



UNIVERSIDAD JOSÉ CARLOS MARIÁTEGUI

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN

FACULTAD DE CIENCIAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS

**GEOCELDA TRIDIMENSIONAL APLICADA PARA EL
MEJORAMIENTO FUNCIONAL EN TRAMO DE CARRETERA DE
BAJA CAPACIDAD ESTRUCTURAL PACCHANI-ICHUÑA
MOQUEGUA 2022**

PRESENTADA POR

BACH. ARMANDO ADOLFO RIVERA AYHUASI

ASESOR

MGR. KARLA FIORELLA CORNEJO LECAROS

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

MOQUEGUA – PERÚ

2024



Universidad José Carlos Mariátegui
FACULTAD DE CIENCIAS
“UNIDAD DE INVESTIGACIÓN”

“Año de la Recuperación y la Consolidación de la Economía Peruana”

00142-2025

CERTIFICADO DE ORIGINALIDAD

La que suscribe, en calidad de Jefe de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ciencias, certifica que el: Trabajo de Investigación (___) / Tesis (X) / Trabajo de Suficiencia Profesional (___) / Trabajo Académico (___), titulado: **GEOCELDA TRIDIMENSIONAL APLICADA PARA EL MEJORAMIENTO FUNCIONAL EN TRAMO DE CARRETERA DE BAJA CAPACIDAD ESTRUCTURAL PACCHANI – ICHUÑA MOQUEGUA 2022**, presentado por el bachiller: **RIVERA AYHUASI, Armando Adolfo**, para obtener el: Grado Académico (___) / Título Profesional (X) / Título de Segunda Especialidad (___) de: **INGENIERO CIVIL**, asesorado por la Mg. Karla Fiorella Cornejo Lecaros, designada con Resolución de Decanatura N° 993-2023-DFAIA-UJCM, fue sometido a revisión de similitud textual con el software TURNITIN obteniendo un porcentaje del **38%**, el cual se encuentra dentro de los parámetros **PERMITIDOS** por la Universidad José Carlos Mariátegui, de conformidad a la normativa interna, considerándolo apto para su publicación en el Repositorio Institucional.

Se expide la presente para los fines pertinentes.

Moquegua, 18 de febrero de 2025



UNIVERSIDAD JOSÉ CARLOS MARIÁTEGUI
FACULTAD DE CIENCIAS


Dra. DORA AMALIA MAYTA HUIZA
JEFE DE LA UNIDAD DE INVESTIGACIÓN

CONTENIDO

	Pág.
DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO	iii
CONTENIDO	iv
ÍNDICE DE TABLAS	vii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	viii
RESUMEN.....	ix
ABSTRACT.....	x
INTRODUCCIÓN	xi
CAPÍTULO I.....	1
PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	1
1.1. Descripción de la Realidad del Problema	1
1.2. Definición del Problema	1
1.2.1. Problema General	1
1.2.2. Problemas Específicos	1
1.3. Objetivos de la Investigación	2
1.3.1. Objetivo General.....	2
1.3.2. Objetivos Específicos	2
1.4. Justificación.....	2
1.5. Alcances y Limitaciones	3
1.5.1. Alcances.....	3
1.5.2. Limitaciones.....	3
1.6. Variables	4
1.6.1. Operacionalización de Variables	4
1.7. Hipótesis.....	5
1.7.1. Hipótesis General.....	5
1.7.2. Hipótesis Específicas	5
CAPÍTULO II	6
MARCO TEÓRICO.....	6
2.1. Antecedentes de la Investigación	6
2.1.1. Antecedentes Internacionales	6

2.2. Marco Teórico	12
2.2.1. Geo celdas para pavimentación	12
2.2.2 Las Geo celdas.....	12
2.2.3 Aplicaciones de geo celdas en obras de ingeniería.....	14
2.2.4 Factores que influyen en la mejora de suelos con geo celdas.....	19
2.2.5 Mecanismos teóricos del desarrollo del refuerzo de la geo celda.....	22
2.2.6 Instalación de las geo celdas	26
2.2.7. Relleno.....	27
2.2.8 Metodología Giroud-Han.....	29
2.2.9 LCR, Layer Coefficient Ratio.....	31
2.2.10 Aashto 93	32
2.3 Definición de términos	33
CAPÍTULO III	37
MÉTODO.....	37
3.1. Tipo de Investigación.....	37
3.2. Diseño de la Investigación	37
3.3. Población Y Muestra.....	37
3.4. Descripción del tramo de carretera	38
3.4.1 Condiciones de la zona de estudio.....	38
3.4.2 Instrumentos y Técnicas de recolección de datos	39
CAPÍTULO IV	40
ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	40
4.1. Ubicación del Proyecto	40
4.1.1. Metodología.....	40
4.1.2 Cálculo del tránsito de diseño	41
4.2. Estudio geotécnico	43
4.3 Calculo CBR de diseño	45
4.3.1 Método del Instituto del asfalto.....	45
4.3.2 Mejoramiento.....	47
4.3.3 Cálculo del Módulo Resiliente	48
4.3.4 Espesor de la subbase granular tipo C para vías no pavimentadas y sin refuerzo	49

4.3.5	Estabilización de subrasante con geo malla tridimensional.....	50
4.3.6.	Análisis de resultados de las deformaciones	52
4.4	Capacidad portante de la subrasante	55
4.5	Discusión de resultados.....	57
4.6	Contrastación de hipótesis	59
5.1	Conclusiones	62
5.2	Recomendaciones.....	64
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	66
	ANEXO.....	69

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 Operacionalización de Variables	4
Tabla 2 Propiedades típicas evaluadas en geo celdas	19
Tabla 3 Estudio de tránsito.....	41
Tabla 4 Numero de repeticiones esperadas para el periodo de diseño.....	42
Tabla 5 Calicatas y ubicación	43
Tabla 6 Perfil del suelo C1	43
Tabla 7 Resultados de ensayos de campo	44
Tabla 8 Percentiles para definir el CBR de diseño	46
Tabla 9 Cálculo del módulo resiliente de diseño	48
Tabla 10 Cálculo de Material granular en vía no reforzada con subbase tipo C ...	50
Tabla 11 Cálculo de espesor de diseño para geomalla triaxial	52
Tabla 12 Valores típicos de MIF.....	56
Tabla 13 Características de la subrasante.....	56

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 Geo celdas Diamon Grid	15
Figura 2 Geo celdas Diamon Grid Haeve Duty	16
Figura 3 Geo celdas de diferentes materiales. a) Geomallas, b) Geotextiles, c) Aleación polimérica, d) Bambú	18
Figura 4 Tipos de refuerzos de geo celdas: W-GT, NW-GT y B-GG	21
Figura 5 Geometría de las geo celdas	22
Figura 6 Esquema del efecto del confinamiento: a) aplicación de la carga; b) inducción de esfuerzos horizontales dentro de la celda; c) movilización de esfuerzos cortantes en la interfaz suelo / pared de la celda.	23
Figura 7 Esquema del efecto de disipación de esfuerzos	24
Figura 8 Esquema del efecto membrana: a) aplicación de la carga; b) deformación del suelo de fundación y activación de esfuerzo de corte en la interfaz suelo / geo celda y de tracción en el geo sintético.....	25
Figura 9 Instalación de geo celda.....	26
Figura 10 Colocación de geo celdas.....	27
Figura 11 Relleno.....	28
Figura 12 Cubierta.....	28
Figura 13 Imprimación.....	29
Figura 14 Valores de LCR	31
Figura 15 Clasificación de la subrasante.....	44
Figura 16 Determinación de CBR de diseño.....	46
Figura 17 Espesor de la subrasante mejorada de acuerdo al CBR de diseño.....	47
Figura 18 Numero estructural de la subrasante.....	49
Figura 19 Respuestas de la estructura en interfases y evaluación de la deflexión vertical por fatiga y ahuellamiento.....	53
Figura 20 Estructura considerando mejoramiento de la subrasante con la incorporación de geo celda tridimensional	58

RESUMEN

El presente trabajo de Investigación estudia la problemática que presentan muchos suelos en la Región Moquegua y en nuestro país, debido a la variedad de formaciones geológicas que comprende nuestro territorio. Se plantea como problema fundamental la baja capacidad estructural en tramos de la carretera en el sector de Pacchani – Ichuña de Moquegua, efectuando un estudio de la estabilidad del suelo con respecto a las capas estructurales sobre todo de la carretera a nivel de afirmado y relacionando el espesor de la subbase con su comportamiento con la inclusión de una geo celda tridimensional a nivel de subrasante que como es de manifiesto por los autores referidos es donde se define el comportamiento y propiedades físicas del paquete estructural ya sea de un pavimento rígido o flexible. Se estiman las capacidades estructurales mediante el módulo de elasticidad el que se encuentra directamente relacionado con el CBR, la capacidad de soporte y el módulo de resiliencia utilizando correlaciones establecidas, luego se calculan las deformaciones verticales sin la inclusión de la geo malla y con la inclusión de la misma obteniendo en ambos casos resultados favorables, lo que indica que se produce una situación favorable al incluir como material de mejora la geo malla que en este caso es la tridimensional.

Palabras clave: Capacidad de soporte, geo sintéticos, carreteras y deformaciones.

ABSTRACT

This research work studies the problems that many soils present in the Moquegua Region and in our country, due to the variety of geological formations that comprise our territory. The low structural capacity in sections of the highway in the Pacchani - Ichuña sector of Moquegua is raised as a fundamental problem, carrying out a study of the stability of the soil with respect to the structural layers, especially of the highway at the level of affirmation and relating the thickness of the subbase with its behavior with the inclusion of a three-dimensional geocell at the subgrade level, which, as shown by the aforementioned authors, is where the behavior and physical properties of the structural package, whether a rigid or flexible pavement, are defined. The structural capacities are estimated through the elasticity modulus, which is directly related to the CBR, the support capacity and the resilience modulus using established correlations, then the vertical deformations are calculated without the inclusion of the geogrid and with the inclusion of the same, obtaining favorable results in both cases, which indicates that a favorable situation occurs when including the geogrid, which in this case is three-dimensional, as an improvement material.

Keywords: Support capacity, geosynthetics, roads and deformations.

