacidad portante CBR (Coronado, 2002).

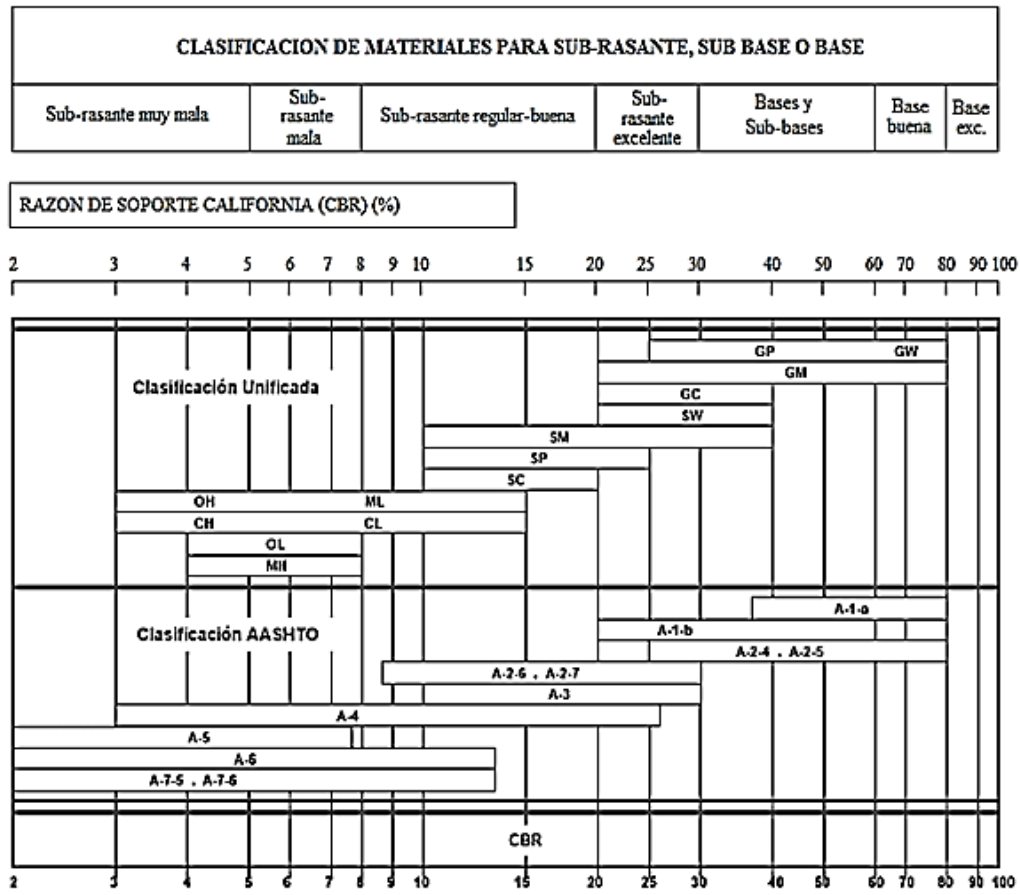


Figura 6. Correlación AASHTO M – 145, SUCS y CBR

Fuente: SIECA, 2002

2.2.1.5. Propiedades físicas y mecánicas del suelo.

a. Cemento.

Según la norma MTC (2014) el cemento a utilizar será del tipo Portland, cuya marca es aprobada de manera oficial para su empleo. Si acaso las especificaciones técnicas del proyecto señalaran alguna diferencia, para emplear el tipo de cemento, se tomará el denominado tipo I.

Por lo tanto, emplear un cemento endurecido no será permitido ya que no conservará su propiedad lo cual afectará su utilidad y posteriormente su calidad (MTC, 2014).

b. Agua.

El agua es un componente esencial en la elaboración del concreto el cual está afín con la resistencia y la trabajabilidad de las propiedades del concreto. Asimismo, obliga que, el agua empleada en la elaboración de concreto deberá ser limpia y estar libre de componentes perjudiciales como son, aceites, ácidos, álcalis sales, materiales orgánicos y aquellas sustancias que produzcan efectos nocivos al concreto endurecido o al acero de refuerzo (Abanto, 1995).

El agua empleada en la producción de concreto, satisfaciendo los requerimientos de la norma NTP 339.088 y ASTM C 109M siendo referentes principales para la aptitud del agua potable (Abanto, 1995).

Si se emplean fuentes desconocidas para el agua, esta deberá calificar mediante ensayos su aptitud para su empleo. Según lo indicado en la subsección 420.02(c) (MTC, 2014).

Tabla 6

Limites químicos opcionales para el mezclado

Contaminante	Limite ppm	Método de ensayos
Cloruro como Cl	-	-
En concreto pretensado, tableros de puentes, o designados de otra manera	500 ^B	NTP 339.076
Otros concretos reforzados en ambiente húmedos o que contengan aluminio embebido, o metales diversos, o con formas galvanizadas permanentes	1000 ^B	NTP 339.076
Sulfatos como SO	3000	NTP 339.074
Álcalis como Na ₂ O + 0.658 K ₂ O	600	ASTM C 114
Sólidos totales por masa	50000	ASTM C 1603

Fuente: MTC, 2014

c. *Agregado fino.*

Considerado como aquel que pase el tamiz de 4,75 mm (N° 4). Proveniente de arenas naturales, rocas trituradas, gravas, escorias siderúrgicas o algún producto que resulte apto bajo las consideraciones técnicas del proyecto, este no constituye más del 30% de la masa del agregado fino (MTC, 2014).

El agregado fino deberá cumplir los requerimientos granulométricos señalados en la tabla 7.

Tabla 7

Granulometría para el agregado fino para pavimentos rígido

Tamiz		Porcentaje que Pasa
Normal	Alternativo	
9.5 mm	3/8	100
4.75 mm	N° 4	95 -100
2.63 mm	N° 8	80 -100
1.18 mm	N° 16	50 -85
600 µm	N° 30	25 -60
300 µm	N° 50	10 - 30
150 µm	N° 100	2 - 10

Fuente: MTC, 2014

Asimismo, la gradación, empleada por el diseño de mezcla, no deberá de presentar más de 45 % en el material retenido, referido a los tamices consecutivos, con un módulo de finura entre 2,3 y 3,1 (MTC, 2014).

Si acaso el módulo de finura varía en dos décimas con referencia al obtenido en la gradación de diseño, este se ajustará, hasta coincidir con el diseño de mezcla (MTC, 2014).

Se cumplirá que este agregado fino, este acorde a los estándares de calidad, brindados en la tabla 8. Si acaso no cumpliera estos estándares, con referencia al

material orgánico, se podrá admitir siempre que no tenga un efecto predominante en la resistencia final del mortero, el cual fue calculado con el procedimiento técnico descrito en la NTP 400.013, ASTM C 87 (MTC, 2014).

Tabla 8

Requisitos del agregado fino para pavimentos rígido

Ensayo		Norma MTC	Norma NTP	Requisito
Durabilidad	Perdida en ensayo de solidez en sulfatos, % máximo 3000 msnm	Sulfato de Sodio	MTC E 207 NTP 400.016	10
		Sulfato de magnesio	MTC E 209 NTP 400.016	15
	Índice de plasticidad, % máximo		MTC E 111 NTP 339.129	No plástico
Limpieza	Equivalente de arena, % mínimo	$f_c \leq 21 \text{MPa}$	MTC E 114 NTP 339.146	65
		$f_c > 21 \text{MPa}$	MTC E 114 NTP 339.146	75
	Terrones de arcilla y partículas deleznable, % máximo		MTC E 212 NTP 400.015	3
	Carbón y lignito, % máximo		MTC E 211 NTP 400.023	0.5
	Material que pasa el tamiz de 75 μm (N° 200), % máximo		MTC E 202 NTP 400.018	3
	Caract. químicas	Contenido de sulfatos, expreso como SO_4 , máximo (%)		- NTP 400.042
Contenido de cloruro, expreso como CL, máximo (%)		- NTP 400.042	0.1	
Absorción	Absorción de agua, % máximo		MTC E 205 NTP 400.022	4

Fuente: MTC, 2014

d. Agregado grueso.

Se considera como tal, la porción del agregado retenida en el tamiz de 4,75 mm. Dicho agregado deberá proceder fundamentalmente de la trituración de roca o de grava o por una combinación de ambas; sus fragmentos deberán ser limpios, resistentes y durables, sin exceso de partículas planas, alargadas, blandas o desintegrables. Se permitirá la utilización de agregado grueso proveniente de escorias de alto horno Su gradación se deberá ajustar a alguna de las señaladas en la tabla 8, siempre que el tamaño máximo nominal sea mayor de 25 mm (1”), el

agregado grueso se deberá suministrar en las dos fracciones que indica la tabla 9 (MTC, 2014).

La curva granulométrica obtenida al mezclar los agregados grueso y fino en el diseño y construcción del concreto deberá ser continua y asemejarse a las teóricas obtenidas al aplicar las fórmulas de Fuller (MTC, 2014).

Tabla 9

Requisitos del agregado grueso para pavimento rígido

Ensayo		Norma MTC	Norma NTP	Requisito	
Dureza	Desgaste en la máquina de los Ángeles	MTC E 207	NTP 400.019 NTP 400.020	40	
Durabilidad	Perdidas en ensayo de solidez en sulfato, % ≥ 3000 msnm	Sulfato de Sodio	MTC E 209	NTP 400.016	12
		Sulfato de Magnesio	MTC E 209	NTP 400.016	18
Limpieza	Terrones de arcillas y partículas deleznable	MTC E 212	NTP 400.015	3	
	Carbón y lignito, % máximo	MTC E 211	NTP 400.023	0.5	
Geometría	Partículas fracturas mecánicamente (una cara), % mínimo	MTC E 210	D - 5821(*)	60	
	Partículas chatas y alargadas	-	NTP 400.040	15	
Químico	contenido de sulfatos, expresado como SO_4	-	NTP 400.042	1	
	Contenido de cloruro, expreso como CL	-	NTP 400.042	0.1	

Fuente: MTC, 2014

2.2.1.6. Esfuerzos y deformaciones en el pavimento.

Según Coria, Hernández y Garnica (2018) cuando la estructura del pavimento es sometida a cargas, esta se flexiona originando esfuerzos y deformaciones están en función a la tipología de carga aplicada y a la configuración de los ejes. Según García (2017) las deformaciones producen desplazamientos en sentido vertical en magnitudes de centésimas o milésimas de milímetros (deflexión) (véase figura 7).

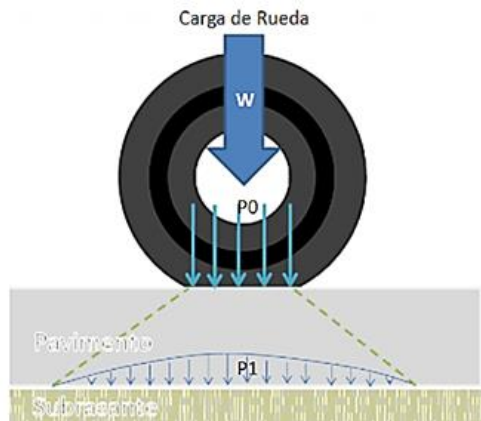


Figura 7. Presiones del neumático sobre el pavimento

Fuente: García, 2017

Existen diversos modelos que, empleados en la fase de diseño de un pavimento, dentro de ellos se presentan los siguientes:

a. *Esfuerzos y deformaciones verticales.*

Según Coria, Hernández y Garnica (2018) las cargas de un neumático originan los esfuerzos verticales (compresión). Estas respuestas provocan un esfuerzo de compresión en los materiales que lo componen, ocasionando con ello surcos y patologías en la parte superficial del pavimento.

b. *Esfuerzos y deformaciones cortantes.*

Las cargas impuestas por los neumáticos generan esfuerzos de tensión en la parte estructural del pavimento, con ello se generan movimientos inestables, observados frecuentemente en aquellas vías de bajo volumen de tránsito cuando transcurren vehículos pesados (Coria, Hernández y Garnica, 2018).

c. *Esfuerzos, deformaciones tangenciales y radiales.*

Las capas del pavimento se deforman semejante a una viga. Como resultado obtenemos esfuerzos radiales y de manera tangencial en la zona inferior de estas capas. Produciéndose en un plano horizontal, pudiéndose genera a compresión,

tensión principalmente relacionada con la ubicación y cargas de neumáticos (Coria, Hernández y Garnica, 2018).

d. Deflexiones.

La deflexión es el desplazamiento vertical de la superficie del pavimento en respuesta a la acción aplicada de cargas externas. Esta magnitud referida a la deflexión siendo proporcional a la rigidez que posee el pavimento (dimensión y modulo elástico), si se incrementa esta deflexión, es propensa a la presencia de fallas estructurales (Coria, Hernández y Garnica, 2018).

e. Modulo elástico.

Parámetro empleado para determinar la deformación que se tiene considerando cargas estáticas, este está relacionado con los esfuerzos aplicados, bajo la teoría de la elasticidad, esta admite emplear ensayos de laboratorio y en el campo para cuantificar el módulo elástico (Minaya y Ordoñez, 2006). La figura 8 muestra los ensayos disponibles en nuestro medio.

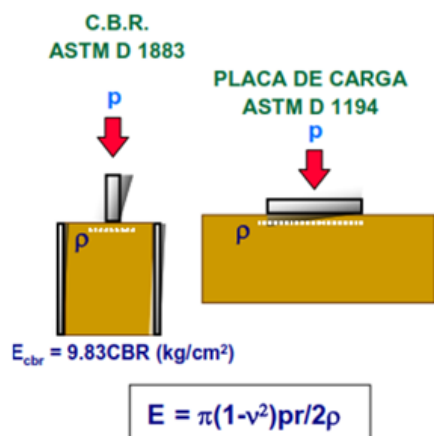


Figura 8. Determinación del módulo de elasticidad

Fuente: Coria, Hernández y Garnica, 2018

El ensayo de placa de carga y el ensayo CBR. Facilitando la obtención de aquellos parámetros elásticos evaluados en la subrasante, en la figura 9 se observa como la

carga del pavimento afecta a este parámetro, observándose que cada ciclo genera en la subrasante una deformación plástica no recuperable, y una elástica recuperable (Minaya y Ordoñez, 2006).