INTRODUCCIÓN

El deterioro de una vía de transportes nos demuestra que esta ha disminuido su resistencia estructural, que se puede traducir en generar ciertos riesgos y molestias en los usuarios de la carretera, por esto es conveniente de actividades de rehabilitación que garanticen una condición de servicio con los estándares de operatividad y seguridad vial.

Las vías ya sean afirmadas o pavimentadas deben ser intervenidas con el objetivo de recuperar el adecuado funcionamiento del pavimento o carretera y que este en servicio por el tiempo al que fue diseñado. Estas acciones de mantenimiento o construcción pueden comprender el reemplazo parcial o total de las capas estructurales del asfalto, al optar por el asfaltado definitivamente se realiza una ampliación de períodos de vida útil de este, para esto hay que seleccionar los materiales a emplearse los mismos que deben cumplir con las funciones de resistencia, durabilidad, economía y tener un controlado impacto ambiental.

En el presente trabajo de investigación se analizara la problemática de los suelos de baja capacidad de soporte en los primeros kilómetros de la carretera utilizando la propuesta de la utilización de la geo celda Diamond Grid la misma que es empleada para estabilizar terrenos o pavimentos con baja capacidad portante como los encontrados en la carretera mencionada, la misma que está conformada por celdas que corresponden a estructuras tridimensionales y debido a sus características permiten el confinamiento de materiales del suelo para mejorar el comportamiento estructural de las carreteras.

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1.Descripción de la Realidad del Problema

El estado de conservación durante la vida útil de las vías de transportes es una de las actividades que demandan cierta preocupación por los encargados de las Instituciones públicas, las que usualmente son las que se encargan de su construcción y mantenimiento. Uno de los problemas en la ejecución de pavimentos es el empleo de materiales de calidad y que sean factibles de utilizarlos y actualmente se debe considerarse el factor ambiental y emplear cada vez más materiales que no se consideren contaminantes. Al presentarse el deterioro prematuro de las carreteras los factores posibles que las causan son el mal diseño de estas, la mala o nula programación del mantenimiento, la mala ejecución de las obras, los materiales empleados y otras que van a repercutir en un gasto presupuestal que no debería darse. En la zona de estudio, constantemente se observa las fallas prematuras de la carretera, aparte de ocasionar perjuicios económicos, que reduce la transitabilidad en la zona. Además, en este tramo la temperatura llega a -10 °C y se encuentra a 3,400 msnm, además los suelos son blandos con propiedades físicas mecánicas de baja calidad.

Últimamente se están investigando y experimentando con nuevos materiales que cumplan con los requerimientos estructurales, técnicos, económicos y ambientales; hace algunos años se han realizado importantes resultados con la utilización de geoceldas tridimensionales, que son materiales confeccionados con geometrías de celdas, las cuales se sometieron a pruebas de laboratorio y campo con resultados satisfactorios y su utilización en diversos países se está difundiendo como en Estados Unidos, Sudáfrica y Alemania por citar algunos de ellos.

1.2. Definición del Problema

1.2.1. Problema General

¿El uso de la geocelda tridimensional dará solución a los problemas de capacidad estructural en tramo de la carretera de baja capacidad estructural Pacchani - Ichuña?

1.2.2. Problemas Específicos

- ¿La aplicación de la geocelda tridimensional permite brindar estabilidad a un suelo de baja capacidad estructural reduciendo el espesor de las capas estructurales?
- ¿El uso de la geocelda tridimensional a nivel de subrasante contribuye con la durabilidad en tramo de baja capacidad estructural en la carretera Pacchani – Ichuña?
- ¿El empleo de la geocelda tridimensional a nivel de subrasante reduce las deformaciones de la estructura conformante en la posterior pavimentación en tramos de baja capacidad estructural en la carretera Pacchani - Ichuña?

1.3.Objetivos de la Investigación

1.3.1. Objetivo General

Determinar que el uso de la geo celda tridimensional dará solución a los problemas de capacidad estructural de los tramos de baja capacidad estructural de la carretera Pacchani – Ichuña.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Determinar que la aplicación de la geo celda tridimensionales permite brindar estabilidad a un suelo de baja capacidad estructural reduciendo el espesor de las capas estructurales.
- Determinar que el uso de la geo celda tridimensional a nivel de subrasante contribuye con la durabilidad en tramo de baja capacidad estructural en la carretera Pacchani - Ichuña.
- Determinar que el empleo de la geo celda tridimensional a nivel de subrasante reduce las deformaciones de la estructura conformante en la posterior pavimentación en tramos de baja capacidad estructural en la carretera Pacchani - Ichuña.

1.4. Justificación

En la construcción de carreteras hay que superar una serie de factores adversos como son los suelos de mala calidad, niveles freáticos superficiales o afloramientos que producen los suelos saturados, por esto en el presente trabajo se hace un enfoque del impacto vial, económico y ambiental que se genera al proponer la utilización de la geo celda tridimensional en suelos de baja calidad o de poca capacidad de soporte.

Bajo el punto de vista técnico, en este trabajo se realiza un estudio de la aplicación de la geo celda tridimensional, que solucione los aspectos de resistencia, y durabilidad vial en carreteras de suelos blandos con propiedades físico mecánicas poco competentes.

Desde el punto de vista ambiental, se busca un desarrollo sostenible, al minimizar las actividades del movimiento de tierras para la ejecución de las carreteras.

Desde el punto de vista económico, al proponer su utilización, se incrementa la prolongación de la vida útil de la carretera al reducir costos en la ejecución, en la selección de esta propuesta se demostrará que es económicamente más conveniente.

1.5.Alcances y Limitaciones

1.5.1. Alcances

- El trabajo de investigación que se presenta analizará los aspectos técnicos de los campos vial, económico y ambiental de la geo celda tridimensional que se utilizara como alternativa de utilización en un tramo de carretera que presentan suelos con poca capacidad de soporte que puede ampliarse a cualquier tramo de condiciones similares.
- Además, se permitirá conocer que el uso de la geo celda tridimensional resolverá problemas de viabilidad que se presentan en carreteras de suelos incompetentes en las regiones del país.

1.5.2. Limitaciones

- Carencia de aplicación en la utilización de Geo celdas Tridimensionales aplicadas en carreteras.
- Dificultad de acceso a los permisos para intervención.

1.6. Variables

1.6.1. Operacionalización de Variables

a) Variable Independiente (X)

- Geo celda tridimensional.

b) Variable Dependiente (Y)

- Capacidad Estructural.

Tabla 1

Operacionalización de Variables

Variables	Definición	Dimensiones	Indicador	Escala de Medición
Geo celda tridimensional	fabricadas conformada de paneles de geo membrana de polietileno o polipropileno. Permite conseguir una buena compactación del terreno mediante la creación de un suelo artificial.	Materiales Creación de suelo artificial	- Materiales - Construcción - Compactación - Reducción de Costo	Nominal
Capacidad Estructural	Características estructurales de soporte de una carretera	-Propiedades - Comportamiento	- Resistencia mejorada - Estabilidad	Nominal

Nota. La tabla describe las dimensiones e indicadores de las variables, vinculándolos con las técnicas e instrumentos empleados para garantizar la coherencia con los objetivos del estudio.

1.7.Hipótesis

1.7.1. Hipótesis General

El uso de geo celda tridimensional permite solucionar los tramos de baja capacidad estructural en tramo de la carretera Pacchani - Ichuña.

1.7.2. Hipótesis Específicas

- La aplicación de la geo celda tridimensionales permite brindar estabilidad a un suelo de baja capacidad estructural reduciendo el espesor de las capas estructurales en tramo de la carretera Pacchani - Ichuña.
- El uso de la geo celda tridimensional a nivel de subrasante contribuye con la durabilidad en tramo de baja capacidad estructural en la carretera Pacchani - Ichuña.
- El empleo de la geo celda tridimensional a nivel de subrasante reduce las deformaciones de la estructura conformante en la posterior pavimentación en tramos de baja capacidad estructural en la carretera Pacchani - Ichuña.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la Investigación

2.1.1. Antecedentes Internacionales

Duarte y Sierra (2011) presentan su tesis de pre grado “Estudio del comportamiento de un material de sub rasante típico de Bogotá mejorado con un sistema de geo celdas mediante la aplicación de ciclos de carga y descarga por medio de pruebas de laboratorio” donde realizan estudios en suelos con propiedades adversas con $CBR < 2,5$. Los resultados encontrados en este trabajo de indican que emplear una estructura de geo celdas es beneficioso en comparación con una estructura convencional al disminuir los esfuerzos y asentamientos en una sub rasante, al utilizar geo celdas con elementos de relleno se aminoran los parámetros mencionados en forma considerable. La reducción en los asentamientos es alrededor del 34% al emplear una estructura de geo celdas comparando con un sistema convencional de estabilización. Además, los esfuerzos se ven reducidos alrededor del 53% al considerar una estructura de geo celdas. Si se aplican ciclos

de carga y descarga se comprueba que las deformaciones plásticas en un sistema de estabilización tradicional son muy grandes con respecto a una estructura sin estabilizar, encontrando deformaciones plásticas alrededor del 11,7% en una estructura estabilizada con geo celdas, lo que es muy beneficioso en los pavimentos, al obtener el suelo mayor resistencia ante la aplicación de carga y descarga.

García (2020), en su monografía de grado doctoral intitulada “Análisis comparativo del uso de geo celdas como elemento de refuerzo en pavimentos flexibles” hace ver con claridad diferentes alternativas técnicas para asignar la distribución de recursos para las actividades de reparaciones y mantenimientos de carreteras y vías que utilizan geo mallas en el trayecto de su estructura, se manifiesta como al emplear geo celdas se obtienen mejores rendimientos en comparación con los utilizados en actividades de reparación otorgándole mayor vida útil y mejor calidad. Al comparar los sistemas se nota una disminución en el espesor de la base granular en la estructura reforzada con un tipo de geo celda en comparación con el sistema inicial en un 47%, respecto a la sub-base un 25% y con respecto a la totalidad del espesor en un 25%. Realizando la comparación de los módulos de los dos materiales, se concluye que en lavase y en la sub-base se produce un incremento en los materiales con menor espesor.

Shahrokh (2018), presenta en su artículo diversas aplicaciones de geo células para autopistas: dos estudios de caso del noreste. Las geo células son geo sintéticos que son esencialmente tridimensionales y tienen un perfil celular romboidal. Las geo células con aplicaciones de ingeniería, que ahora se fabrican en la India, se fabrican a partir de correas de HDPE texturadas que se sueldan entre sí. Para aplicaciones importantes, las geo células están perforadas juiciosamente para el alivio de la

presión de drenaje e interacción de celda a celda. El geosintético es versátil y se puede utilizar para una variedad de aplicaciones geotécnicas, en general con carga y protección contra la erosión. El perfil de las geo células para estas dos amplias aplicaciones difiere; La geo célula para el cojinete de carga es más profunda y tiene un espacio de soldadura más cercano. Este documento destaca la aplicación de geo células en carreteras, específicamente la rehabilitación de una carretera y la protección de taludes de terraplenes, ambos casos en Assam, Churaibari y Bogibeel. Ambos estudios se relacionan con medidas de corrección que fueron consideradas luego de muchos intentos. En ambas situaciones, las geo células se colocaron con mucha inmediatez. Es cierto que las acciones se desarrollaron en situaciones de emergencia, no se tuvo que efectuar trabajos adicionales y las acciones tomadas fueron a largo plazo. Además, es necesario recalcar también que las geo células no necesariamente forman parte de la gestión de desastres, pero si desempeñan y juegan un papel importante dentro de un sistema de rehabilitación y mantenimiento de carreteras que poseen muchas ventajas inherentes.

Babu y Babu (2014), en su artículo presentado sobre el análisis de pavimento flexible empleando Geocell-A como un estudio comparativo, manifiesta que, debido a la aplicación de ciclos repetitivos de cargas, la performance del pavimento se ve afectada y, por lo esto, se programan procedimientos de verificación de daños para subsanar los defectos sufridos por el pavimento flexible. Al diseñar los pavimentos flexibles es común requerir el conocimiento de los mecanismos de falla del pavimento, los factores de carga y también presentar actividades adecuadas para realizar la evaluación del pavimento en cuanto a su funcionalidad. Últimamente, el empleo de geo células en la mejora del rendimiento de los pavimentos he tenido

mucha acogida. El empleo de geo células incrementa la estabilidad de las vías y aumenta su rendimiento al aumentar la capacidad de carga. La geo además contribuye a reducir el espesor de capa de rodadura del pavimento flexible, lo que conlleva a la disminución en el costo del mantenimiento y de la construcción de las carreteras. En el presente estudio se propone una solución de bajo costo y buena duración para solucionar un problema en particular, se utilizó las Geo células SW 330. Esta investigación pone énfasis en el fortalecimiento del suelo limoso de alta plasticidad (MH) que se encuentra en las proximidades de la Carretera Nacional 8, la Estación de ferrocarril Bhilad, la Escuela Swaminarayan y el GIDC de Vapi, región de Gujarat, que se utilizara como como material de sub base. Se emplea la SW 330 Geo cells como refuerzo. Los ensayos de CBR se llevaron a cabo con SW 330 Geo cell y sin Geo cell, en condiciones remojadas y no remojadas de suelo tipo MH para determinar los efectos de la estructura de refuerzo de geo células SW 330. Al utilizar SW 330 Geo cell se incrementó el CBR y por ello se redujo el espesor de la capa de rodadura del pavimento de 78,0 mm a 60,0 mm en diseño. La utilización de Geo células SW 330 incrementa además la estabilidad de las estructuras y mejorar su tiempo de vida útil al aumentar la capacidad de carga del terreno. Se realiza una comparación entre el diseño de pavimento flexible tradicional versus el pavimento flexible reforzado con geo celda SW 330 geo cell. Se realiza la comparación de los resultados de diseño de ambas estructuras; Los pavimentos utilizando geo celdas son más beneficiosas.

2.1.1 Antecedentes Nacionales

Alcázar (2021), presento su tesis “Aplicación de la geo celda tridimensional para pavimentación en suelo volcánico en la avenida 3 del Centro poblado Cogri en el

distrito de Omate – Moquegua, donde realiza su investigación con respecto a la aplicación de la geo celda tridimensional Diamont en las carretera de la zona alta de Moquegua donde se tiene mayor confluencia de suelos volcánicos inestables que corresponden a suelos blandos, sin presencia de material granular adecuado, con características físicas y mecánicas adversas obteniendo resultados alentadores en cuanto a su aplicación, mejorando el comportamiento y los cuidados al medio ambiente.

Sojo (2020), en su tesis de maestría en ingeniería civil “Análisis de deformación tridimensional de pavimentos con geocelda - tipo diamante en la Carretera binacional km 1000+250 a km 1000+255, sector Huaytire –Moquegua”

que el uso de la geocelda tridimensional en la Carretera Binacional Km 1000+250 a Km 1000+255, Sector Huaytire– Moquegua, concluye que el uso de la geo celda tridimensional es beneficioso porque soluciona las situaciones de inestabilidad del terreno, debido a al obtener menores deflexiones y deformaciones, además su costo de ejecución es más económico en comparación con la ejecución de un pavimento tradicional. Luego las propiedades mecánicas del terreno de fundación de la carretera Huaytire – Moquegua mejoran en un 5 %.

Nolazco (2020), es su tesis “Uso de geo celdas en pavimentos flexibles usadas en los últimos 10 años”, presentó una revisión ordenada por medio de un estudio de comparación entre pavimentos flexibles con y sin geo celdas, en este estudio se tuvo como parámetro central las consideraciones de inclusión así como de exclusión respecto a los artículos relacionados con el tema de investigación, asimismo se consideró los criterios de búsqueda, el registro de sus datos con su respectivo estudio cuantitativo en cada caso revisado, efectuando el análisis comparativo.

Todo ello estuvo sujeto a una evaluación teniendo como parámetros de estudio el uso de Geo celdas en pavimentos flexibles, con diferentes tipos de revestimiento para demostrar cómo influyen durante la concepción y diseño de estos sistemas. Después de efectuar el diseño, se realiza el análisis de las variables definidas para tener un criterio adecuado componente adecuado para la comparación, esto se realiza de acuerdo a la norma peruana de estabilización de suelos y taludes CE 020. Para esto la búsqueda de la información se efectuó en fuentes confiables llegando a concluir que la utilización de la geo celda en pavimentos flexibles es beneficioso bajo el punto de vista técnico y económico.

Chura (2022), en su trabajo de investigación “ Mejoramiento del pavimento aplicando el sistema de geo celda tridimensional en el sector n° 02 Bio huerto San Antonio – Moquegua, concluye sobre la aplicación del sistema de geo celda tridimensional recomendando su utilización debido a que se obtuvo deflexiones inferiores a las indicadas en las normas, así también los costos encontrados están por debajo de lo que en la actualidad se emplea en pavimentos convencionales. Con respecto a la consideración de las propiedades mecánicas y físicas del pavimento por medio de pruebas de laboratorio, concluye recomendando su uso ya que se determinó condiciones adecuadas y favorables según las pruebas empleadas, tal es el caso de la granulometría, el índice de plasticidad, el Proctor, prueba del CBR y el contenido de humedad y respecto al asentamiento del pavimento utilizando geo celda tridimensional, efectuando la prueba de la placa de carga, y la aplicación de la ecuación de Boussinesq se determinaron deflexiones menores, demostrándose así la efectividad de las geo celdas tridimensionales.

2.2. Marco Teórico

2.2.1. Geo celdas para pavimentación

En el presente del siglo, se están desarrollando nuevas técnicas y métodos de construcción que respeten las condiciones del medio ambiente, es por esto que muchos estudios han demostrado que los geo sintéticos son materiales que constituyen sinergias importantes en el uso racional y en la conservación del medio natural. En nuestro medio muchos de sus suelos son problemáticos desde el punto de vista de sus propiedades físico mecánicas, así como su comportamiento ante cargas y factores climáticos como la presencia de lluvias en zonas altas, por lo que constantemente se está realizando una búsqueda de soluciones económicas y duraderas para evitar las fallas prematuras en los pavimentos

2.2.2 Las Geo celdas

Es un tipo de asfaltado, donde utiliza materiales pertenecientes a la familia de los geo sintéticos conformados por un sistema de estructuras tridimensionales en forma de panal de abeja y que se rellenan con grava, tierra, concreto, entre otros dependiendo cual sea el utilización; su empleo data de los años 70 utilizado por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército Americano, empleado para construir vías de acceso inmediato en desiertos y playas, empleando arena del sitio como elemento de confinamiento, lo que conforma una estructura de confinamiento tridimensional en celdas y flexible, fabricadas conformando paneles de geo membrana de polietileno o polipropileno. Cada celda se comporta como una pequeña represa que drena el paso del agua y el viento pasa sobre la superficie, de esa forma las fuerzas erosivas son disipadas, las paredes

de cada celda impiden la formación de charcos o flujos evitando así la formación de procesos erosivos de taludes, en cada celda se tiene en forma protegida un espesor de tierra o material determinado.

La estructura tridimensional confinada debido a la formación de un espacio de suelo o pared artificial que se produzca una compactación adecuada del suelo, con un buen drenaje o en casos que se requiera de una composición de vegetación en ambos casos se puede lograr una compactación adecuada del suelo, también se puede aprovechar el confinamiento del material que se le utilice con lo cual presenta un avance considerable cualitativo con respecto a los sistemas de estabilización, este material se ha diseñado para paliar los efectos adversos de la erosión causada por el agua y el viento.

Por su parte Diamond Grid es un sistema de rejillas entrelazadas por un sistema de drenaje que reduce la erosión y elimina la compactación de la subestructura, es fácilmente re localizable y de fácil instalación. En el presente trabajo de investigación se escogió este producto innovador que se diseña y produce en Australia confeccionado en polipropileno 100% reciclado.