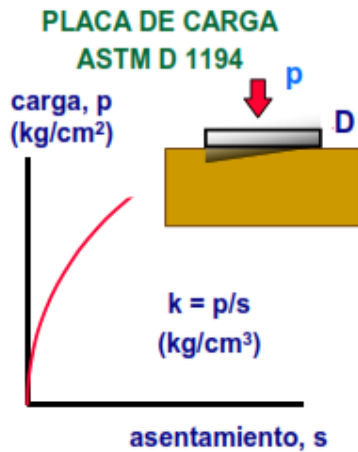


Figura 9. Efectos de la placa de carga

Fuente: Coria, Hernández y Garnica, 2018

Las subrasantes vienen afectas por deformación plástica de manera acumulable (bajo valor de CBR), en tal caso se procede con dos alternativas: La estabilización del pavimento o la exclusión del subsuelo, implementando un espesor mayor de relleno granular, verificándose esto en el bulbo de presiones, una de las primeras soluciones estructurales fue la teoría de Boussinesq (Minaya y Ordoñez, 2006).

2.2.1.7. *Distribución de esfuerzos según Boussinesq.*

El francés Boussinesq, implemento las iniciales ecuaciones para la determinación de la distribución de esfuerzos el cual indica que una carga puntual en un medio del tipo homogéneos, linealmente elásticos e isotrópicos (ver figura 10) (Minaya y Ordoñez, 2006).

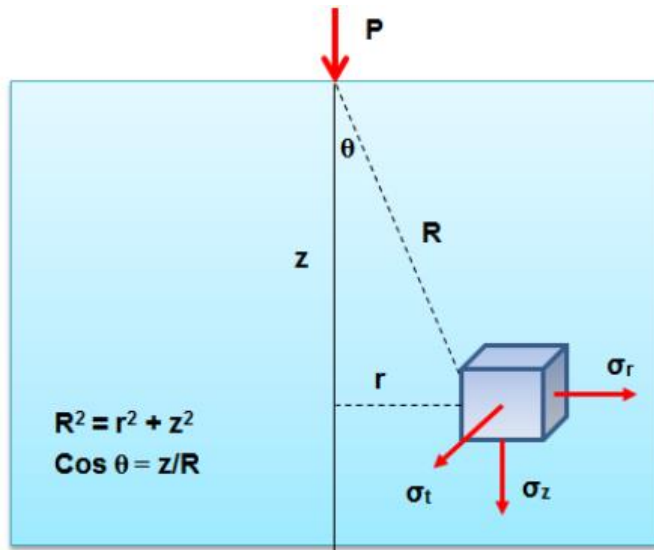


Figura 10. Efectos de la placa de carga

Fuente: García, 2017

2.2.1.7.1. Teoría elástica de medios semi - infinitos.

La determinación de los esfuerzos que son conducidos hacia el terreno está basada en los siguientes aspectos:

- a) El terreno está comportándose de manera elástica, por tanto, las deformaciones son proporcionales a las cargas impuestas.

$$v = \frac{\epsilon_r}{\epsilon_a} \dots \dots \dots [Ecuación 2]$$

Donde:

v : Relación de poisson

ϵ_r : Deformación radial

ϵ_a : Deformación axial

- b) Una carga circular, producirá esfuerzos normales y tangenciales, en la subrasante (ver figura 11).

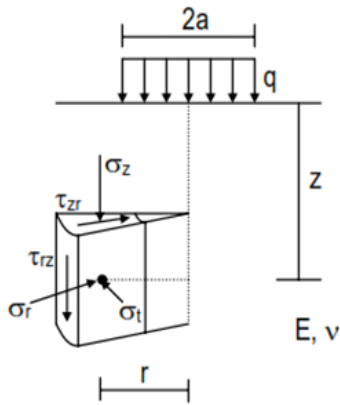


Figura 11. Efectos de la placa de carga

Fuente: Minaya y Ordoñez, 2006

Nota: Donde σ_z , σ_r y σ_t , son esfuerzos normales y τ_{zr} es el esfuerzo tangencial. Estos componentes definen el estado de esfuerzos en el punto inferior (r,z).

c). Aplicando la teoría elástica, considerando una integración del tipo numérico para la solución de Boussinesq. Fundamentado en un medio homogéneo, elástico, isotrópico y semi - infinito (ver figura 12), se tiene:

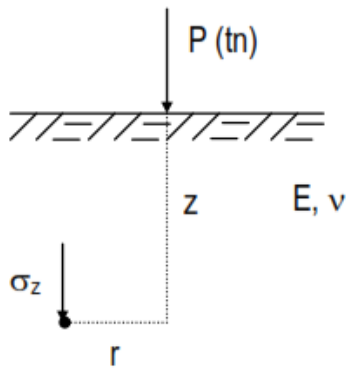


Figura 12. Carga distribuida según Boussinesq

Fuente: Minaya y Ordoñez, 2006

Nota: Donde σ_z , σ_r y σ_t , son esfuerzos normales y τ_{zr} es el esfuerzo tangencial. Los cuatro componentes definen el estado de esfuerzos en el punto inferior (r,z).

$$\sigma_z = \frac{3P}{2\pi} \frac{z^3}{(r^2 + z^2)^{5/2}} \dots \dots \dots [\text{Ecuación 3}]$$

Donde:

σ_z : Esfuerzo normal o vertical

- z : Profundidad
- p: : Carga axial
- r : Distancia radial de la carga

2.2.1.7.2. *Aplicación de la solución de Boussinesq y en medios semi - infinitos.*

Bajo la aplicación de una carga circular uniforme, y repartido con magnitud q, en un plano horizontal, a una profundidad Z_1 se encontrarán los máximos esfuerzos transmitidos σ_z máx. será cuando $r = 0$ (punto localizado en el eje vertical).

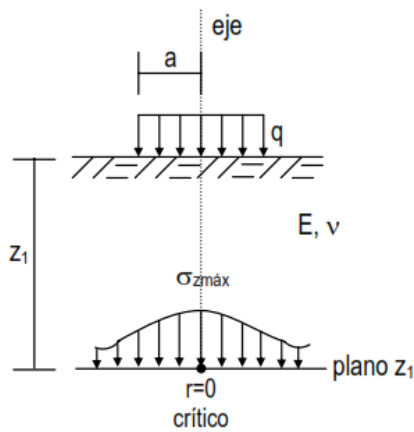


Figura 13. Distribución de esfuerzos para cargas puntuales según Boussinesq

Fuente: Minaya y Ordoñez, 2006

a) La ecuación 4 da a conocer el esfuerzo máximo vertical (en el eje vertical)

viene definido por:

$$\sigma_z = q \left[1 - \frac{z^3}{(a^2 + z^2)^{1.5}} \right] \dots\dots\dots [Ecuación 4]$$

Donde:

σ_z : Esfuerzo normal o vertical

q : Carga aplicada

z : Profundidad

a : Radio de contacto entre la llanta y la superficie de rodadura.

b) La ecuación 5 da a conocer la deformación máxima vertical (en el eje vertical)

$$E_z = \frac{(1+\nu)}{E} q \left[1 - 2\nu + \frac{2\nu z}{(a^2 - z^2)^{0.5}} - \frac{z^3}{(a^2 - z^2)^{1.5}} \right] \dots\dots\dots [\text{Ecuación 5}]$$

Donde:

E_z : Esfuerzo normal o vertical

ν : Relación de poisson

E : Modulo de elasticidad

a : Radio de contacto entre

Z : Profundidad

c) La ecuación 6 da a conocer la deflexión vertical máxima en la superficie y en el centro de la carga circular.

$$\omega = \frac{(1-\nu^2)}{E} q \cdot a \dots\dots\dots [\text{Ecuación 6}]$$

Donde:

ω_0 : Deflexión máxima vertical

ν : Relación de poisson

E : Modulo de elasticidad

a : Radio de contacto entre la llanta y la superficie de rodadura

q : Carga aplicada

2.2.2. Mejoramiento del pavimento con geoceldas tridimensionales.

En los últimos años, fundamentalmente en el siglo XXI se ha estado investigando y experimentando diversos métodos de construcción que sean cuidadosos con el medio ambiente. Es por ello por lo que los estudios han arrojado que los geosintéticos son una alternativa de solución innovadora para proyectos de ingeniería y la aplicación con otros elementos naturales que permiten una conservación del medio ambiente.

Hoy en día existen diversas alternativas que mejoran el comportamiento del pavimento.

Según Sosa (2010) lo clasifica en:

a. Tecnologías universales.

Comprenden aquellas que fueron aprobadas y normalizadas mundialmente las cuales manifiestan una extensa información ya sea por su diseño, construcción, desempeño en el tiempo, dentro de las cuales se destacan estabilizar con cal, con material cementante, emulsiones asfálticas con la adición de una capa en la estructura, de material granular con concreto asfáltico, concreto de cemento por la y adoquines de concreto o de arcilla cocida, entre otras (Sosa, 2010).

b. Tecnologías experimentales.

Aquellas que no fueron aplicadas de manera muy frecuentemente y por tanto su documentación sobre su desempeño es muy poco conocida y sus aplicaciones limitadas. Dentro de estas tecnologías se destaca la estabilización como empleo de restos sólidos como refuerzo de hormigón no tradicional, (Sosa, 2010).

c. Tecnologías innovadoras.

Vienen fundamentadas, en estudios técnicos realizados y en aplicaciones exitosas. El desempeño de estas tecnologías es a un plazo futuro, ya que en gran parte siguen en evaluación. Para algunos países, hay la existencia de normativas las cuales indican el empleo, pero no es muy generalizado. Con ello se tiene: Estabilización con asfalto espumado, sales cloruros con cenizas utilización de escorias de proceso industriales materiales de reciclaje de pavimento y refuerzo de geomallas o geotextiles, geoceldas (Sosa, 2010).

La geoceldas tridimensional se clasifica como tecnología innovadora siendo empleadas para reforzamiento de capas estructurales (Sosa, 2010).

2.2.2.1. Historia.

El primer confinamiento del sistema celular se realizó por el cuerpo de ingenieros del ejército americano (U.S. Army Corps of Engineers) a finales de 1970 se desarrollaron como opción en la mejora y optimización de la capacidad de soporte en la subrasante, que es utilizado en caminos principalmente, así como también en suelos blandos (Garzón y Henao, 2019).

Las geoceldas constituyen un sistema de confinamiento celular, flexible, fabricadas y tridimensional, elaborados con paneles de geomembrana de polietileno o polipropileno de densidad elevada (PEAD / HDPE) este material es mejor en la elaboración de este producto, ya que proporciona resistencia, vida útil, y es económico (Cuartas, 2015).

Considerando al ámbito de aplicación y buscando dar soluciones innovadoras, es por lo que surge técnicas viables, destacándose aquellas que resultaron positivamente, claro que es necesario considerar la climatología de la localidad, el desconocimiento tecnológico, y el grado de detalle que se tiene referente a estas tecnologías (Garzón y Henao, 2019).



Figura 14. Sistema de confinamiento celular

Fuente: Garzón y Henao, 2019

Posteriormente, alrededor del año 2004 se efectuaron nuevas investigaciones sobre tecnología de confinamiento celular y se comenzó a elaborar geoceldas con el propósito de usarlas en la construcción de carreteras modernas (Garzón y Henao, 2019).

2.2.2.2. *Definición.*

Siendo un novedoso material perteneciente a la familia del geo sintético formado por un sistema, tridimensional de confinamiento celular. Se trata de estructuras con forma de panal de abeja que por su alta resistencia se usan para el confinamiento de carga y tienen la capacidad encerrar diferentes tipos de rellenos (arena, grava u hormigón) proporcionando confinamiento a toda la estructura (Shahrokh, 2018).

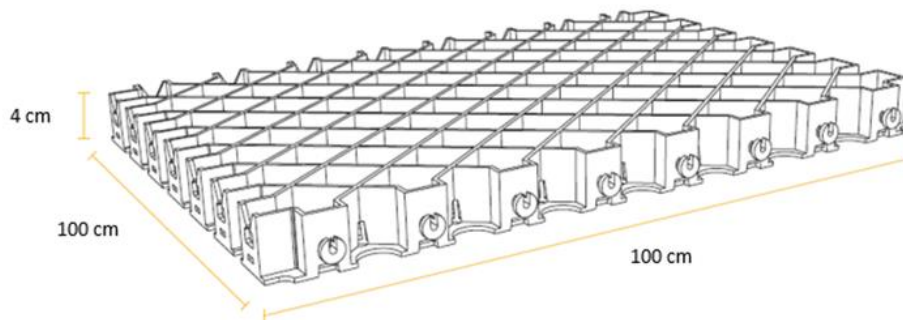


Figura 15. Geocelda tridimensional

Fuente: Diamond Grid, 2008

Este sistema de geocelda tridimensional fue instaurado para emplearlo en carreteras cuyas dimensiones de las celdas de 6 cm x 6 cm brindan una mayor aplicación en el área civiles y mineras, el cual soportar cargas de 280 tn/m² vacío y hasta 1 000 tn/m² cuando el material está lleno de concreto el tamaño adaptable de 100 cm x 100 cm, el cual permite ser colocado en cualquier superficie brindándole reforzamiento (Diamond grid, 2008).

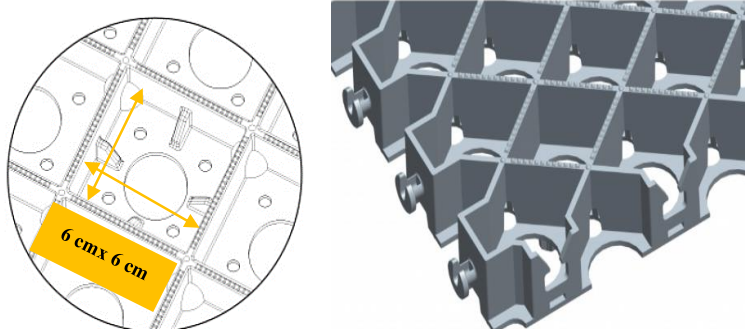


Figura 16. Geocelda tridimensional

Fuente: Diamond grid, 2008

Según Cañón (2018) la geocelda posee la capacidad de confinar materiales que se le aplique lo cual constituye un salto cualitativo en lo que respecta a los sistemas para la estabilización, este material se ha planteado para contrarrestar los efectos negativos de la erosión propiciada por el agua y el viento.

Es por ello por lo que entre sus principales objetivos está el control de la erosión, ya que excluye los efectos que puede ocasionar la fuerza del agua y del viento, también presenta la facultad de estabilización del suelo a través del soporte de la carga, descartar los problemas de drenaje, así como el revestimiento y refuerzo de canales. Su utilización es más eficiente que los métodos tradicionales, porque garantiza una alta calidad, rendimiento y durabilidad. Las alturas se acomodan a todas las necesidades y exigencias de su proyecto(Cañón, 2018).