Es resistente a los rayos Ultra Violetas UV, y fácil de trasladar e instalar. Es producido por la empresa Diamond Grid la cual creó una superficie sólida, seca y segura, aún bajo condiciones como resequead o lluvias constantes. Las rejillas son durables, y soportan una capacidad de carga de más de 1000 t/m². Presentan durabilidad comprobada. Es resistente a los rayos Ultra Violetas UV, es fácil de instalar y trasladar. Es producido por la compañía Diamond Grid que presentan una superficie sólida, segura y seca aún en condiciones adversas como lluvias constantes y resequeadas. Sus componentes son durables, y

tienen una capacidad de carga amplia y perduran aun en condiciones de uso constante.

2.2.3 Aplicaciones de geo celdas en obras de ingeniería

Actualmente las geo celdas se utilizan en muchas obras de ingeniería de suelos, estas han sido empleadas en diversas construcciones ingenieriles como carreteras, terraplenes, pavimentos, cimientos, vías férreas, muros de contención, control de erosión en taludes, revestimiento de canales, protección de tuberías, etc. Su utilización aumenta rápidamente al conocer las ventajas que las geo celdas ofrecen con respecto a las soluciones tradicionales. Mayormente sus aplicaciones de refuerzo con geo celdas se concentran en aumentar la resistencia portante del terreno como estructura de cimentación. Las aplicaciones con geo celdas se pueden clasificar de acuerdo con la utilización a emplearse en los proyectos los que se resumen en el aumento de la capacidad portante, el mejoramiento en el confinamiento del material y el control de asentamientos, en los respectivos campos de aplicación por ejemplo la aplicación de las geo celdas con el objeto de aumentar la capacidad portante se presenta en pavimentos, terraplenes y plataformas. Otra aplicación distinta en cuanto a su forma de uso, es el confinamiento del elemento de relleno como es en disipación de la erosión en taludes, en este tipo de estructura la geo celda no se emplea como una mejora del suelo, sino que se utiliza como una forma que tiene la capacidad de enclaustrar el material de relleno. Podemos resumir su uso en la prevención donde los suelos naturales se conviertan en zonas inundadas formando lodos y barro inutilizables en épocas lluviosas; Reforzar la

superficie de las vías ante la erosión, tratamiento y reforzamiento de carreteras; como material de retención de ripio asimismo como proveedor de drenaje.

En generales su aplicación es funcional en actividades civiles, mineras, rurales, estructurales y otras.

Se presentan dos modelos:

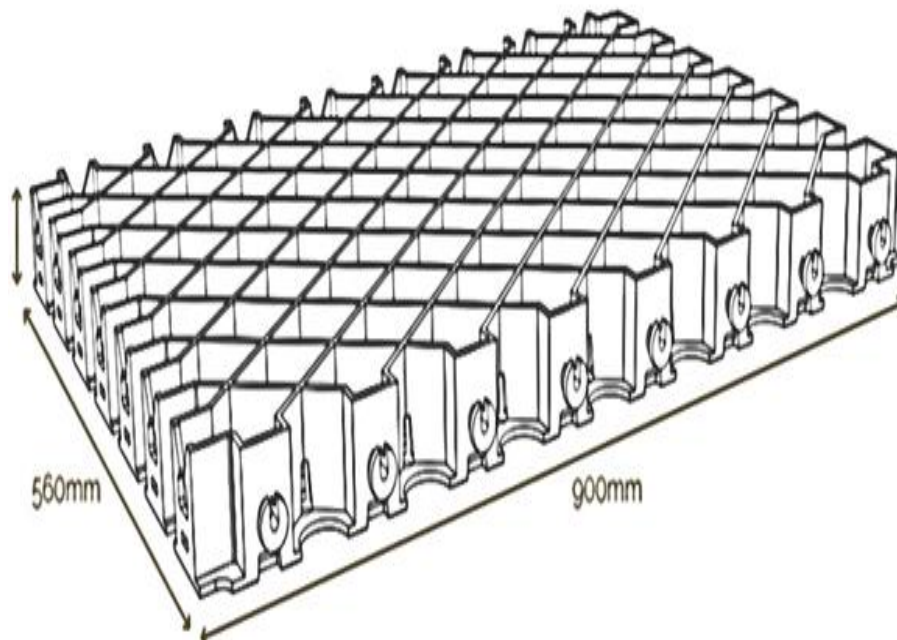
2.2.3.1 La Geo celda Diamond Grid.

Sus medidas son: 90 cm x 56 cm x 2.5 cm.

Posee un enrejado clásico muy acorde para la gran parte de utilidades domésticas y rurales es muy apropiada para áreas de sectores reducidos que necesiten refuerzo y estabilización.

Figura 1

Geo celdas Diamon Grid



Nota: DiamondGrid.com (2018).

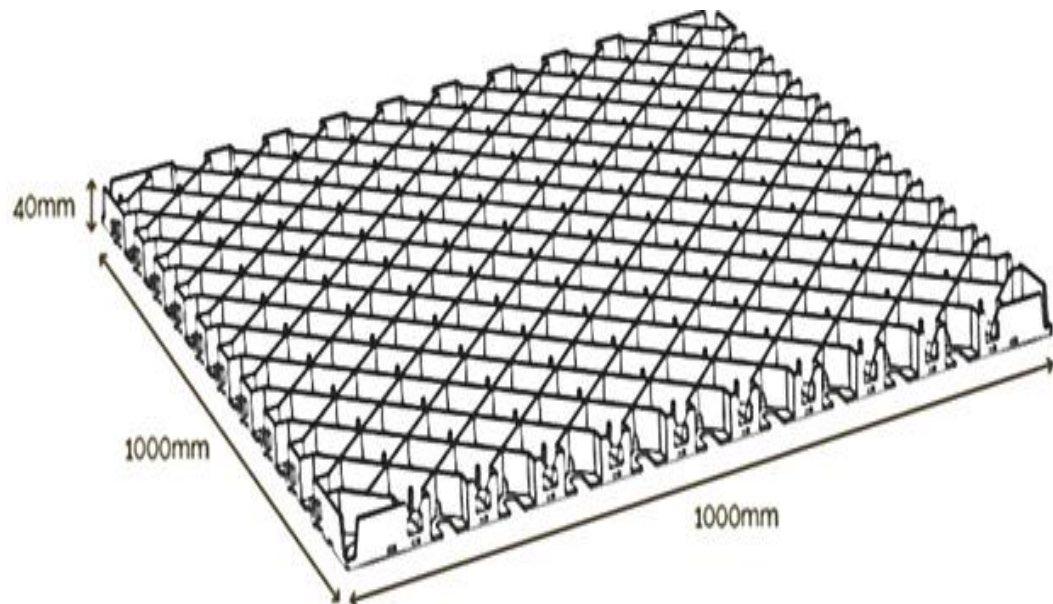
2.2.3.2 La Geo celda Diamond Grid Heavy Duty.

Sus medidas son: 100 cm x 100 cm x 4 cm.

Presenta un enrejado más grande, está diseñada para ser utilizada en aplicaciones de ingeniería civil y minería, es robusto y de fácil instalación.

Figura 2

Geo celdas Diamon Grid Haeve Duty



Nota: DiamondGrid.com (2018).

2.2.3.3 Beneficios y Propiedades.

El empleo de relleno local, en realidad se puede utilizar cualquier relleno disponible localmente que debe cumplir el requisito de ser un agregado limpio. Al momento de confinar el relleno se logra la estabilización del suelo, lo que se realiza en 3D, evitando el movimiento debajo de la carga.

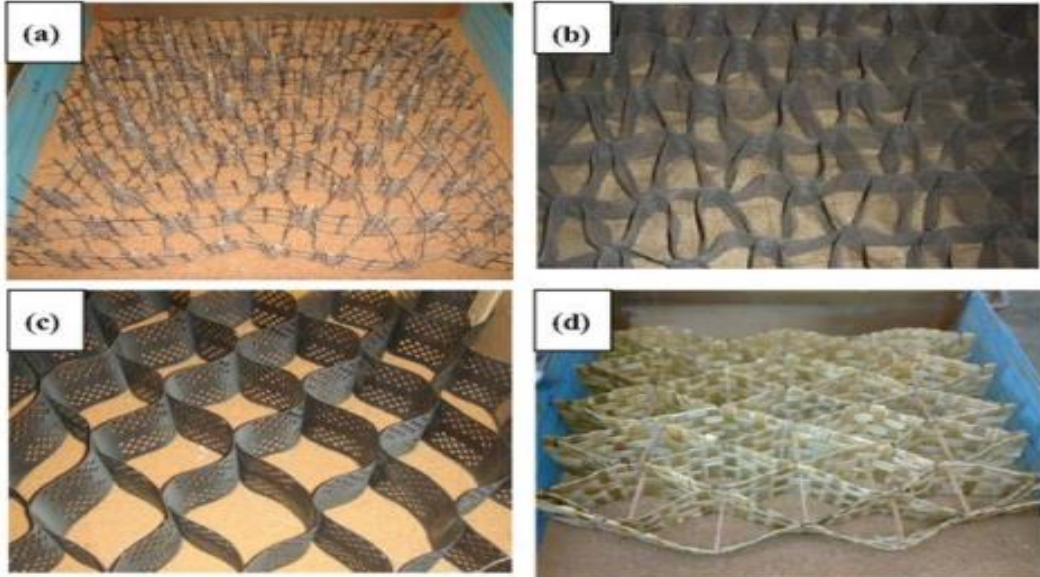
Se disminuye la formación de surcos, el sistema es una solución de profundidad integral, protegiendo la superficie de la estructura. Consecuentemente se reducen las acciones de mantenimiento para proteger superficies de apoyo. Reduce la resistencia de rodadura y favorece los tiempos disminuyendo los ciclos más rápidos ahorrando en llantas y el consumo de combustible.

Las geo mallas necesitan tensión para activarse, y empezar a funcionar debido a la deformación parcial. El efecto de estructura es inmediato y su funcionamiento se basa en el principio de resistencia tangencial. Las geo mallas necesitan dos o tres capas para obtener la cantidad necesaria de elemento de confinamiento, esta se coloca directamente sobre suelos pobres.

Entre sus principales beneficios se tiene el control de la erosión, al excluir los fenómenos que ocasionan la fuerza del agua y del viento, genera estabilización del terreno por medio del soporte de la carga, elimina las dificultades del drenaje, aminorando el revestimiento y refuerzo de canales. Su uso es más eficiente que los métodos convencionales, mejorando la calidad, el rendimiento y la durabilidad.

Figura 3

Geoceldas de diferentes materiales. a) Geomallas, b) Geotextiles, c) Aleación polimérica, d) Bambú



Nota: Hegde (2017)

Tabla 2*Propiedades típicas evaluadas en geo celdas*

Propiedad	Valor	Unidades	Método de prueba.
Densidad	0.95 1.53	g/cm ³	ASTM. D1505
Espesor de la tira	(±10 %)	mm	ASTM. D5119
Resistencia a tensión	> 20	N/mm	PRS
Diámetro del bolsillo en la superficie	10	mm	N/A
Porcentaje de área abierta en la superficie	16	%	N/A
Resistencia permitida para el diseño de 50 años	>8	Kn/m	ASTM D6992
Factor de reducción por fluencia	>2.7		ASTM D6992
Resistencia al agrietamiento por tensión ambiental (ESCR).	>3000	hr	ASTM D1693
Coefficiente de expansión térmica (CTE).	<80	Ppm/°C	ISO 11359-2 ASTM E831
Durabilidad a la degradación UV	>250	Minutos	ASTM D5885
Tiempo de inducción oxidativa (OIT).	>100	Minutos	ISO 11357-6 ASTM D3895
Modulo a flexión a la temperatura De la muestra: 30° C, 45° C, 60° C, 75° C.	>750 >650 >550 >300	MPa	ISO 6721-1 ASTM E2254

Nota: Hegde (2017).

2.2.4 Factores que influyen en la mejora de suelos con geo celdas

Debido a investigaciones efectuadas en diversas publicaciones se identifica los factores que determinan el comportamiento de las geo celdas como un material alternativo que permite mejorar los suelos, a continuación, estos factores se indican a continuación.

2.2.4.1 Forma de las celdas.

Generalmente en la práctica las geo celdas se colocan en formas elípticas o con tendencia circular, Pokharel et al. (2010) realizaron pruebas con geo celdas de formas elípticas y circulares con rellenos de arena, efectuaron ensayos con un plato de carga y registraron los desplazamientos en función del esfuerzo aplicado y encontraron que las geo celdas circulares generaron respuestas más fuertes y rígidas con respecto a las geo celdas de formas

elípticas. Para todos los casos, se observó que las secciones reforzadas obtenían un mejor comportamiento que la sección no reforzada.

2.2.4.2 Relación de aspecto altura diámetro h/d.

Otros factores que determinan la mejora de suelos con el empleo de geo celdas son la altura y el diámetro equivalente de las celdas de sus paneles, hay varios estudios realizados en este tema con diversos tipos de geo celdas. Emersleben & Meyer (2008) efectuaron ensayos con modelos a gran escala donde observaron resultados sobre la influencia de la altura y del diámetro de la geo celda con respecto al, comportamiento de los asentamientos. De acuerdo a estos resultados se puede concluir que hay una capacidad de carga mayor cuando la relación de aspecto h/d es mayor. Como ejemplo, si se tiene una geo celda con una altura constante de 18 cm, y diámetro variable, la geo celda con un diámetro menor, por ejemplo de 16 cm, tiene mayor capacidad de carga con respecto a otras geo celdas con diámetros mayores que pueden ser de 23 cm y 30 cm, de forma análoga cuando si se tiene una geo celda con diámetro constante en un valor de 20 cm, y una altura variable, la geo celda de mayor altura, es decir de 20 cm, tiene una mayor capacidad de carga en comparación con geo celdas de alturas menores de 10 y 15 cm

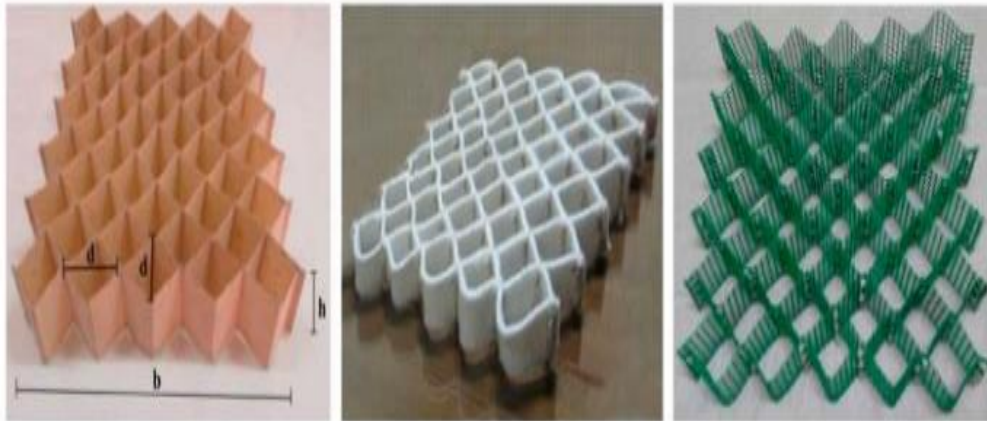
2.2.4.3 Material de fabricación de las geo celdas tridimensionales.

Kargar y Mir (2018) efectuaron una serie de pruebas de modelos en laboratorio utilizando un tanque de prueba de 800 mm x 560 mm x 342 mm, para analizar el producto de mejoramiento de arena reforzada con geo celdas bajo una carga estática en zapatas. Aquí se emplearon diversos tipos de materiales para la fabricación de las geo celdas, considerando geotextil

tejido (W-GT), geotextil no tejido (NW-GT) y geo malla biaxial (B-GG),
Se analizaron y ensayaron los efectos de las propiedades mecánicas de las
geo celdas en la respuesta de la resistencia de carga y el asentamiento en el
modelo de cimentación de una zapata.

Figura 4

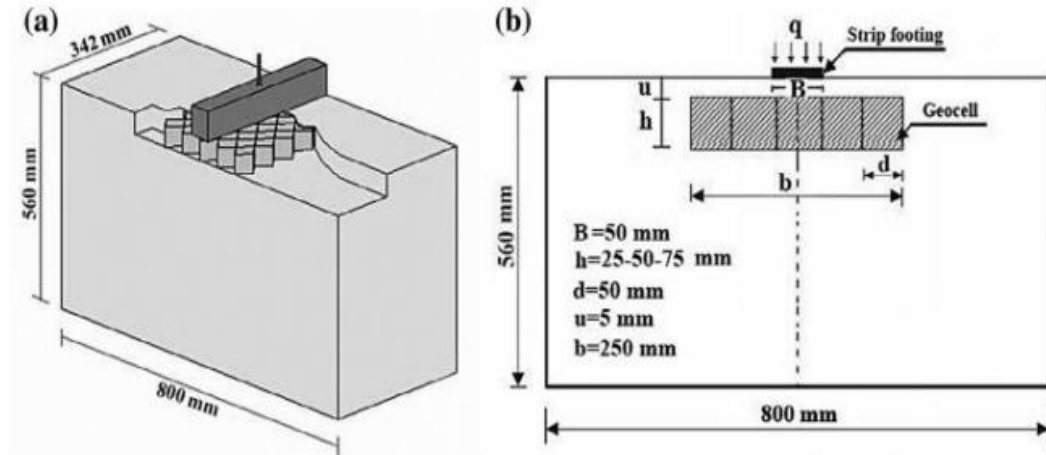
Tipos de refuerzos de geo celdas: W-GT, NW-GT y B-GG



Nota: Kargar y Mir (2018)

Figura 5

Geometría de las geo celdas



Nota: Kargar y Mir (2018).

2.2.5 Mecanismos teóricos del desarrollo del refuerzo de la geo celda

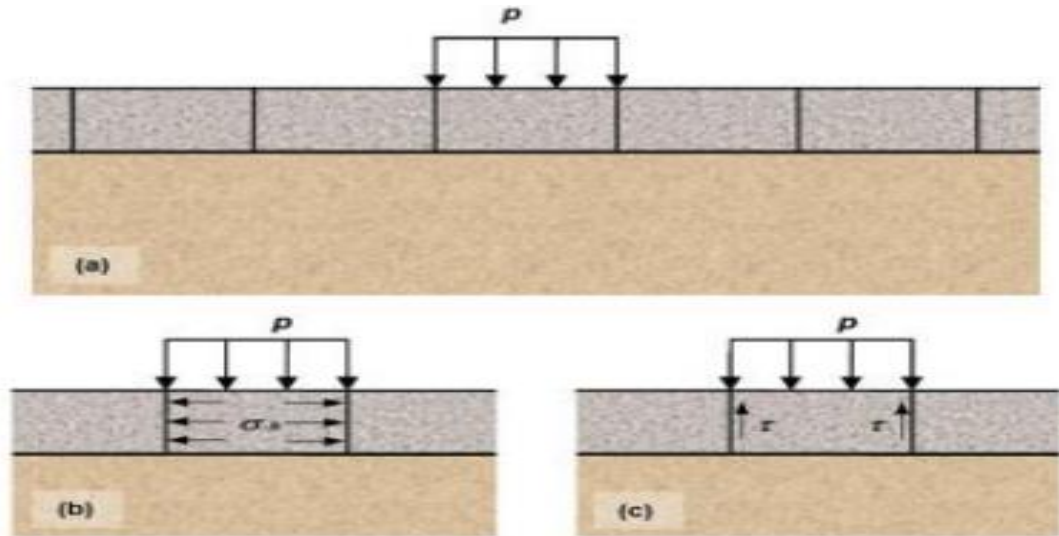
Los mecanismos de funcionamiento estructural son el efecto de confinamiento, el efecto de disipación de esfuerzos y el efecto de membrana.

2.2.5.1 El efecto de rigidez y confinamiento.

Ocurre cuando se aplica una carga a la estructura tipo panel de abeja de la geo celda, aumentan los esfuerzos de confinamiento y la rigidez del material de relleno. A su vez se generan esfuerzos horizontales entre el material de relleno y la pared de la geo celda, apareciendo tensiones cortantes en la interfaz, por esto, el fenómeno de confinamiento aporta de dos maneras: mejora desde el punto de vista geotécnico el relleno del suelo, es decir su resistencia y deformación, mejorando la absorción de esfuerzos y disipando las cargas por medio de tensiones horizontales en la geo celda.