2.2.2.3. *Características de la geocelda.*

- Genera una superficie más densa, a pesar de los eventos climáticos severos (Lázaro y Telles, 2018).
- En condiciones de temperatura extrema, se expande y regresa a su estado original sin generar ninguna deformación posterior (Lázaro y Telles, 2018).
- La instalación y reubicación es muy factible y simple (Lázaro y Telles, 2018).

- Compuesto por polipropileno reciclado en un cien por ciento (Lázaro y Telles, 2018).
- Posee una vida útil mayor a otros materiales (Lázaro y Telles, 2018).
- El mantenimiento inicial referido a 3 años no es necesario (gasto inicial de mantenimiento cero) (Lázaro y Telles, 2018).
- Posee una flexibilidad ampliamente considerada llegando hasta un 96 %, permitiéndose adecuación en las diferentes condiciones de los terrenos (Lázaro y Telles, 2018).
- No es inflamable por tanto si hubiera un incendio, no está propenso a derretirse (Lázaro y Telles, 2018).

2.2.2.4. *Beneficios de geoceldas en suelos blandos para estructura vial.*

Las geoceldas tienen amplios beneficios Palmeira (2018) señala algunos de ellos:

- Reduce asentamientos.
- Poca contaminación ambiental
- Distribución de esfuerzos más uniforme.
- Reducción del espesor de relleno.
- Rápida instalación.
- Decremento en deformaciones laterales.
- Decremento en la aparición de surcos y un menor mantenimiento.
- Es menor la resistencia al rodamiento y por tanto genera tiempos de ciclo más rápidos.
- Genera un confinamiento y estabilización más adecuados del suelo.
- La vida útil de la infraestructura es mayor.

2.2.2.5. *Funciones y aplicaciones de la geocelda tridimensional.*

a. Funciones.

El soporte de cargas en capas granulares colocadas para mejoramiento de suelos de cimentación, en estructuras de pavimento y vías férreas la capa de agregado distribuye la carga aplicada como reduciendo de esta manera la presión ejercida sobre el suelo de subrasante por debajo de los valores críticos de resistencia. Al involucrar las geoceldas brinda el efecto de confinamiento, incrementando la resistencia a la cortante en los materiales y soporta refuerzos a la tensión en el espesor colocado mejorando así las características distribuyendo la carga generando una mejora en las características de distribución de la carga haciendo posible emplear materiales de relleno, con calidad mayor y en cantidades reducidas, estableciendo una disminución en costos (Palmeira, 2018).

b. Beneficios.

El beneficio obtenido se describe como el confinamiento lateral del material que incrementa significativamente el módulo mecánico del espesor granular (Diamond grid, 2008).

Aporta resistencia a tensión en el espesor que fue reforzado, incrementándolo, por tanto, el comportamiento es del tipo viga, atenuando la presión local y la compresión en el suelo (Diamond grid, 2008).

Según Diamond grid (2008) en las estructuras de pavimento y vías férreas las geoceldas proporcionan soluciones principalmente en:

- Refuerzo de suelo de cimentación.
- Refuerzo de subrasante blandas compresibles.
- Refuerzo de base granular.

- Refuerzo de balastros y sub - balastros.

c. Aplicaciones.

- *Senderos a plantas mineras.*

Implementar y considerar el costo.- beneficio, es bastante estable debido a que posee una resistencia al uso permanente, y no se ve afectado por agentes climatológicos, siempre conservando una superficie, segura y bastante resistente. Por tanto, disminuye en gran medida los costos referidos a cuadrillas y maquinarias destinadas al mantenimiento rutinario (Diamond grid, 2008).

- *Piso de talleres.*

Siendo bastante económicamente atractivo, el diamond grid es la solución idónea para cubrir y mejorar considerablemente los suelos. Estas estructuras pueden soportar hasta 400 ton/m² ideales para equipos pesados (Diamond grid, 2008).

- *Pistas aéreas.*

Diamond grid es idóneo ya que representa un ahorro económico y una mayor resistencia, sobre todo en áreas de acceso limitado, manteniéndolo libre de fango y con poca erosión, incluso ante agentes climatológicos severos (Diamond grid, 2008).

- *Cruce de arroyos.*

Impide que el material localizado en la base y la grava sean removidas por el agua circundante, por tanto, genera una solución de manera permanente, aplicado hacia cruces de vehículos pesados y otros (Diamond grid, 2008).

- *Estacionamientos de alta resistencia.*

Crea una superficie densa y bastante sólida, brindando una resistencia superior, evitando costos adicionales como el uso de aditivos (Diamond grid, 2008).

2.2.2.6. Reducción de asentamiento en el pavimento con geocelda.

En la figura 11, se observa la reacción de un pavimento con y sin refuerzo con geocelda.

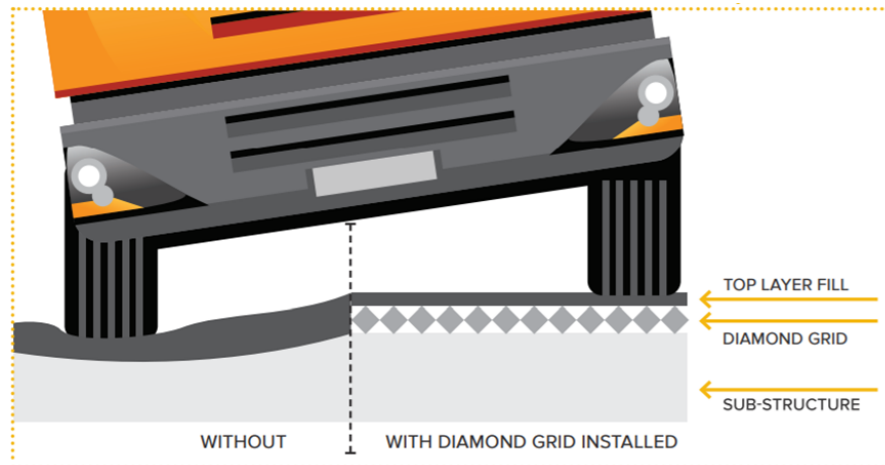


Figura 17. Comportamiento del pavimento aplicando diamond grid

Fuente: Diamond grid, 2008

El pavimento que no presenta geoceldas, se ve sometida a una acumulación de esfuerzos bajo la carga de la rueda, con la transmisión de esfuerzos puntuales que generan una falla local, y una ruptura del material fácilmente (Meyer y Emersleben, 2005).

Por el contrario, en el caso del pavimento con geocelda la distribución de esfuerzos se produce en un área que varía entre un 1,5 - 2,0 veces el área del caso anterior, permitiendo a la aplicación de una carga mayor antes de que se genere una falla en el terreno fundación. En el caso de los asentamientos, el esperado puede llegar a ser 0,2 o. 0,3 veces el asentamiento inmediato esperado en el caso de una estructura granular sin refuerzo (Meyer y Emersleben, 2005).

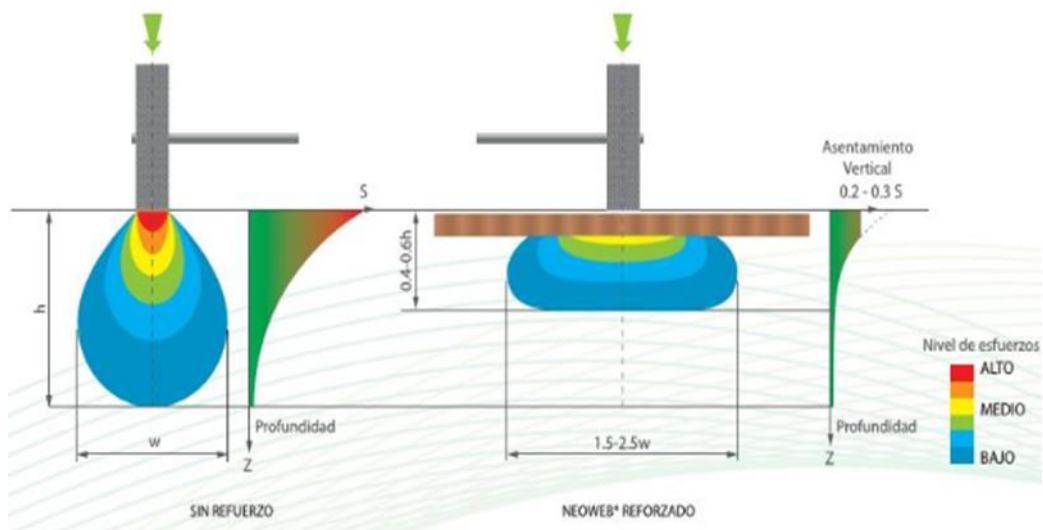


Figura 18. Esfuerzos y deformaciones con y sin refuerzo

Fuente: Diamond grid, 2008

El aumento de rigidez y el módulo del material, la disminución de los asentamientos, la redistribución de esfuerzos y el aumento de la capacidad portante permiten incrementar la vida útil del pavimento (Meyer y Emersleben, 2005).

En pavimentos de bajo volumen de tránsito, la resistencia estructural de la base de soporte y el esfuerzo transmitido a la subrasante son los factores vitales para su diseño, y son este parámetro que se busca mejorar con la geocelda. Traduciéndose en una mejora de la capacidad portante, y una disminución del esfuerzo en la subrasante y una disminución en la tasa de asentamientos totales y diferenciales (Meyer y Emersleben, 2005).

2.2.2.7. *Ventajas de utilizar geoceldas rellenas de concreto.*

Según Lázaro y Telles (2018) referente a geoceldas con relleno de concreto indica lo siguiente:

- Cada celda individual actúa a modo de junta, brindando una flexibilidad en la estructura conjunta.

- La cantidad del concreto es controlada ya que se dispone de un espesor definido y uniforme.
- La protección con geoceldas conserva flexibilidad y puede conformarse y adaptarse al movimiento de menor importancia de subsuelo.
- Los costos se ven reducidos, porque se eliminan el encofrado y las técnicas que están relacionadas con el revestimiento de los canales existentes en la estructura.
- Considerando el diseño empleado, se recomendará el ancho de las aberturas de las celdas, cuya finalidad es elevar la densidad por metro cuadrado, así como también se estará mejorando la flexibilidad del sistema en conjunto.

2.3. Definición de términos

Asentamiento: Es un movimiento descendente vertical del terreno debido a la aplicación de cargas que causan cambios en las tensiones (Geotecnia suelos, 2019).

Geocelda: Es una estructura tridimensional formada por fajas (resina de polietileno de alta densidad, alta resistencia mecánica y gran capacidad hidráulica) HDPE polímeros o combinados, similar a un panal de abejas que contiene y retiene todo tipo de suelos, grava, arcilla, concreto etc. (Cidelsa geoceldas, 2015).

Mejoramiento: Medidas correctivas, para la adopción de una carretera existente, en un estado deficiente y brindar medidas que mejoren sus condiciones físicas y de operación, que las consideradas anteriormente (Coronado, 2002).

Pavimento: Estructural integral compuesto por capas de subrasante, base y carpeta localizadas en la parte superior de estas, destinadas al soporte de las cargas vehiculares (Coronado, 2002).

Deflexión: El desplazamiento vertical temporal de un pavimento proveniente de la aplicación de cargas de las ruedas de los vehículos (Coronado, 2002).

Base: Capa diseñada constituida primordialmente para distribuir y transmitir cargas, de tránsito, a las subyacentes, es en esta que va colocada la capa de rodadura (Coronado, 2002).

Agregados: Material granular cuya composición mineralógica como arena, grava, escorio o roca triturada empleando para ser mezclada en diferentes tamaños (Coronado, 2002).

Subrasante: Espesor de terreno la cual soporta la estructura integral del pavimento, extendiéndose hasta una profundidad la cual no ve afectada la carga de diseño que corresponde al tránsito (Coronado, 2002).

Tránsito: Circulación de personas y vehículos por calles, carreteras, etc. (Coronado, 2002).

SUCS: Es un sistema de clasificación de suelos adoptado por la ASTM como parte de sus metodologías de normalización (Bañón y Bevia, 2010).

AASHTO: Sistema de clasificación denominada American Association of state Highway and Transportation officials (AASHTO), desarrollada en EE. UU. Utilizada más para carreteras (Bañón y Bevia, 2010)

CAPÍTULO III

MÉTODO

3.1. Tipo de la investigación

Según Hernández-Sampieri, Baptista, y Fernández (2014) cuantitativamente este enfoque emplea la recopilación de información para prueba de hipótesis, considerando mediciones numéricas, bajo análisis estadísticos, estableciendo comportamientos y prueba de teorías.

La presente investigación utilizo un enfoque “Cuantitativo” ya que se recolectará datos como la propiedades físico - mecánicas del pavimento con la finalidad de comprobar la hipótesis, acerca de utilización de la geocelda tridimensional en la disminución de asentamientos.

3.2. Diseño de la investigación

Este estudio corresponde a la investigación experimental, según Achaerandio (2010) son experimentos que se realizan en campo en una situación real a su vez se caracteriza por la manipulación de una a más variables.

La investigación desarrollo un diseño experimental, debido a que se realizó de manera intencionada la manipulación de la variable independiente mejoramiento de pavimento mediante la aplicación de la geocelda tridimensional.

3.3. Población y muestra

3.3.1. Población.

Tamayo y Tamayo (2011), "El conjunto poblacional está definido como la integralidad del fenómeno estudiado, el cual las unidades de población poseen características en común, que serán estudiados y brindar un origen a los datos de investigación.

La población en la que se realiza el análisis es la zona del sector N°02 Biohuerto San Antonio – Moquegua.



Figura 19. Ubicación de la zona de estudio

3.3.2. Muestreo.

Según Showkat y Parveen (2017) la técnica de muestreo no probabilístico emplea aquellos métodos que no intervengan formulas probabilísticas, ya que en su mayoría implica el juicio del investigador. Se tiene también a Sánchez y Reyes, (2015) que los casos para investigar son elegidos por el investigador ya que se tiene un acceso más viable. Siendo por lo cual un método útil y conveniente para la selección de una muestra.

Por lo cual para investigación se utilizó un muestreo no probabilístico ya que se no se tiene con exactitud la cantidad exacta de pavimentos a realizarse en la ciudad de Moquegua, por ello se consideró el juicio del investigador eligiendo una zona de estudio en donde se tuvo un mayor alcance y una mejor viabilidad.