Figura 6

Esquema del efecto del confinamiento: a) aplicación de la carga; b) inducción de esfuerzos horizontales dentro de la celda; c) movilización de esfuerzos cortantes en la interfaz suelo / pared de la celda.



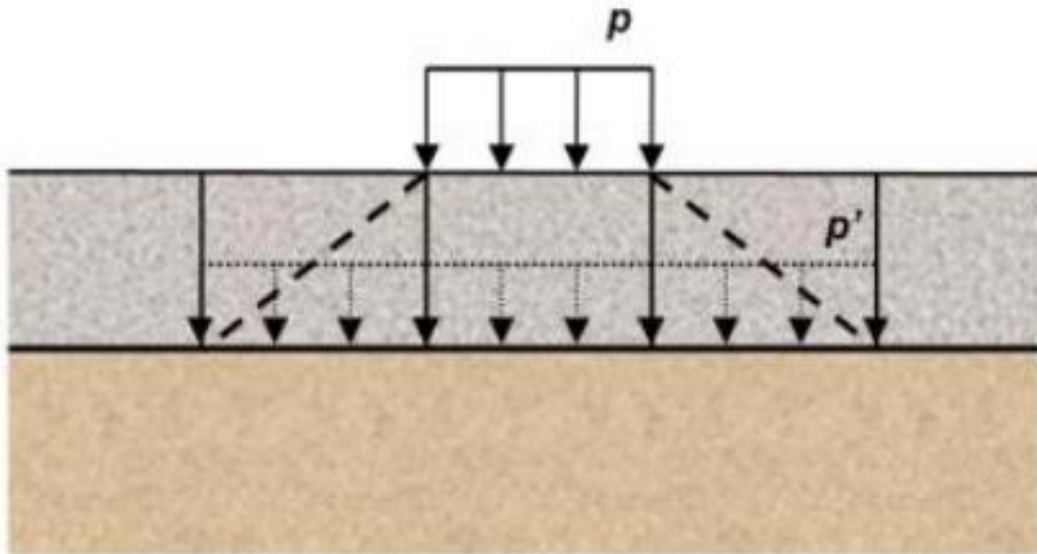
Nota: Neto (2013)

2.2.5.2. Efecto de disipación de esfuerzos.

También se conoce como el efecto losa, no requiere de desplazamientos significativos para su movilización, se produce un efecto de disipación de esfuerzos hacia las capas inferiores a causa de la estructura tridimensional de celdas interconectadas y rellenas produciéndose esfuerzos menores en la fundación, es similar a una losa semirrígida.

Figura 7

Esquema del efecto de disipación de esfuerzos



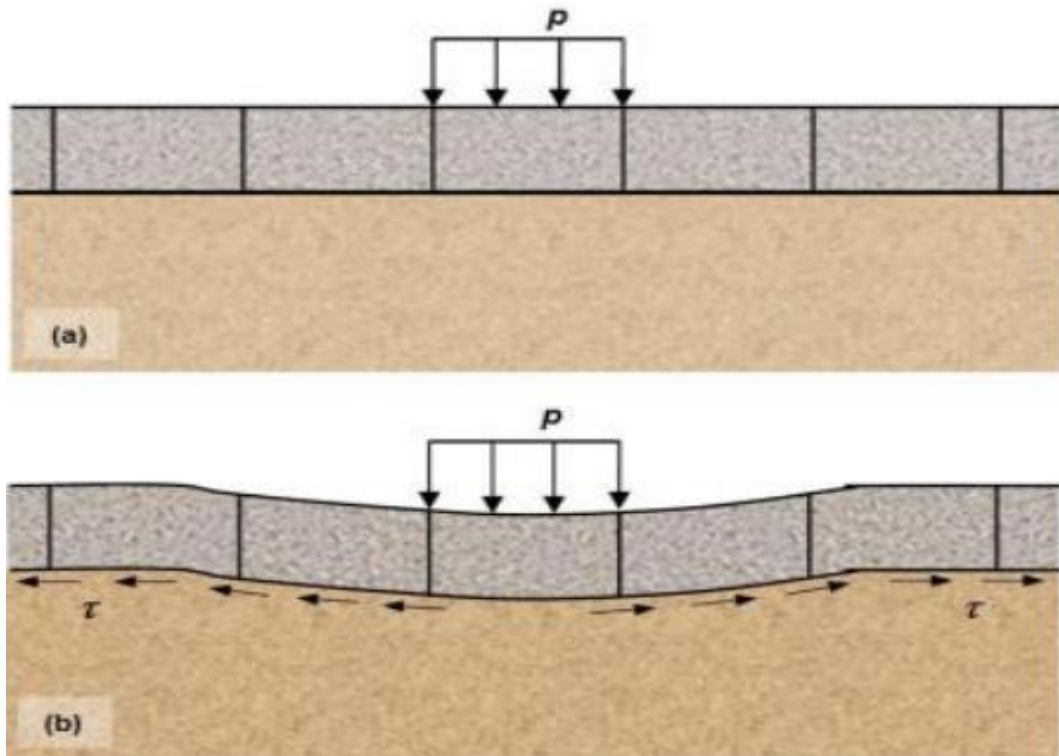
Nota: Neto (2013)

2.2.5.3. Efecto membrana.

El efecto membrana se produce básicamente cuando se generan deformaciones importantes en el geo sintético, y gran parte del esfuerzo de reacción se dará con base en la rigidez del material tensionado, observamos que con la aplicación de una carga p , el suelo de fundación al deformarse se van a producir esfuerzos o tensiones en la geo celda.

Figura 8

Esquema del efecto membrana: a) aplicación de la carga; b) deformación del suelo de fundación y activación de esfuerzo de corte en la interfaz suelo / geo celda y de tracción en el geo sintético.



Nota: Neto (2013)

2.2.5.4 La geo celda empleada para la construcción de carreteras.

Para la instalación de las geo celdas tener en cuenta los siguientes aspectos:

- a) Considerar un espesor del estrato inferior con respecto al volumen de tráfico considerado de acuerdo a su colocación que puede ser en la capa de rodadura o en la interfase entre las diferentes capas como la subrasante y la subbase, en este caso se considera el espesor de la subbase para carreteras no pavimentadas.

- b) El vaciado debe ser a la profundidad requerida de acuerdo a los estudios del material de relleno para brindar la resistencia requerida.
- c) Además se puede usar un conglomerado para la base anterior de la malla y se coloca un geotextil entre ésta y la sub base:
- d) Se procede a compactación de la superficie para estabilizar y se reforzar.
- e) Aplanar la superficie del suelo eliminando las piedras antes de la colocación, se aplanan el terreno hasta que la capa inferior esté lo suficientemente estabilizada para el tránsito.

2.2.6 Instalación de las geo celdas

- a) Colocar un tramo de la geo celda y asegurar el extremo con estacas o clavos en forma de U.

Figura 9

Instalación de geo celda



Nota: Diamondgrid.com (2018)

Figura 10

Colocación de geo celdas



Nota: Diamondgrid.com (2018)

- b) Adaptar la geo malla fácilmente cortándola con tijeras.
- c) Si fuera necesario, colocar una segunda geo celda extendida y asegurar con la primera de acuerdo a los niveles deseados hasta cubrir los espacios, solo si esto ha sido diseñado.

2.2.7. Relleno.

El relleno puede realizarse en forma manual o con maquinaria, depende de la envergadura del proyecto, cuando se está totalmente en contacto con el terreno se debe llenar cada extremo con el material conglomerado para sostenerla. Rellenar la malla con el material seleccionado. No eliminar las estacas empleadas, hasta que los extremos estén rellenos.

Figura 11

Relleno



Nota: Diamondgrid.com. (2018)

Hay que rellenar toda la estructura de las celdas y colocar extendida una capa por encima al momento de finalizar la operación, de tal modo que quede bien cubierta. Finalmente, se verificará y retocará si hace falta con el propósito de cubrir las alturas adecuadas.

Figura 12

Cubierta



Nota: Diamondgrid.com. (2018).

Figura 13

Imprimación



Nota: Diamondgrid.com. (2018)

2.2.8 Metodología Giroud-Han.

Es un método para diseñar las geomallas utilizando primordialmente el confinamiento que se produce entre las mallas y el espesor de material que se coloca encima de esta. Este principio considera la deformabilidad del terreno, por medio de una carga determinada para el ahuellamiento sobre la capa de rodadura, y se produce una reducción considerable debido al rozamiento que se genera en el geo sintético (Almendarez, 2017).

La expresión que permite determinar el espesor “h” de base empleando el geo sintético geo malla tridimensional es la siguiente:

$$h = \frac{0.868 + Cf \left(\frac{r}{h}\right)^{1.5} \text{Log } N}{1 + 0.204 \left(\frac{3.48 \text{CBR}_{bc}^{0.3}}{\text{CBR}_{sg}} - 1\right)} \left[\sqrt{\frac{\frac{P}{\pi r^2}}{\frac{s}{fs} \left(1 - 0.9e^{-\frac{r^2}{h}}\right) Ncfc\text{CBR}_{sg}} - 1} \right] r$$

Dónde:

h es el espesor de la capa.

R es el radio de la llanta (en contacto)

N son las repeticiones del eje.

CBR bc, CBR sg son los CBR de la base y subrasante respectivamente.

Fs es la profundidad de huella. Se considera 7.5 cm.

Nc es el factor de capacidad de carga.

Fc es cohesión.

S es la profundidad admisible de huella.

P es el peso de la rueda.

J es la estabilidad de la abertura

Esta expresión es la estabilidad torsional que es el módulo de estabilidad de la fisura, que viene a ser una forma de medida de la resistencia del geo sintético o geo malla. Mediante esta se puede emplear cualquier las propiedades de los geo sintéticos, a través del coeficiente o constante K. Este método utiliza la aplicación en sus diseños para geomallas debido a las aberturas prominentes y los agregados que conforman la capa base y subbase, también se toma en cuenta el grado de confinamiento que relaciona el tamaño de la abertura y las partículas de los agregados granulares. La capacidad de confinamiento está relacionada a la rigidez en el plano de la malla y la estabilidad de las costados y las uniones de geomalla.