3.3.3. Muestra.

Cuando se considera una muestra con conveniencia estará constituido principalmente por aquellos casos que sean proclives a ser incorporados en la investigación, principalmente por el mayor acceso y cercanía hacia el lugar donde se realice la investigación (Showkat y Parveen, 2017).

Considerando que la muestra fue por conveniencia ya que estuvo compuesto por el caso hacia donde se tuvo mayor disponibilidad y alcance para ser evaluado en la investigación. Y considerando el marco de la pandemia debido al COVID-19, para resguardo del bienestar del investigador y de las personas que habitan en la zona de estudio. La muestra que se desarrollo fue Biohuerto N° 02 San Antonio – Moquegua.

3.4. Descripción de instrumentos para recolección de datos

3.4.1. Análisis documental.

Según Escudero y Cortez (2018) en primera instancia se considera un análisis documental, compuesto por la recopilación de la bibliografía y análisis de libros, revistas científicas y demás publicaciones que hayan sido elaborados por la comuna científica, en el ámbito de la investigación desarrollada.

En primera instancia se realizó una revisión exhaustiva de la bibliografía referida al uso de las geoceldas tridimensionales y su aplicación en los diversos

proyectos civiles, de manera enfática se consideró la aplicación hacia los pavimentos y como este influye en la disminución de los asentamientos.

3.4.2. Investigación de campo.

De manera posterior se realiza una investigación de campo que, según Escudero y Cortez (2018) para este procedimiento se emplea el método científico buscando la obtención de nuevo conocimiento, siendo realizada en el lugar donde transcurre el evento investigado.

Por lo cual después de tener el conocimiento referido al tema que se pretende investigar, se procedió a realizar la investigación en campo, empezando con un estudio de mecánica de suelos para así determinar las propiedades física y mecánicas del pavimento. Posteriormente se empleó la geocelda tridimensional con relleno de concreto mediante el ensayo de placa de carga determinándose así el asentamiento generado.

Los instrumentos de recolección de datos considerados fueron los formatos del laboratorio para los análisis respectivos.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Para la presentación de los resultados se sigue el esquema siguiente:



Figura 20. Esquema para el análisis e interpretación de resultados

4.1. Localización y ubicación de la muestra

La investigación presente se encuentra ubicado en:

Región : Moquegua

Provincia : Mariscal Nieto

Distrito : Moquegua

Sector : N° 02 Biohuerto San Antonio



Figura 21. Ubicación de la zona de estudio

4.2. Trabajo de campo

Con la finalidad de realizar la investigación se determinó las propiedades físico-mecánicas del subsuelo en el sector N° 02 Biohuerto San Antonio para ello se realizó dos calicatas a una profundidad de 0,8 m como mínimo y 1,80 m como máximo de donde se extrajo muestras representativas de suelo los cuales fueron trasladados de forma cuidadosa al laboratorio según la norma MTC - E 101.

Para ser analizadas y de esta manera conocer, los parámetros más determinantes del suelo en estudio.

4.2.1. Calicatas.

De las calicatas denominadas C - 1 y C - 2 se obtuvieron muestras representativas que fueron llevadas al laboratorio y posteriormente del análisis pudo observarse las características del terreno que conforman cada perfil estratigráfico del suelo, cuya clasificación visual es acorde a los procedimientos del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS).

Tabla 10

Cuadro de resumen de calicatas

Calicata	Ubicación	Profundidad	Progresiva	Coordenadas (UTM)	
		(m)	(km)	Norte	Este
C - 01	Biohuerto	0,80	0 + 000,00	8 095 555,90	291 467,70
C - 02	Biohuerto	1,80	0 + 400,00	8 095 750,00	292 478,30

Calicata 01: Se realizó en la progresiva 0 + 000, al lado izquierdo de la vía, a una profundidad de 0,80 m, realizándose el perfil estratigráfico (ver apéndice B), de dicha calicata se extrajo un saco de material para los ensayos en laboratorio.



Figura 22. Visualización de la calicata 01 durante recojo de muestra

Calicata 02: Se realizó en la progresiva 0 + 400 al lado izquierda de la vía, con una profundidad de 1,80 m, realizándose el perfil estratigráfico (ver apéndice B), de dicha calicata se extrajo diez sacos de material para los ensayos en el laboratorio.



Figura 23. Visualización de la calicata 02 durante recojo de la muestra

4.3. Ensayos de laboratorio

Estos fueron realizados de acuerdo con la norma American Society For Testing and Materials (ASTM) y NTP.

4.3.1. Propiedades físicas y mecánicas de la subrasante.

4.3.1.1. Registro estratigráfico.

4.3.1.1.1. Calicata 01.

Tabla 11

Perfil estratigráfico en la progresiva 0 + 000,00

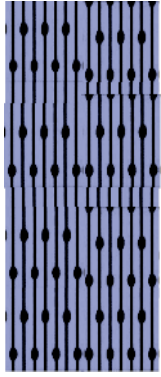
Prof.	Grafico	Estrato Espesor	Clasificación		Descripción
			AASHTO	SUCS	
0,2 m		E-01	A-1-b Fragmentos de roca, grava y arena	Arena limosa con grava SM	*Material cohesivo
0,4 m					
0,6 m					
0,8 m					

Según la tabla 11 se aprecia que los datos obtenidos de la calicata 01, brindan una clasificación SUCS y AASTHO, el suelo se clasifico como un suelo (SM) arena limosa, de compacidad alta, humedad baja y de baja plasticidad respectivamente.

4.3.1.1.2. Calicata 02.

Tabla 12

Perfil estratigráfico en la progresiva 0 + 400,00

Prof.	Grafico	Estrato	Clasificación		Descripción
		Espesor	AASHTO	SUCS	
0,2 m		E - 01 1,80 m	A - 1 - b fragmentos de roca, grava y arena	Arena limosa con grava SM	*Material cohesive
0,4 m					
0,6 m					
0,8 m					
1,00 m					
1,20 m					
1,40 m					
1,60 m					
1,80 m					

Según la tabla 12 se aprecia que los obtenidos en la calicata 02, brindan una clasificación SUCS y AASTHO, el suelo se clasifco como un suelo (SM) arena limosa, de compacidad alta, humedad baja y de baja plasticidad.

4.3.1.2. Análisis granulométrico.

4.3.1.2.1. Calicata 01.

El análisis granulométrico nos permite saber el tamaño de las diferentes partículas que componen el suelo de la subrasante.

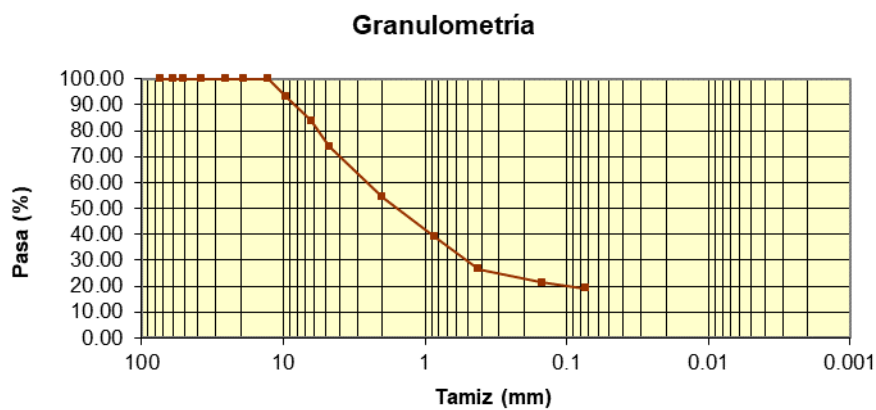
Tabla 13

Análisis granulométrico calicata 01

Tamiz (Pulg)	Pasa (%)	Pasante (%)	Retenido parcial (%)	Retenido acumulado (%)
3"	100,00	100,00	0,00	0,00
2 1/2"	100,00	100,00	0,0	0,00
2"	100,00	100,00	0,00	0,00

Tabla 13*Análisis granulométrico calicata 01 (continuación)*

Tamiz (Pulg)	Pasa (%)	Pasante (%)	Retenido parcial (%)	Retenido acumulado (%)
1 1/2"	100,00	100,00	0,00	0,00
1"	100,00	100,00	0,00	0,00
3/4"	100,00	100,00	0,00	0,00
1/2"	100,00	100,00	0,00	0,00
3/8"	92,97	92,97	7,03	7,03
1/4"	83,81	83,81	9,16	16,19
N°4	73,92	73,92	9,89	26,08
N°10	54,47	54,47	19,45	45,53
N° 20	38,97	38,97	15,50	61,03
N° 40	26,50	26,50	12,48	73,50
N° 100	21,31	21,31	5,19	78,69
N° 200	19,23	19,23	2,08	80,77
Pasa tamiz N° 4 (5 mm):				73,92
Pasa tamiz N° 200 (0,080 mm):				19,23
D60:				2,78
D30:				0,54

*Figura 24. Análisis granulométrico de la calicata 01*

Según la tabla 13 y la figura 24 se observa que referido a la curva del análisis granulométrico para la calicata 01:

- Porcentaje de grava > N° 4 : 26,08 %
- Porcentaje de arena N° 4 < > N° 200 : 54,60 %
- Porcentaje de finos < N°200 : 19,23 %

De los resultados previamente mostrados se observa que predomina más una arena limosa con un 54,60 %.

4.3.1.2.2. *Calicata 02.*

La granulometría nos permitió conocer la dimensión de las diferentes partículas que componen el suelo.

Tabla 14

Análisis granulométrico calicata 02

Tamiz (Pulg)	Pasa (%)	Pasante (%)	Retenido Acumulado (%)	Retenido Parcial (%)
3"	100,00	100,00	0,00	0,00
2 1/2"	100,00	100,00	0,00	0,00
2"	100,00	100,00	0,00	0,00
1 1/2"	100,00	100,00	0,00	0,00
1"	100,00	100,00	0,00	0,00
3/4"	100,00	100,00	0,00	0,00
1/2"	100,00	100,00	0,00	0,00
3/8"	95,87	95,87	4,13	4,13
1/4"	87,39	87,39	12,61	8,48
N°4	74,56	74,56	25,44	12,83
N°10	55,05	55,05	44,95	19,51
N°20	37,33	37,33	62,67	17,72
N° 40	26,31	26,31	73,69	11,02
N° 100	21,00	21,00	79,00	5,31
N° 200	20,78	20,78	79,22	0,22
Pasa tamiz N° 4 (5 mm):			74,56	%
Pasa tamiz N° 200 (0,080 mm):			20,78	%

Tabla 14

Análisis granulométrico calicata 02 (continuación)

Tamiz (Pulg)	Pasa (%)	Pasante (%)	Retenido Acumulado (%)	Retenido Parcial (%)
	D60:		2,70	mm
	D30:		0,56	mm

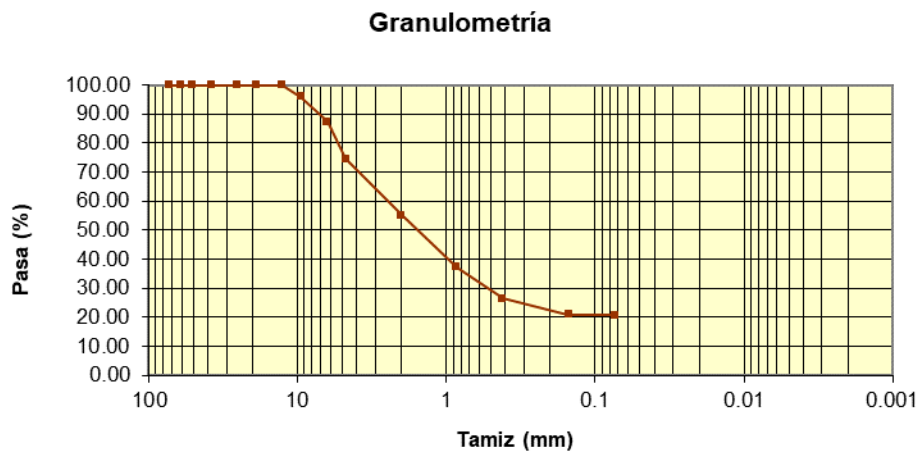


Figura 25. Curva del análisis granulométrico de la calicata 02

Según la tabla 14 y la figura 25 se observa que referido la curva del análisis granulométrico para la calicata 02:

- Porcentaje de grava >#N 4 : 25,44 %
- Porcentaje de arena #N°4< >#N 200 : 46,04 %
- Porcentaje de finos <#N°200 : 20,78 % de los resultados
previamente mostrados se observa que predomina más una arena limosa.

4.3.1.3. Clasificación de suelos según SUCS y AASHTO.

4.3.1.3.1. Calicata 01 y 02.

Como se observa en la figura 26 y de acuerdo con *SUCS* las características de la muestra obtenida en la calicata C-01 y C-02, se clasifico como un suelo con

partículas gruesas y con presencia de finos (suelo sucio) por consiguiente se clasifico como (SM) arena limosa con presencia de grava.

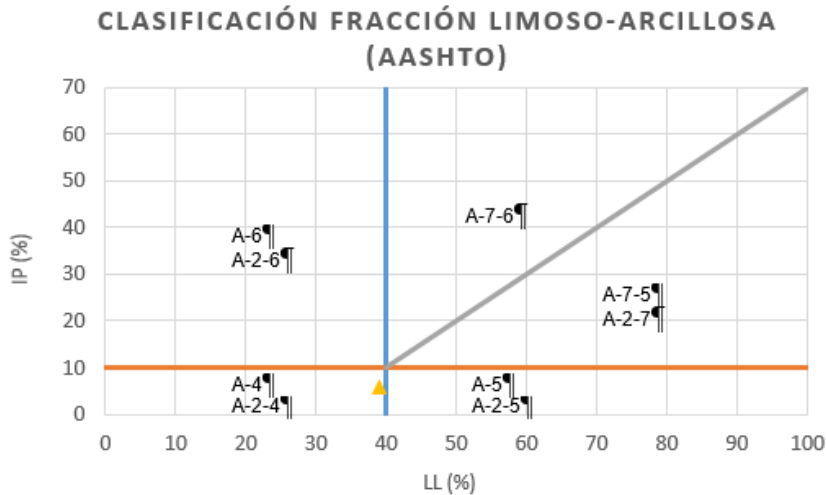


Figura 26. Clasificación SUCS calicata 01, 02

4.3.1.4. Clasificación de suelos según AASHTO.

4.3.1.4.1. Calicata 01 y 02.

Como se observa en la figura 27 y de acuerdo con la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) el suelo se clasificó como un suelo A-1-b con presencia de pequeños fragmentos de roca, grava y con una predominante cantidad arena limosa (SM).