Este procedimiento se utiliza en carreteras sin pavimentación mejoradas con mallas triaxiales que determinan confinamiento de los agregados y la rigidez que provee el geo sintético. Además, en estructuras sin pavimentación, ni reforzar, al obviar el pavimento no reforzado descuidando así la verdadera capacidad de soporte de la subrasante.

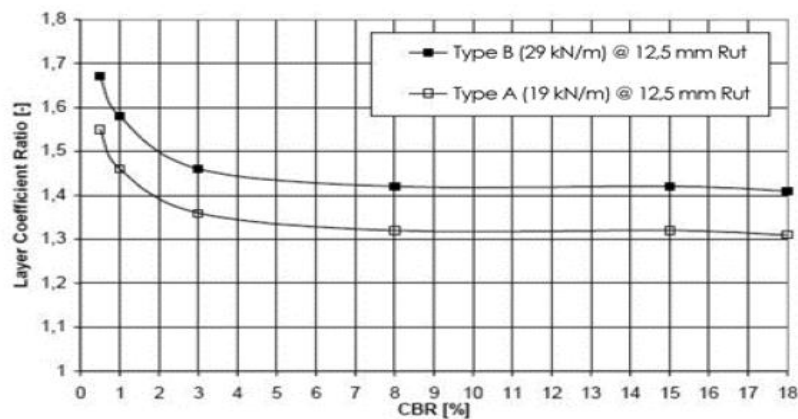
De esta manera la base tiene un altura uniforme, donde se utiliza una capa con geomalla triaxial colocada entre la subrasante y el terreno de fundación, al ser este homogéneo, a una profundidad necesaria para transmitir las fallas del suelo hacía la subrasante sin dañar el suelo, empleando un mayor espesor.

2.2.9 LCR, Layer Coefficient Ratio

Este método es empleado para mejorar el CBR del terreno de cimentación, permite calcular el elemento de refuerzo con geomalla triaxial, generando así una especie de trabazón del material en el área de trabajo. Al considerar este sistema se obtendrá el aporte estructural adicional diferente y dicho valor mejorado es el denominado LCR.

Figura 14

Valores de LCR



Nota; Manual de diseño con Geo sintéticos (2012)

Para calcular la interacción entre la subrasante y su capa mejorada en suelos de poca capacidad de soporte se utiliza la ecuación de Ivanov que permite calcular el espesor que otorgará el mejoramiento y dará la viabilidad técnica requerida.

$$h = \frac{2a}{\pi} * \left[\frac{1 - \frac{E_{inferior}}{E_{equivalente}}}{\frac{2}{\pi} * \left(1 - \frac{1}{n^{3.5}}\right)} \right]$$

2.2.10 Aashto 93

Mediante este procedimiento se estima la contribución estructural de las geo celdas, acorde con los requerimientos de la estructura, considerando que este tipo de geo sintético son resistentes con valores de módulos de rigidez altos y esfuerzos competentes.

De acuerdo al número estructural de la subrasante obtenido en la determinación del CBR, se estima el espesor de la subbase granular y luego se procede con los pasos detallados:

- Estimación del coeficiente de aporte de la geomalla triaxial al paquete estructural, empleando la gráfica de LCR versus CBR de la subrasante.
- Permaneciendo constante el número estructural obtenido al inicio para obtener la disminución del espesor de la capa con el mejoramiento.
- Cálculo del espesor del material mejorado de la capa granular considerando la colocación de la geo celda tridimensional.

$$NE \text{ reforzado} = a1 \times D1 \times a3 \times LCR \times D3ref \times m3^{69}$$

Luego de calcular el espesor de material de mejoramiento, se calcula el numero estructural de la geo malla.

$$NE \text{ reforzado} = a3 \times D3ref \times m3^{69}$$

Este es el número estructural mejorado incluyendo la geo malla, que se denomina número estructural reforzado.

2.3 Definición de términos

Acarreo: Es la actividad que consiste en trasladar los materiales de construcción de un espacio a otro dentro del ámbito de una obra.

Asfalto: Es el conjunto de componentes de mezcla sólida y controlada de hidrocarburos que son los conglomerantes y los áridos que forman la carpeta asfáltica, lo que se denomina pavimento flexible.

Emergencia vial: Es el riesgo a que está sometida una vía y se considera cuando las personas y vehículos se ven expuestas a algún desperfecto de la carretera. Las personas pueden ser el conductor, los usuarios o los peatones.

Fatiga: Es la disminución de la capacidad de resistencia que sufre un determinado material a causa de las exigencias de ciclos de carga y descarga a la que es sometida una estructura durante su ciclo de vida.

Flexibilidad: Es la propiedad que adquiere una estructura que puede ser el asfalto que le permite deformarse ante la aplicación de cargas y que no colapse permitiendo asentamientos tolerables.

Grieta: Abertura o rajadura que adquiere una carpeta asfáltica a causa de diferentes factores, entre ellos puede ser el mal diseño de la carpeta, la deficiente ejecución de la colocación en obra, esfuerzos no tolerables en el asfalto, presencia de excesiva agua en el asfalto entre otras.

Hundimiento: Asentamiento no controlado de la superficie de una carretera en una determinada área, la que se produce por diversos factores.

Infraestructura vial: Está constituida por el conjunto de vías que pertenecen a una determinada región, ciudad, zona o país, está formada por todas las vías de diferente clasificación.

Imprimación: Son las actividades que permite colocar una capa en la superficie de rodadura del pavimento proporcionando cierta impermeabilización en la superficie obteniendo una cohesión superficial adecuada para tener un buen encimado de la carpeta asfáltica, la que se está diseñada y por donde van a transitar los vehículos.

Plataforma: Es la capa sobre la superficie propia de las carreteras, pavimento o cualquier vía.

Superficie de rodadura: Es parte de la estructura del pavimento ubicada en la parte superior de las capas del asfalto, es la que está en contacto directo con los vehículos para el tránsito (INVIA, 2013).

Tránsito: Son las actividades de circulación de los diferentes vehículos, también está conformado por la circulación de las personas que son usuarios de las vías.

Usuario: Son las personas que utilizan las vías de transporte y se desplazan sobre las mismas con algún tipo de vehículo.

Subrasante.

Es la capa que brinda soporte a la estructura del afirmado o pavimento cuyo comportamiento es definido por medio del módulo de resiliencia (Mr). La función de esta capa es la de soportar los esfuerzos transmitidas por los vehículos desde la rasante y distribuirlos uniformemente y no producir fallas en la capa de rodadura.

Para tal fin, es mejorada empleando elementos de características mecánicas más competentes, para incrementar las características físicas de la subrasante y obtener una mejor capacidad portante del suelo.

Un sistema de mejoramiento de la subrasante consiste en la estabilización mecánica, que comprende realizar la compactación de los componentes fino y grueso sobre el suelo de cimentación; otra forma es la estabilización mediante aditivos químicos, que modifican las propiedades físico – químicas aumentando el soporte del mismo, elevando su durabilidad; otro método es la utilización de materiales cementantes; y finalmente la estabilización con geo sintéticos que pueden ser axiales, biaxiales o triaxiales, cuya incorporación mejorar el comportamiento del suelo, obteniendo estructuras que soporten las cargas de tránsito.

Se concluye que la respuesta de la estructura y su comportamiento está en función de las propiedades que posee la subrasante. Las pruebas básicas que permiten obtener las características del terreno de cimentación son:

- Ensayos constitución, conformados por la humedad, la densidad, la plasticidad, equivalente de arena, granulometría, desgaste y otros.
- CBR inalterado.
- PDC (INV-E 172).
- Estabilidad v (INV-E 132, INV-E 148, INV-E 173).

Capacidad portante

Es la capacidad a la deformación de un suelo para resistir las fuerzas y acciones producidas por las cargas que actúan en la rasante y transmitidas hacia esta, sin

llegar a las fallas en su estructura, considerando los criterios funcionales como la resistencia al esfuerzo cortante, la densidad, la humedad y otros (Muñoz, 2015).

Los factores más relevantes que afectan la capacidad de soporte del suelo son los efectos de retracción y expansión, la licuefacción por acción de acciones dinámicas, la cercanía al nivel freático, la ampliación debido a cargas inclinadas o excéntricas, las fallas en el subsuelo, la corrosión y la erosión en el terreno (INVIAS, 2013).

Otro tipo de falla que se produce en la subrasante es la del ahuellamiento, que es producida por los excesivos esfuerzos en capas inferiores. Se consideran un problema estructural y no de los materiales en sí (Muñoz, 2015).

Tipos de falla en el suelo

Las fallas se presentan cuando la capacidad portante es superada, las clases más comunes son las siguientes:

- Rotura general por corte, producida en arcillas rígidas y arenas densas.
- Rotura local por corte, producida en arenas medias, flojas y arcillas suaves.
- Corte por punzonamiento, se presentan fallas alrededor de la cimentación.

Además, generalmente es común tener fallas por ahuellamiento a nivel de subrasante, producidas por esfuerzos excesivos de esta. Estas se consideran como un problema estructural. Se presenta principalmente por la influencia de la humedad y la poca capacidad de resistencia a las acciones externas. (Muñoz, 2015).

CAPÍTULO III

MÉTODO

3.1. Tipo de Investigación

La presente investigación es de tipo cuantitativa de corte transversal donde la información es recolectada y analizada en forma descriptiva correlacional entre las variables, la misma que es procesada para plantear la problemática, revisar, desarrollar el marco teórico y elaborar las hipótesis. Busca generalizar los resultados obtenidos con la muestra.

3.2. Diseño de la Investigación

El diseño de la presente investigación es de carácter no experimental estudiando la relación existente entre la variable independiente Geo celda tridimensional versus la variable dependiente, capacidad estructural para finalmente se interpreta y contrastar las hipótesis planteadas. (Borja, 2016).

3.3. Población Y Muestra

Para la presente investigación se considera como población y muestra lo siguiente:

- Población: Carretera Pachani-Ichuña.
- Muestra: Corresponde a 180 m de carretera Pachani-Ichuña

El tipo de muestra es no probabilística por conveniencia en base a la disponibilidad de información obtenida. (Hernández et al., 2014).