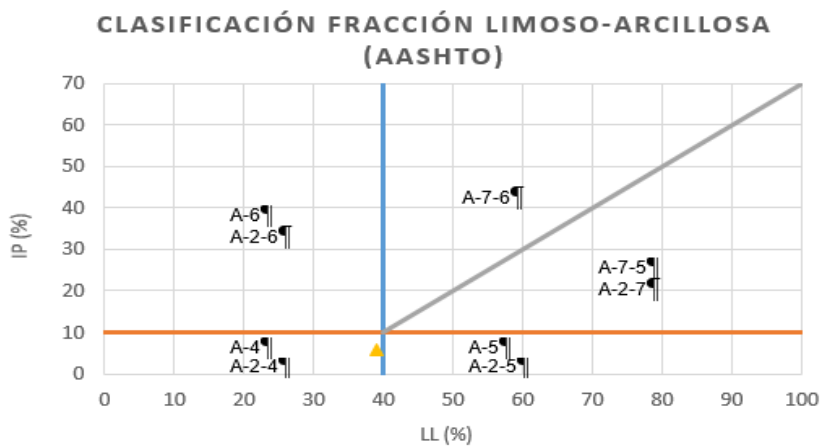


Figura 27. Clasificación AASHTO calicata 01, 02

4.3.1.5. Límites de líquido y plástico.

4.3.1.5.1. Calicata 01.

Como se puede ver en la tabla 15 y la figura 28 se determina que el límite líquido fue de 39,09 %, límite plástico 33,23 % y el índice de plasticidad con un 5,76 %. Al obtener una plasticidad media nos da indicios que el suelo puede sufrir cambios volumétricos por la presencia de la humedad.

Tabla 15

Límites de Atterberg calicata 01

Resumen	
Límite líquido	39,09 %
Límite plástico	33,23 %
Índice de plasticidad	5,76 %

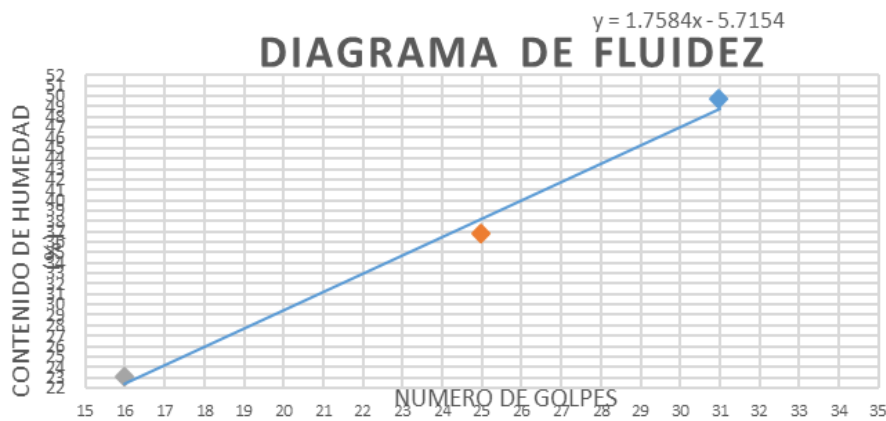


Figura 28. Diagrama de fluidez calicata 01

4.3.1.5.2. Calicata 02.

Como se puede apreciar en la tabla 16 y la figura 29, se determinó el límite líquido con un 42,16 %, límite plástico 36,41 % e índice de plasticidad 5,75 %. Al obtener una plasticidad media nos da indicios que el suelo puede sufrir cambios volumétricos por la presencia de la humedad.

Tabla 16

Límites de Atterberg calicata 02

Resumen	
Limite liquido	42,16%
Limite plástico	36,41%
Índice de plasticidad	5,75%

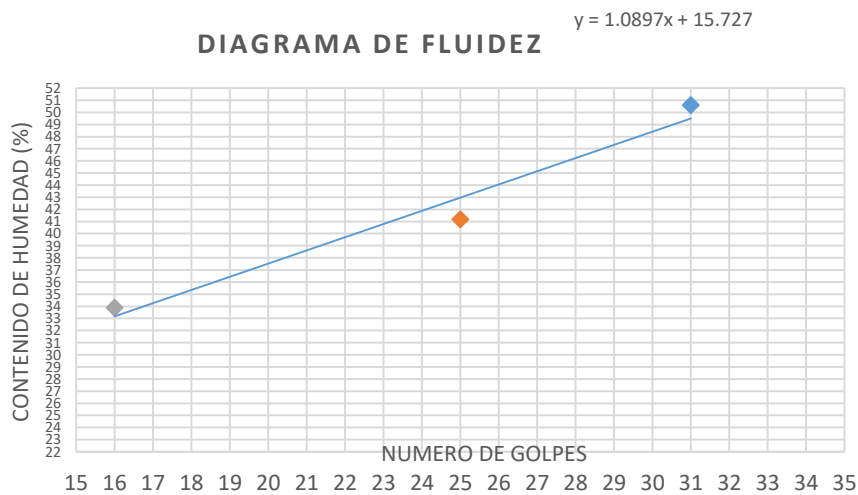


Figura 29. Diagrama de fluidez calicata 02

4.3.1.6. *Peso unitario suelto de los suelos.*

4.3.1.6.1. *Calicata 01.*

Se realizó el peso unitario suelto utilizando el volumen de un molde 3052 cm³, de con ello se determinó los estados de compacidad del suelo, y tal como se ve en la tabla 17 se indica que a mayor densidad existe una mayor resistencia obteniéndose como resultado del suelo 1338,00 kg/m³ se aprecia que posee una densidad baja.

Tabla 17

Peso unitario suelto calicata 01

Peso unitario suelto				
Descripción	Und.	Ensayos		
Numero de ensayos		01	02	03
Peso del material + molde	G	11902,00	11901,00	11920,00

Tabla 17*Peso unitario suelto calicata 01(continuación)*

Peso unitario suelto				
Descripción	Und.	Ensayos		
Peso del molde	G	7827,00	7827,00	7827,00
Peso del material suelto	G	4075,00	4083,00	4093,00
Volumen de molde	cm ³	3052,00	3052,00	3052,00
Peso unitario suelto	kg/m ³	1335,20	1337,80	1341,10
Promedio	kg/m ³		1338,00	

4.3.1.6.2. Calicata 02.

Se realizó el peso unitario suelto utilizando el volumen de un molde 3052 cm³ de dicho dato se determinó los estados de compacidad del suelo, y tal como se ve en la tabla 18 se indica que a mayor densidad mayor resistencia obteniéndose como resultado del suelo 1336,00 kg/m³ se aprecia que es una densidad baja (véase tabla 18).

Tabla 18*Peso unitario suelto calicata 02*

Peso unitario suelto				
Descripción	Und.	Ensayos		
Numero de ensayos		01	02	03
Peso del material + molde	g	11 891,00	11 907,00	11 915,00
Peso del molde	g	7827,00	7827,00	7827,00
Peso del material suelto	g	4064,00	4080,00	4088,00
Volumen de molde	cm ³	3052,00	3052,00	3052,00
Peso unitario suelto	kg/m ³	1331,6	1336,80	1339,00
Promedio		1336,00	kg/m ³	

4.3.1.7. Peso unitario compactado de los suelos.**4.3.1.7.1. Calicata 01.**

Se realizó el peso unitario compactado utilizando el volumen de un molde 3052 cm³ de dicho dato se pudo determinar los estados de compacidad del suelo y tal como se ve en la tabla 19, se indica que a mayor densidad mayor resistencia obteniéndose como resultado del suelo 1875,40 kg/m³ lo que significa que en estado sólido o de mayor compacidad es un material de baja resistencia.

Tabla 19

Peso unitario compactado calicata 01

Peso unitario compactado				
Descripción	Und.	Ensayo		
Numero de ensayos		01	02	03
Peso del material + molde	g	13548,00	13534,00	13570,00
Peso del molde	g	7827,00	7827,00	7827,00
Peso del material suelto	g	5721,00	5707,00	5743,00
Volumen de molde	cm ³	3052,00	3052,00	3052,00
Peso unitario suelto	kg/m ³	1874,5	1869,90	1881,7
Promedio		1875,40 kg/m ³		

4.3.1.7.2. Calicata 02.

Se realizó el peso unitario compactado utilizando el volumen de un molde 3052 cm³ de dicho dato se determinó los estados de compacidad del suelo y tal como se ve en la tabla 19, se indica que a mayor densidad mayor resistencia obteniéndose como resultado del suelo 1877,00 kg/m³ lo que significa que en estado sólido o de mayor compacidad es un material de baja resistencia (véase tabla 20).

Tabla 20

Peso unitario compactado calicata 02

Peso unitario compactado				
Descripción	Und.	Ensayos		
Numero de ensayos		01	02	03
Peso del material + molde	g	13540,00	13568,00	13559,00

Tabla 20*Peso unitario compactado calicata 02 (continuación)*

Peso unitario compactado				
Descripción	Und.	Ensayos		
Peso del molde	g	7827,00	7827,00	7827,00
Peso del material suelto	g	5713,00	5741,00	5732,00
Volumen de molde	cm ³	3052,00	3052,00	3052,00
Peso unitario suelto	kg/m ³	1871,90	1881,10	1878,10
Promedio	kg/m ³		1877,00	

4.3.1.8. Proctor modificado.**4.3.1.8.1. Calicata 01.**

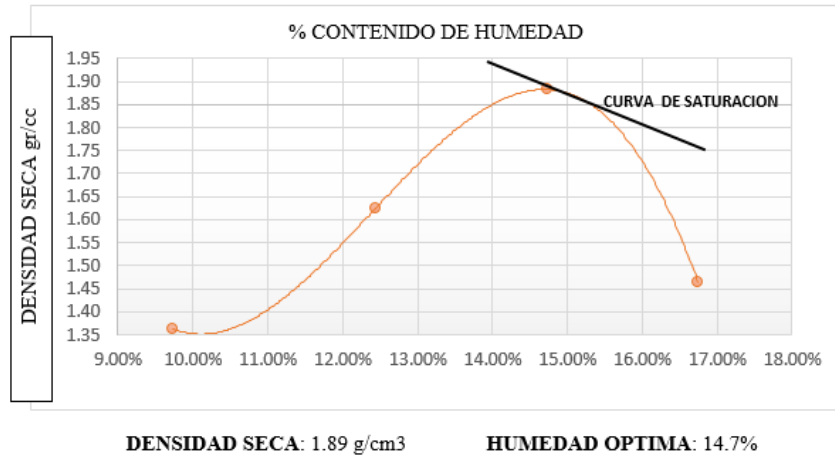
Según la tabla 21 y la figura 30 se verifica el resultado del ensayo Proctor modificado realizado a la muestra de suelo natural obteniéndose un óptimo contenido de humedad equivalente a 14,7 %, significando que el material tiene una gran absorción de agua, acorde con el índice de plasticidad que presenta. Mediante el cual este alcanza una máxima densidad seca de 1,89 gr/cm³ (densidad baja).

Tabla 21*Proctor modificado calicata 01*

Determinación	Nº	1	2	3	4
Peso suelo húmedo + molde	Gr	9597	10299	10999	10047
Peso del molde	Gr	6442	6442	6442	6442
Peso del suelo húmedo	gr/cc	3155	3857	4557	3605
Densidad del suelo húmedo	gr/cc	1,495	1,828	2,160	1,709
Suelo húmedo + tara	gr	530,0	524,0	483,0	488,0
Peso del suelo seco +tara	gr	483,0	466,0	421,0	418,0
Peso del agua	gr	47,00	58,00	62,00	70,00
Peso de la tara	gr	0,00	0,00	0,00	0,00
Peso del suelo seco	gr	460,00	466,00	421,00	418,00
Humedad	%	9,73	12,45	14,73	16,75

Tabla 21*Proctor modificado calicata 01 (continuación)*

Determinación	Nº	1	2	3	4
Promedio de humedad	%	9,73	12,45	14,73	16,75
Densidad del suelo seco	gr/cc	1,363	1,626	1,882	1,463

*Figura 30. Clasificación AASHTO calicata 02*

4.3.1.8.2. Calicata 02.

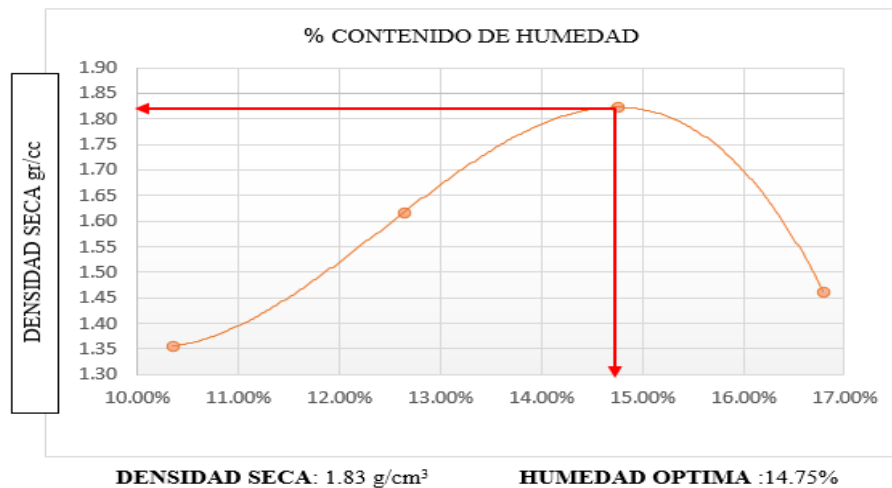
Según la tabla 22 y la figura 31 se verifica el resultado del ensayo del Proctor modificado realizado a la muestra de suelo natural obteniéndose con ello un contenido de humedad equivalente a 14,75%, lo que significa que el material absorbe bastante agua que es acorde con el índice de plasticidad que presenta. Con el cual se obtiene una máxima densidad seca de 1,83 gr/cm³ (densidad baja).

Tabla 22*Proctor modificado calicata 02*

Determinación	Nº	1	2	3	4
Peso suelo húmedo + molde	gr.	9597	10283	10856	10047
Peso del molde	gr.	6442	6442	6442	6442
Peso del suelo húmedo	gr/cc	3155	3841	4414	3605
Densidad del suelo húmedo	gr/cc	1,495	1,820	2,092	1,709
Suelo húmedo + tara	gr.	533,0	526,0	482,0	487,0

Tabla 22*Proctor modificado calicata 02 (continuación)*

Determinación	Nº	1	2	3	4
Peso del suelo seco +tara	gr.	483,0	467,0	420,0	417,0
Peso del agua	gr.	50,00	59,00	62,00	70,00
Peso de la tara	gr.	0,00	0,00	0,00	0,00
Peso del suelo seco	gr.	483,00	467,00	420,00	417,00
Humedad	%	10,35%	12,63%	14,76%	16,79%
Promedio de humedad	%	10,35%	12,63%	14,76%	16,79%
Densidad del suelo seco	gr/cc	1,355	1,616	1,823	1,463

*Figura 31. Clasificación AASHTO de la calicata 02*

4.3.1.9. Californian bearing ratio (CBR).

4.3.1.9.1. Calicata 01.

Tabla 23*Ensayo de CBR de la calicata 01*

Ensayo	12 golpes	25 golpes	56 golpes
Cond. de la muestra	Seca	Seca	Seca
Peso molde + suelo húmedo	10800	11450	13300
Peso del molde	6997,6	7087,8	8182,9
Peso del suelo húmedo	3802,4	4362,2	5117,1
Volumen del Molde	2100,9	2103,99	2078,6

Tabla 23

Ensayo de CBR de la calicata 01 (continuación)

Ensayo	12 golpes	25 golpes	56 golpes
Densidad húmeda	1,81	2,07	2,46
% de humedad	14,80	13,55	13,60
Densidad seca	1,577	1,826	2,167
Tara + suelo húmedo	300,00	300,00	300,00
Tara + suelo seco	310,02	310,15	314,50
Peso del agua	45,9	44,3	47,9
Peso de tara	0,00	0,00	0,00
Peso del suelo seco	310,0	310,2	314,5
% de humedad	14,80	14,27	15,23

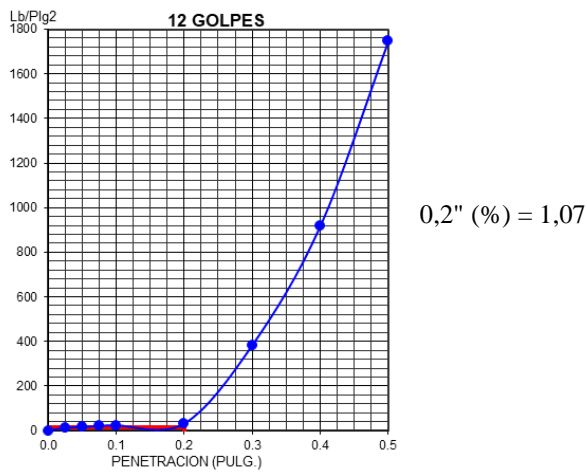


Figura 32. CBR 12 golpes

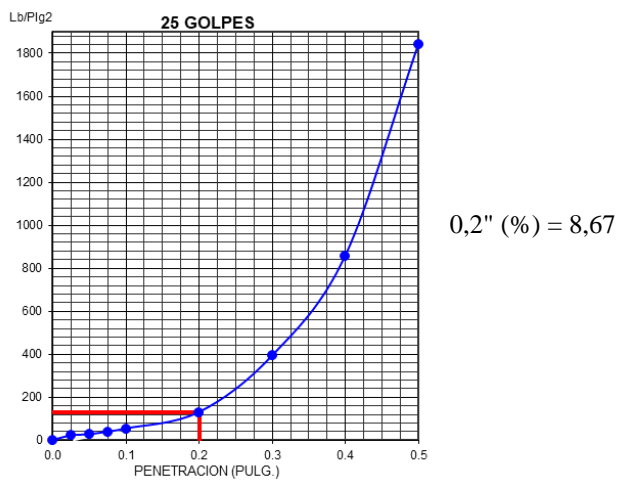
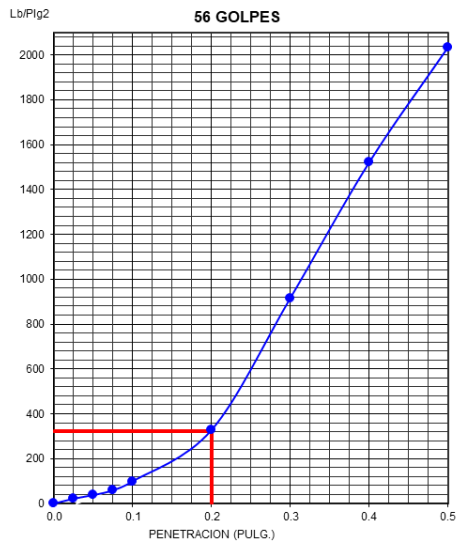


Figura 33. CBR 25 golpes



0,2" (%) = 21,60

Figura 34. CBR 56 golpes

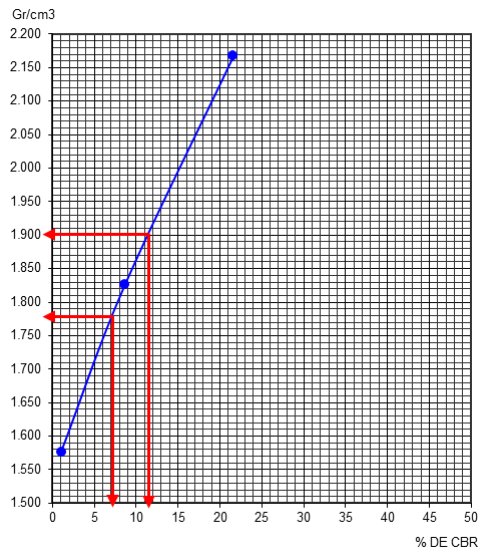


Figura 35. CBR al 95% y al 100%

Tabla 24

CBR al 95% y al 100 %

Resumen	
Densidad seca:	1,89 g/cm ³
Humedad	14,7 %
CBR al 95 %	6,5
CBR al 100 %	11,0

4.3.1.9.2. Calicata 02.

Tabla 25

Ensayo de CBR de la calicata 02

Ensayo	12 golpes	25 golpes	56 golpes
Cond. de la muestra	Seca	Seca	Seca
Peso molde + suelo húmedo	10800	11450	13300
Peso del molde	6997,6	7087,8	8182,9
Peso del suelo húmedo	3802,4	4362,2	5117,1
Volumen del Molde	2100,9	2103,99	2078,6
Densidad húmeda	1,81	2,07	2,46
% de humedad	14,58	13,55	13,60
Densidad seca	1,580	1,826	2,167
Tara + suelo húmedo	300,00	300,00	300,00
Tara + suelo seco	310,02	310,15	314,50
Peso del agua	45,2	46,9	47,9
Peso de tara	0,00	0,00	0,00
Peso del suelo seco	310,0	310,2	314,5
% de humedad	14,58	15,11	15,23

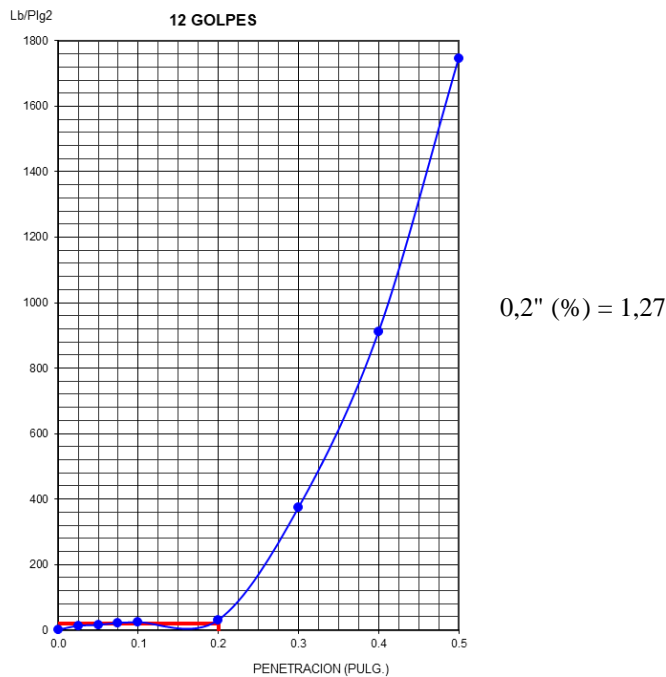


Figura 36. CBR 12 golpes

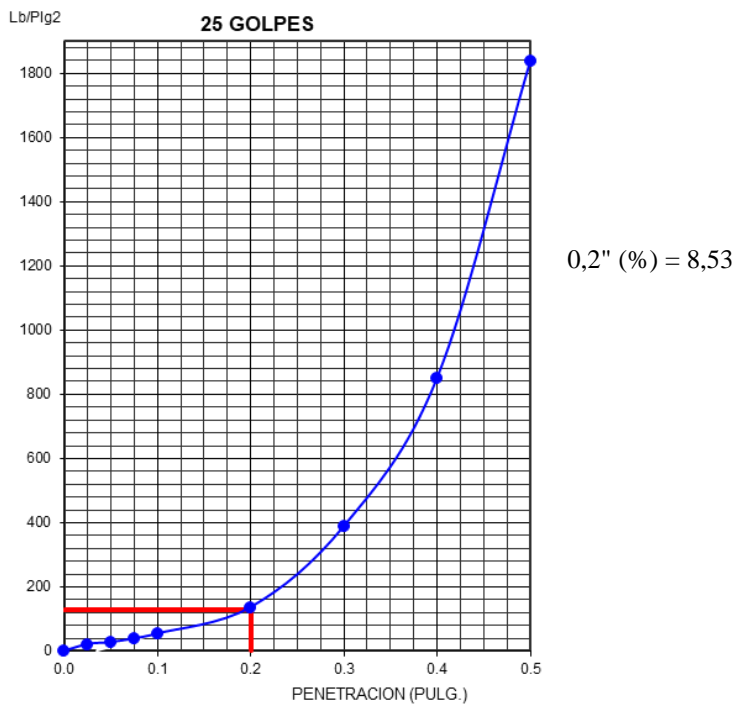


Figura 37. CBR 25 golpes

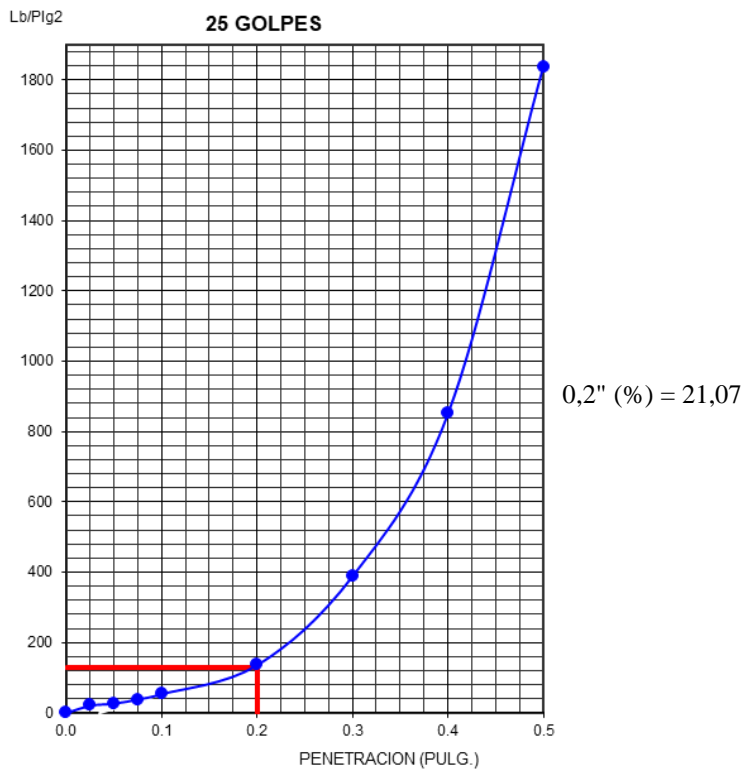


Figura 38. CBR 56 golpes

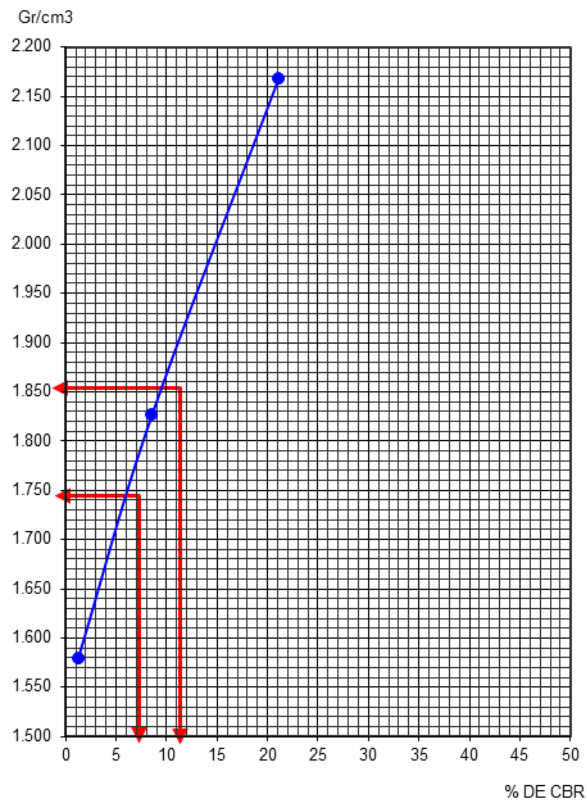


Figura 39. CBR al 95% y al 100%

Tabla 26

CBR al 95% y al 100 %

Resumen	
Densidad seca:	1,83 g/cm ³
Humedad	14,75 %
CBR al 95 %	6,0
CBR al 100 %	9,0

Por tanto, según la tabla 25, las figuras 36, 37, 38, 39 y finalmente con la tabla 26 se da conocer que se tiene un CBR al 95% de 6,0 además una densidad seca de 1,83 g/cm³, una humedad de 14,75 %.

4.3.1.10. Contenido de humedad.

4.3.1.10.1. Calicata 01.

Tabla 27*Contenido de humedad de calicata 01*

N° de ensayo		01	02
Peso de la tara	gr.	141,56	142,33
Peso de la muestra húmeda + tara	gr.	662,30	648,88
Peso de la muestra seca + tara	gr.	656,89	630,02
Peso del agua	gr.	5,41	18,86
Peso de la muestra seca	gr.	515,33	487,69
Contenido de humedad	%	1,05	3,87
Humedad promedio	%	2,459	

Por tanto, según la tabla 27 se tiene que el contenido de humedad promedio de la calicata 01 es de 2,459 %.

4.3.1.10.2. Calicata 02.

Tabla 28*Contenido de humedad de calicata 02*

N° de ensayo		01	02
Peso de la tara	gr.	142,56	142,38
Peso de la muestra húmeda + tara	gr.	662,63	648,48
Peso de la muestra seca + tara	gr.	650,93	635,06
Peso del agua	gr.	11,70	13,42
Peso de la muestra seca	gr.	508,37	492,68
Contenido de humedad	%	2,30	2,72
Humedad promedio	%	2,513	

Por tanto, según la tabla 28 se tiene que el contenido de humedad promedio de la calicata 02 es de 2,513 %.

4.3.2. Deformación utilizando geocelda tridimensional.

Luego de haberse efectuado los ensayos previos de laboratorio a la subrasante se realizó el ensayo de placa de carga tanto de la geocelda, concreto y pavimento mixto

(geocelda) según normativa ASTM D1194, D 1195, D1196. y (véase anexo A, B, C) y bajo la consideración de la teoría de Boussinesq se determinó el esfuerzo aplicado y la deflexión considerando la adición de la geocelda tridimensional más el relleno de concreto en el sector Biohuerto N° 02 San Antonio.

Tabla 29

Obtención del campo de esfuerzos y deformación vertical

Z (cm)	σ_z (kg/cm²)	ϵ_z (%)	Wf (mm)
0	8,200	0,004	0,005
5	4,296	0,003	0,003
10	1,637	0,001	0,002
15	0,803	0,001	0,001
20	0,468	0,000	0,001
25	0,305	0,000	0,001
30	0,214	0,000	0,001
35	0,158	0,000	0,000
40	0,121	0,000	0,000
45	0,096	0,000	0,000
50	0,078	0,000	0,000
55	0,065	0,000	0,000
60	0,054	0,000	0,000
65	0,046	0,000	0,000
70	0,040	0,000	0,000
75	0,035	0,000	0,000
80	0,031	0,000	0,000
85	0,027	0,000	0,000
90	0,024	0,000	0,000
95	0,022	0,000	0,000
100	0,020	0,000	0,000

En la tabla 29 se determinó los esfuerzos actuantes en la geocelda rellena de concreto la cual estuvo en contacto directo con la subrasante. Aplicándose una carga

actuante de $8,2 \text{ kg/cm}^2$ (ejes estándar). Por lo cual se pudo verificar que las deflexiones se disiparon a una profundidad de 45 cm donde el esfuerzo se aproxima a cero ($0,096 \text{ kg/cm}^2$). Además, se puede inferir que se observa una deflexión vertical máxima de 0,005 mm en la superficie del pavimento.

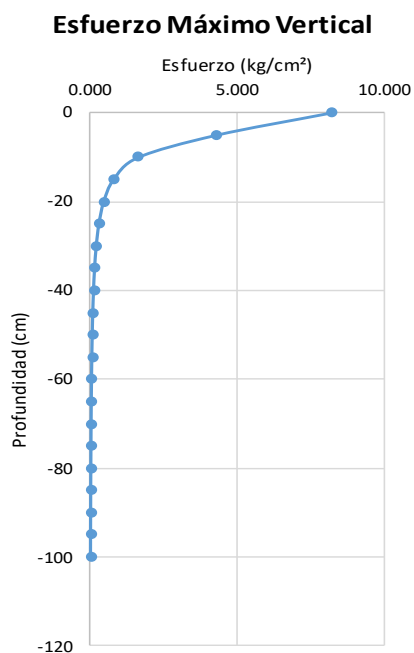


Figura 40. Esfuerzo máximo vertical

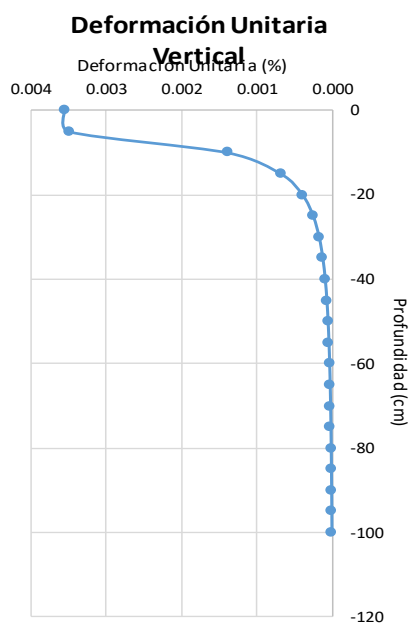


Figura 41. Deformación unitaria vertical

Deformación Máximo Vertical

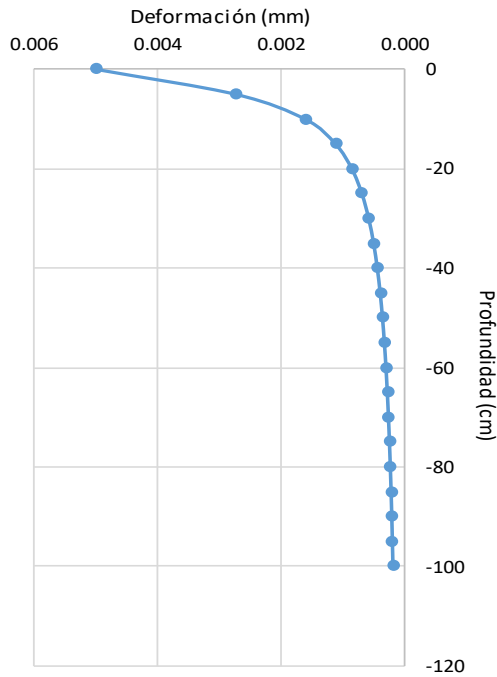


Figura 42. Deformación máxima vertical

En las figuras 40, 41 y 42 se puede apreciar de manera gráfica los esfuerzos máximos verticales, deformación unitaria vertical y la deformación máxima vertical utilizando la geocelda tridimensional.

4.3.3. Costos alternativos de mejoramiento del pavimento.

Se tomó como referencia los importes unitarios referidos al material de cantera puestos a obra el cual se detalla a continuación.

4.3.3.1. Costo del pavimento utilizando geocelda tridimensional.

Tabla 30

Costo/m² de pavimento con geocelda

Descripción	U/M	P.U.	Total
Geocelda tridimensional (e = 4cm)	m ²	42	
Concreto f'c 210 kg/cm ² (e = 4 cm.)	m ²	12	62 soles / m ²
Base (e = 8 cm.)	m ²	8	

Según la tabla 30 se muestra que el costo del pavimento mixto considerando la adición de geocelda tridimensional es de un total de 62 soles por cada metro cuadrado.

4.3.3.2. Costo del pavimento rígido de concreto.

Tabla 31

Costo/m² en el pavimento de concreto

Descripción	U/M	P.U.	Total
Pavimento c° (20 cm.)	m ²	60	75 soles / m ²
Base (e = 15 cm)	m ²	15	

Según la tabla 31 se muestra que el costo del pavimento rígido de concreto típicamente utilizado posee un costo total de 75 soles por cada metro cuadrado.

4.3.3.3. Costo del pavimento flexible.

Tabla 32

Costo/m² en el pavimento de asfalto

Descripción	U/M	P.U.	Total
Carpeta asfáltica (e = 5 cm.)	m ²	51	79 soles/ m ²
Base (e = 15 cm)	m ²	15	
Subbase (e = 15 cm)	m ²	9	
Imprimado (5 mm.)	m ²	4	

Según la tabla 32 se muestra que el precio del pavimento flexible de asfalto utilizado de manera usual en las carreteras en el país tiene un costo total de 79 soles por cada metro cuadrado.

Por tanto, para los datos expuestos en las tablas 30, 31 y 32 referente a los costos, en los principales tipos de pavimentos existentes, podemos asegurar que mediante la utilización de la geocelda tridimensional en un pavimento mixto se tiene un costo menor por cada metro cuadrado. Por lo cual se puede asegurar que

esta metodología es muy económica y debido a sus propiedades mecánicas es una opción muy atractiva para su aplicación.

4.4. Contrastación de hipótesis

4.4.1. Hipótesis general.

H1: Si se aplica el sistema de geocelda tridimensional mejorará el pavimento en el sector N° 02 Biohuerto San Antonio - Moquegua.

H0: Si se aplica el sistema de geocelda tridimensional no mejorará el pavimento en el sector N° 02 Biohuerto San Antonio - Moquegua.

Tabla 33

Prueba t de student mejoramiento del pavimento

		Prueba t de student							
		Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio	95% de intervalo de confianza de la diferencia		t	gl (bilateral)	Sig.
					Inferior	Superior			
Par 1	Pavimento con geocelda - Pavimento sin geocelda	-3,0866	0,22030	0,12719	-3,633929	-2,5394	-24,28	2	0,002

Nota: La tabla da a conocer el valor de la significancia utilizando la t de student.

Por lo tanto, según la tabla 33 referido a la prueba de la hipótesis se tiene, que con una probabilidad de la existencia de error del 0,002 acerca del mejoramiento del pavimento utilizando geoceldas tridimensionales, se toma la hipótesis alternativa (H1) que sería la siguiente:

H1: Si se aplica el sistema de geocelda tridimensional mejorará el pavimento en el sector N° 02 Biohuerto San Antonio - Moquegua.

4.4.2. Hipótesis específica 1.

H1: Los estudios y ensayos de laboratorio caracterizarían efectivamente las propiedades físicas y mecánicas del pavimento del sector N° 02 Biohuerto San Antonio - Moquegua.

H0: Los estudios y ensayos de laboratorio no caracterizarían efectivamente las propiedades físicas y mecánicas del pavimento del sector N° 02 Biohuerto San Antonio - Moquegua.

Tabla 34

Prueba t de student ensayos de mecánica de suelos

Prueba t de student							
Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio	95% de intervalo de confianza de la diferencia		t	gl	Sig. (bilateral)
			Inferior	Superior			
Ensayos de mecánica							
Par de suelos - Ensayos de 1 mecánica de suelos normativa	-1,1000	0,360555	0,208167	-1,995669 -0,204331	-5,28	2	0,0034

Nota: La tabla da a conocer el valor de la significancia utilizando la t de student.

Por lo tanto, según la tabla 34 referido a la prueba de la hipótesis se tiene, que con una probabilidad de la existencia de error del 0,0034 acerca de los ensayos de mecánica de suelos, se toma la hipótesis alternativa (H1) que sería la siguiente:

H1: Los estudios y ensayos de laboratorio caracterizarían efectivamente las propiedades físicas y mecánicas del pavimento del sector N° 02 Biohuerto San Antonio - Moquegua.

4.4.3. Hipótesis específica 2.

H1: Se reducirá el asentamiento del pavimento aplicando el sistema de geocelda tridimensional en el sector N° 02 Biohuerto San Antonio - Moquegua.

H0: No se reducirá el asentamiento del pavimento aplicando el sistema de geocelda tridimensional en el sector N°02 Biohuerto San Antonio - Moquegua.

Tabla 35

Prueba t de student asentamiento con geocelda

		Prueba t de student						
	Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio	95% de intervalo de confianza de la diferencia		t	gl	Sig. (bilateral)
				Inferior	Superior			
Par 1	Asentamiento con geocelda - Asentamiento sin geocelda	-1,4286	0,40064	0,23131	-2,42391	-0,433422	-6,17 2	0,0025

Nota: La tabla da a conocer el valor de la significancia utilizando la t de student.

Por lo tanto, según la tabla 35 referido a la prueba de la hipótesis se tiene, que con una probabilidad de la existencia de error del 0,0025 acerca del asentamiento utilizando geocelda tridimensional, se toma la hipótesis alternativa (H1) que sería la siguiente:

H1: Se reducirá el asentamiento del pavimento aplicando el sistema de geocelda tridimensional en el sector N° 02 Biohuerto San Antonio - Moquegua.

4.4.4. Hipótesis específica 3.

H1: La aplicación del sistema de geocelda tridimensional reducirá los costos del pavimento en el sector N°02 Biohuerto San Antonio - Moquegua.

H0: La aplicación del sistema de geocelda tridimensional no reducirá los costos del pavimento en el sector N° 02 Biohuerto San Antonio - Moquegua.

Tabla 36*Prueba t de student costos del pavimento con geocelda*

		Prueba t de student							
		Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio	95% de intervalo de confianza de la diferencia		t	gl (bilateral)	Sig.
					Inferior	Superior			
Par	Costos con geocelda -	-13,706	0,50806	0,29333	-14,96877	-12,4455	-46,72	2	0,0001
1	Costo sin geocelda								

Nota: La tabla da a conocer el valor de la significancia utilizando la t de student.

Por lo tanto, según la tabla 36 referido a la prueba de la hipótesis se tiene, que con una probabilidad de la existencia de error del 0,0025 acerca del costo unitario utilizando geocelda tridimensional, se toma la hipótesis alternativa (H1) que sería la siguiente:

H1: La aplicación del sistema de geocelda tridimensional reducirá los costos del pavimento en el sector N° 02 Biohuerto San Antonio - Moquegua.

4.5. Discusión de resultados

4.5.1. Mejoramiento del pavimento utilizando geocelda tridimensional.

Considerando los resultados obtenidos referido al mejoramiento del pavimento utilizando geocelda tridimensional y mediante la contrastación de las hipótesis, se verifico que esta brinda una mayor resistencia, ya que se visualizó en los resultados, una menor deflexión en la capa superficial del pavimento, y un menor costo final de aplicación por metro cuadrado utilizando el pavimento mixto.

Se coincide con las investigaciones realizadas por Diamond grid, (2008) que indica que el costo unitario por metro cuadrado es menor a lo empleado en el pavimento convencional. Referido a la instalación y la puesta inmediata en servicio

son menores, ya que, en el caso del pavimento convencional, es de 1 semana si es asfáltico, considerando pavimento de concreto es de 1 a 2 semanas sin adicionar ningún aditivo acelerante. Como se disminuyen los espesores del pavimento empleando la geocelda, la reducción de costos llega hasta un 60 %, lo cual no ocurre en un pavimento convencional, ya que no es posible disminuir el espesor mínimo de 15 cm. Referente a la mano de obra, las geoceldas tridimensionales, no requieren de una gran demanda de mano de obra calificado, en cambio si consideramos el pavimento convencional, es necesario, la mano de obra calificada en todas las etapas del proyecto.

Por lo tanto, se determina que el objetivo general referido al mejoramiento del pavimento empleando geoceldas tridimensionales, logrado con éxito ya que se demostró mediante los resultados obtenidos, un mejor comportamiento del pavimento.

4.5.2. Referido a las propiedades físicas y mecánicas del pavimento.

Considerando que los resultados referidos a las propiedades físicas y mecánicas de la subrasante y mediante la contrastación de las hipótesis, se verificó que posee un índice de plasticidad de 5,76 y 5,75 las cuales pertenecen a las calicatas 1 y 2 clasificándose como un suelo poco arcilloso. Además, posee un CBR al 95% de 6,5 y 6 que indica una subrasante buena – regular.

Los valores expuestos están contemplados en el Manual de Carreteras, Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos, indica que los índices de plasticidad son menores < 7 , con lo cual la plasticidad se considera baja, y la característica principal es que es un suelo poco arcilloso. Así también considerando los parámetros del CBR a un 95 % de 6,5 a 6, y según la tabla x un CBR $< 6\%$ y hasta un porcentaje $<$

20 % se considera una subrasante buena a regular, indicándose una profundidad de excavación de 0,80 m.

De igual manera la normativa, expone que la subrasante poseerá valores de acorde a lo exigido y un $\text{CBR} \geq 6\%$; caso será que estos ensayos, resulten menores a los descritos, por lo cual si un $\text{CBR} < 6\%$ se describe como una subrasante pobre o inadecuada.

Se expone que el primer objetivo específico referente a las propiedades físicas y mecánicas del pavimento son logrados con éxito, puesto que tanto para el índice de plasticidad como para el CBR estos cumplen los estándares referidos a las normativas actualmente vigentes.

4.5.3. Al asentamiento del pavimento aplicando geocelda tridimensional.

Mediante el ensayo de placa de carga, además de la aplicación de la ecuación de Boussinesq para deflexiones en un pavimento y con la contrastación de hipótesis, se determinó que la deflexión máxima existente mediante la aplicación de geocelda tridimensional fue de 0,005 mm.

De acuerdo con AASHTO (2002) el diseño moderno de pavimento flexible considera que los terrenos de fundación no deben exceder de 1 mm de formación por tanto según el valor expuesto en la investigación de 0,005 mm, este se encuentra por debajo del límite permisible expuesto por la normativa AASHTO.

Considerando las deflexiones existentes en el pavimento mediante la aplicación de la geocelda tridimensional se determinó que fue como máximo 0,005 mm demostrando de esta manera una influencia positiva en el asentamiento. Debido a que genera una mayor resistencia del pavimento ante cargas vehiculares. Por lo cual el segundo objetivo es logrado exitosamente.

4.5.4. Referido a los costos utilizando geocelda tridimensional.

Considerando el análisis realizado de costos unitarios y con la contrastación de hipótesis, se verifico que, el pavimento con geocelda posee un costo de 62 soles por cada metro cuadrado, el pavimento de concreto posee un costo de 75 soles por cada metro cuadrado y finalmente el pavimento asfaltico posee un costo de 79 soles por cada metro cuadrado. De esta manera se visualiza que el pavimento utilizando geocelda tridimensional posee un menor costo.

Se coincide con la investigación desarrollada por Cañón (2018) el cual en una obra de mejoramiento vial utilizando geoceldas tridimensionales, se tuvo como resultado final que el presupuesto de obra evidenciara un ahorro global de un 12 %. Finalmente, referido a los costos unitarios se visualiza que emplear la geocelda tridimensional, estos costos unitarios están por debajo de lo expuesto en las obras viales que actualmente se vienen ejecutando. Lográndose una disminución de hasta en un 21,5 % concretando que el tercer objetivo es logrado exitosamente.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

Primera. Aplicando el sistema de geocelda tridimensional en el sector N° 02 Biohuerto San Antonio - Moquegua se mejora el pavimento ya que este sistema brinda propiedades mecánicas muy eficientes, ya que generan una máxima deflexión de 0,005 mm y con referencia a los costos este sistema posee un menor costo, considerando que en nuestro medio la utilización de pavimentos rígidos y flexibles son muy usuales. Concluyéndose que efectivamente las geoceldas mejoran el pavimento.

Segunda. Se determinó de manera satisfactoria las propiedades físicas y mecánicas del pavimento localizado en el sector N° 02 Biohuerto San Antonio - Moquegua mediante los ensayos de laboratorio, los cuales brindaron resultados como son, una clasificación suelos, de arena limosa con grava. Un índice de plasticidad de 5,76 y 5,75. Para el ensayo Proctor una densidad de 1,89 y 1,83 gr/cm³ con una humedad de 14,7 % y 14,75 % respectivamente. El CBR al 95 % de 6,5 y 6,0. Concluyéndose que se caracterizó efectivamente las propiedades físicas y mecánicas mediante los ensayos de laboratorio.

Tercera. Se cuantifico efectivamente el asentamiento del pavimento en el sector N° 02 Biohuerto San Antonio - Moquegua, utilizando el ensayo de placa de carga, además de haber considerado la utilización de la ecuación de Boussinesq para las deflexiones en pavimentos, obteniéndose una deflexión máxima de 0,005 mm. Concluyéndose que mediante la utilización de geoceldas tridimensionales se disminuye la deflexión máxima considerando pavimentos usualmente utilizados en nuestro país.

Cuarta. Referido a los costos para el pavimento utilizando geoceldas tridimensionales en el sector N° 02 Biohuerto San Antonio - Moquegua, se tiene un costo unitario de 62 soles por cada metro cuadrado, para el pavimento de concreto tiene un costo de 75 soles por cada metro cuadrado y finalmente el pavimento asfáltico posee un costo de 79 soles por cada metro cuadrado. Concluyéndose que el costo unitario por metro cuadrado utilizando geocelda tridimensional es mucho menor a los que usualmente son utilizados en nuestro medio.

5.2. Recomendaciones

Primera. Considerando la aplicación del sistema de geocelda tridimensional en el sector N° 02 Biohuerto San Antonio - Moquegua se recomienda su utilización debido a que se verifico deflexiones muy por debajo de establecido en las normativas, así como también costos por debajo de lo actualmente utilizado en pavimentos convencionales.

Segunda. Referido a la evaluación de las propiedades físicas y mecánicas del pavimento mediante los ensayos de laboratorio, se recomienda su

utilización ya que se determinó de manera efectiva y confiable, los resultados obtenidos referente los principales ensayos empleados, como son granulometría, índice de plasticidad, Proctor, CBR y contenido de humedad.

Tercera. Con referencia al asentamiento del pavimento empleando geocelda tridimensional, se recomienda la utilización del ensayo de placa de carga, y la aplicación de la ecuación de Boussinesq ya que se determina efectivamente la deflexión existente, demostrándose así la efectividad de las geoceldas tridimensionales.

Cuarta. Considerando los costos referidos a la ejecución de pavimento, se recomienda emplear las geoceldas tridimensionales, debido a que poseen un costo unitario muy por debajo de los costos actualmente ejecutados en los pavimentos flexibles y rígidos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AASHTO. (1993). *AASHTO guide for design of pavement structures*. Washington D.C.: AASHTO.
- AASHTO. (2002). *AASHTO guide for design of pavement structures*. Washington D.C.: AASHTO.
- Abanto, F. (1995). *Tecnología del Concreto*. Lima - Perú: Universidad Mayor de San Marcos.
- Achaerandio, L. (2010). *Iniciación a la práctica de la investigación* (Vol. 7 Edición). (K. K. Arriaga, & G. G. Fong, Edits.) Guatemala: Magna terra editores.
- Babu, S. y Jigisha, V. (2017). *Análisis de pavimento flexible utilizando geocell - A estudio de caso comparativo*. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/329715352_Analysis_of_Flexible_Pavement_Using_Geocell-A_Comparative_Case_Study
- Bañón, L. y Bevia, J. (2010). *Manual de carreteras construcción y mantenimiento* (Vol. 2). Alicante, España: Universidad de Alicante.
- Cañón, S. (2018). *Beneficios técnicos y económicos en el uso de geoceldas en estructura* (Trabajo de grado). Universidad Católica de Colombia, Bogotá, Colombia.
- Chávez, H. y Fernández, D. (2019). *Mejora de la productividad en la instalación de un pavimento de capa de rodadura compuesta por geocelda y grava con el uso de suelo - cemento y herramientas de gestión ubicada en la selva peruana* (Tesis de pregrado). Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Lima, Perú.

- Cidelsa geoceldas. (2015). *Cidelsa una nueva visión del mundo*. Recuperado de www.cidelsa.com
- Comex Perú. (28 de Febrero de 2020). *Comex Perú*. Recuperado de <https://www.comexperu.org.pe/articulo/infraestructura-vial-gobiernos-subnacionales-estancados>
- Coria, A., Hernández, I. y Garnica, P. (2018). *Teorías para calcular esfuerzos, deformaciones y deflexiones en pavimentos flexibles: un enfoque mecanicista*. Snafandila: Secretaria de comunicaciones y transportes.
- Coronado, J. (2002). *Manual centroamericano para diseño de pavimentos*. Guatemala: La sieca.
- Cuartas, C. M. (2015). Optimización y refuerzos de estructuras de pavimentos flexible mediante geoceldas. *Revista ciencia e ingeniería Neogranadina*, 24 (2), 1-18.
- Diamond grid. (2008). *Guía de información e instalación diamond grid*. Recuperado de www.DiamondGrid.com.
- Escarraga, M., y Mejía, M. (2019). *Diseño de La estructura de pavimento, implementando geoceldas y suelo cemento, para mejorar la capacidad portante del suelo de la vía ubicada entre K10+500 y K11+500 en San José del Guaviare-Guaviare* (Trabajo de grado). Universidad Santo Tomas Villavicencio, San José del Guaviare, Colombia.
- Escudero, C. y Cortez, L. (2018). *Técnicas y métodos cualitativos para la investigación científica*. Machala - Ecuador: UTMACH.

- García, A. (2017). *Esfuerzos y de deformaciones en el pavimento flexible*. Recuperado de <https://fdocuments.ec/document/0400-esfuerzos-y-deformaciones-en-pavimentos-flexibles.html>
- Garzón, J. y Henao, B. (2019). *Estudio de alternativa para la estabilidad de un suelo utilizando materiales reciclables vs geoceldas convencionales* (Trabajo de grado). Universidad Católica de Colombia, Bogotá, Colombia.
- Geotecnia suelos. (2019). *Asentamiento en suelos - ingeniero de caminos*. Recuperado de <https://ingeniero-decaminos.com/asentamientos-en-suelos/>
- Giordani, C. y Leone, D. (2015). *Pavimentos*. Rosario: Universidad Tecnológica Nacional .
- Hernández-Sampieri, R., Baptista, L. y Fernández, C. (2014). *Metodología de la Investigación* (6ta ed.). Colombia: McGRAW - HILL / Interamericana editores, S.A. de C.V.
- Lázaro, M. y Telles, L. (2018). *Influencia del sistema Diamond Grid en el mejoramiento de la resistencia a la compresión en un pavimento de Trujillo 2018* (Tesis de pregrado). Universidad Privada del Norte, Trujillo, Perú.
- Martín, L. (2017). *Desempeño estructural de un sistema de confinamiento celular como alternativa de mejoramiento de suelos* (Tesis de maestría). Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia.
- Meyer, N. (2009). Contribution of neoweb to load bearing and stress distribution. *Summary of research and published technical papers*, 8.
- Meyer, N. y Emersleben, A. (2005). Mechanical behavior of geocell reinforced soils. *Information and lectures congress of the speciality section*, 32.

- Minaya, G. S. y Ordoñez, H. A. (2006). *Diseño Moderno de Pavimentos*. Lima: ICG - Instituto de la Construcción y Gerencia.
- Ministerio de Economía y Finanzas. (2015). *Pautas metodológicas para el desarrollo de alternativas de pavimentos en la formulación y evaluación social de proyectos de inversión pública de carreteras*. Lima: Servicios Gráficos JMD S:R.L.
- MTC. (2014). *Manual de carreteras: suelos, geología, geotecnia y pavimentos*. Lima, Perú: MTC.
- MTC. (2016). *Manual de ensayo de materiales*. Lima: MTC.
- Núñez, J. y Juvenal, R. (2004). *Conociendo los suelos de Moquegua*. Moquegua: Predes.
- Palmeira, E. (2018). *Geosintéticos en vías no pavimentadas*. Recuperado de <http://www.geosyntheticssociety.org/wpcontent/plugins/resources/documents/Unpaved%20Roads/Espanol.pdf>
- Pokharel, S., Han, J., Leshchinsky, D., Parson, R. y Halahmi, I. (2010). Investigación de factores que influyen en el comportamiento de bases reforzadas con geoceldas individuales bajo carga estática. *Geotextiles and geomembranes*, 1.
- Sánchez, H. y Reyes, C. (2015). *Metodología y diseños en la investigación científica* (5a ed.). Perú: Business Support Aneth S.R.L.
- Santisteban, E. (2019). *Evaluación de la estructura de pavimento flexible con la aplicación de geocelda en Huaura - Huaura - Lima, 2019* (tesis de pregrado). Universidad Cesar Vallejo, Huaura, Perú.

- Shahrokh, B. (2018). Diversas aplicaciones de geoceldas para carreteras - dos estudios del caso noreste. *Springer Nature Singapore*, 457-467. doi: org/10.1007/978-981-10-7721-0_29
- Showkat, N. y Parveen, H. (2017). *Non-probability and probability sampling*. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/319066480_Non-Probability_and_Probability_Sampling.
- SIECA. (2002). *Manual centroamericano para diseño de pavimento*. Guatemala.
- Sosa, J. (2010). *Soluciones e innovaciones tecnológicas de mejoramiento de vías de bajo tránsito*. Caracas.
- Sowers, G. B. y Sowers, G. F. (1972). *Introducción a la mecánica de suelos y cimentaciones*. México: Limusa-Wiley.
- Tamayo y Tamayo, M. (2011). *Tesis de investigación. población y muestra*. Recuperado de <http://tesisdeinvestig.blogspot.com/2011/06/poblacion-y-muestra-tamayo-y-tamayo.html>
- Tavakoli, G. y Karimi, M. (2018). Efecto de escala sobre el comportamiento del suelo reforzado con geoceldas. *Geotextiles y geomembranas*, 1.