3.4. Descripción del tramo de carretera

3.4.1 Condiciones de la zona de estudio

Clima

El área de estudio predominante corresponde a un clima del tipo semi seco frio, en estaciones de verano y lluvioso y sin cambio térmico en invierno, es posible establecer 02 variaciones de climas que no se diferencian enormemente.

Este tipo de clima en la región andina, está comprendida entre 3600 y 5800 msnm. su régimen pluvial es estacional con escasas lluvias entre los meses mayo a octubre y frecuente entre los meses noviembre a marzo acompañadas de tormentas eléctricas que dan forma a las nubes convectivas, comprendiendo grandes alteraciones de la atmosfera además se presentan precipitaciones de nieve y granizo entre los meses mayo a julio.

Geología Local

La geología de la zona en estudio, está comprendida básicamente por depósitos sedimentarios del cenozoico. En efecto, la secuencia estratigráfica está constituida esencialmente de sedimentos polimétricos arcillosos heterométricos depositados durante el holoceno, el principal afloramiento es el litoestratigráfico identificado en el área de influencia directa del proyecto.

Transito

El tránsito es el que impone las solicitaciones que deben ser soportadas por la estructura de la carretera, está compuesto por dos variedades de vehículos: pesados y vehículos ligeros presentando diferentes formas en el deterioro de los componentes estructurales, corresponde a una carretera departamental.

3.4.2 Instrumentos y Técnicas de recolección de datos

Como instrumentos se utilizará la recolección de datos mediante las pruebas y ensayos estándares de laboratorio de la sub rasante, tráfico y propiedades físicas de los suelos, que tienen su fundamento en el Reglamento y normas ASTM y AASTHO.

Como técnicas se tienen los elementos o factores normativos que devienen de los reglamentos o procedimientos establecidos o creados de acuerdo los objetivos de investigación, con ellos se estructuran las etapas de la misma empleando instrumentos y medios a utilizar para la recolección y conservación de datos.

La técnica documental es el acopio de los datos de la historia de todo el proceso constructivo con respecto a la ejecución como las especificaciones técnicas sobre usos y aplicaciones de geo celdas, libros, normas aplicadas, fichas técnicas de los componentes que se utilizaron y la técnica de campo, que procede de la ejecución del diseño, ensayos de geo celdas y demás componentes.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1. Ubicación del Proyecto

De la revisión documental e información obtenida de la zona de estudio se tiene:

- Departamento : Moquegua.
- Provincia : Sanchez Cerro
- Distrito : Ichuña
- Región : Moquegua
- Altitud : 3,624 m.s.n.m

4.1.1. Metodología

En el presente trabajo de investigación el método empleado consiste en la combinación de los ejes equivalentes proyectados para 10 años de vida útil; la obtención del CBR de diseño, a partir de los procesos de identificación y el CBR inalterado obtenidos de 04 muestras extraídas de la zona de estudio, a profundidades de 0.25m y 0.50m; se estimó el módulo resiliente de la subrasante para conocer los requerimientos estructurales que soporte las cargas producidas por el tránsito durante el periodo de diseño; determinación del esfuerzo máximo que resistiría la estructura debida a las fuerzas verticales; diseño de la geomalla triaxial elegida

para mejorar la capacidad de la subrasante y el cálculo de los espesores necesarios según las características del material granular de relleno y el aporte estructural que provee el geo sintético.

4.1.2 Cálculo del tránsito de diseño

Para conocer el número de ejes equivalentes que transitaran en la carretera vial en el proceder del periodo de diseño, se considera como información relevante la cantidad de vehículos diarios que circulan en el sector de estudio durante una semana para estimar la proyección del tránsito de diseño.

Para una proyección de 10 años, de acuerdo a los vehículos contados se obtiene el resumen del estudio de tránsito.

Tabla 3

Estudio de tránsito

TIPO	Nº Veh/día (2 sent)	Nº Veh/día (1 sent)	Nº Veh/año	FC	ESAL en carril de diseño	Factor de crec.	ESAL de diseño
Autos y camionet.	86	43	15695.0	0.0001	1.57	12.58	19.75
B2	6	3	1095.0	3.56	3898.2	12.58	49039
C2	40	20	240.0	1.11	266.4	12.58	3409.92
C3	45	22.5	8212.5	8.48	69642.0	12.58	876096

$$\text{ESAL de diseño} = 928564.67 \quad W18 = 928564.67 \cdot 8 (1.06) = 985782$$

$$\text{Factor de crecimiento} = ((1+r)^n - 1)/r = 12.58$$

El ESAL en el carril de diseño para un periodo de 10 años es 928565 ejes equivalentes de 18000 lb o 8.2 Tn.

Las variables para el cálculo del tránsito de diseño para 8.2 T son:

- Tránsito promedio diario
- Desviación estándar de la muestra, 11 vehículos

- Confiabilidad al 95%, según ASSHTO 93, el valor del factor de distribución estándar es de -1.645.
- Índice de serviciabilidad inicial 4 y final de 2.
- El rango de variación de tránsito diario semanal es de - 7 y + 7. vehículos, lo que se indica, es que el tránsito se encuentra entre 79 y 93 vehículos.
- Factor camión es de 2.48.
- Factor direccional igual a 1, por tratarse de afirmado.
- El factor de distribución por carril es 1, ya que la sección típica tiene un ancho de 4.50m.

Con la información necesaria se estimó el número de ejes equivalentes para un periodo de diseño de 10 años, para una tasa de crecimiento anual de 5%. El número de ejes equivalentes de diseño permite conocer la cantidad de repeticiones esperada para analizar el comportamiento de la subrasante mejorada con la aplicación de la geo malla tridimensional y el material de relleno.

Para calcular la cantidad de repeticiones que se esperan en el tiempo de diseño se calcula mediante la expresión: $Re = TPDA \times \%TexFS \times FC \times Pd \times FCA \times 365$

Tabla 4

Numero de repeticiones esperadas para el periodo de diseño

DESCRIPCION	VALORES
TPDA	177
FS (factor sentido, doble circulación)	2
FC (factor carril)	1
Pd (Periodo de diseño)	10
FCA (Factor de crecimiento anual)	1.05
Vehículos menores, 48.6%	180646.2
B2, 3.4%	12637.8
C2, 22.6%	84004.2
C3, 25.4%	94411.8
Numero de repeticiones esperadas	371700

Nota. La tabla presenta el cálculo del número de repeticiones esperadas para el período de diseño.

4.2. Estudio geotécnico

Para el estudio de suelos se consideró dos calicatas tomando cuatro muestras que se localizan en el tramo en estudio con ubicación y coordenadas referenciales que se muestran en la tabla N. 4.

Tabla 5

Calicatas y ubicación

Calicata	Abscisa	Coordenadas	
		Este	Norte
C1	K0+140	352500.00	8172500.26
C2	K0+320	353440.21	8172344.26

Nota. La tabla muestra la ubicación de las calicatas con sus respectivas abscisas y coordenadas en los ejes Este y Norte.

Se efectuaron 04 pruebas CBR a una profundidad de 0.25 y 0.50 m, granulometría, humedad natural, límites de Atterberg y demás que se indican en la tabla de resultados.

Tabla 6

Perfil del suelo C1

PROF.	CARACTERISTICAS
0.00	<i>CAPA SUPERFICIAL DELGADA</i>
0.50	<i>TOMA DE CBR NATURAL INALTERADO (DOS MUESTRAS)</i> <i>LAS MUESTRAS CORRESPONDEN A UN SUELO FINO ARCILLOSO DE COLOR CAFÉ CLARO AMARILLENTO CON ALTO CONTENIDO DE ARENA</i>
	<i>CARACTERIZACION DE LA SUBRASANTE</i>
	<i>%GRAVA 4.8 P.U.H. = 2.008 g/cm²</i>
	<i>%ARENA 38.1 P.U.S. = 1.635 g/cm²</i>
	<i>%FINOS 57.0 %W = 22.8</i>
1.50	<i>LL = 37,84 CBR A 25 cm. 4.29%</i> <i>LP = 17.43 CBR a 50 cm. 5.72%</i> <i>IP = 20.40</i>

SUCS ARCILLA DE BAJA PLASTICIDAD - CL

Nota. La tabla describe las características físicas y mecánicas del suelo en distintas profundidades, incluyendo la caracterización de la subrasante, granulometría, límites de consistencia, clasificación SUCS y valores de CBR obtenidos a diferentes profundidades.

Tabla 7

Resultados de ensayos de campo

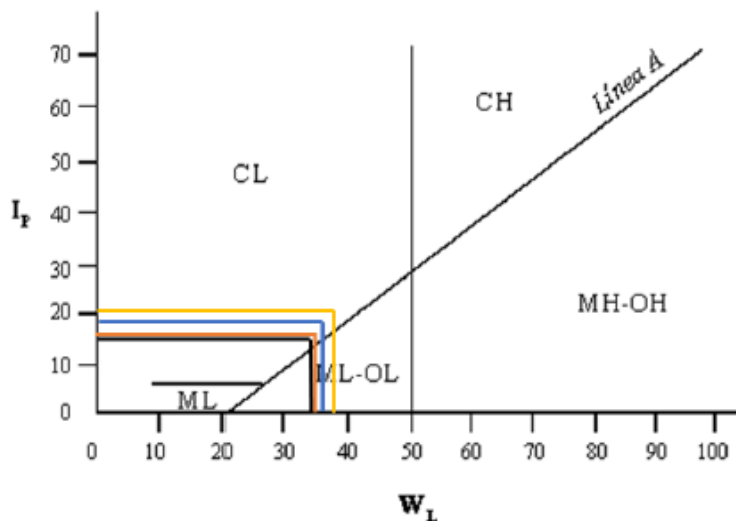
Muestra	Limite Líquido	Limite Plástico	IP	HN	IL	IC	CBR
M1	37.85	17.43	20.40	22.80	0.26	0.74	4.3
M2	34.73	18.36	16.40	22.60	0.26	0.74	5.1
M3	35.22	17.25	18.00	23.30	0.34	0.66	3.2
M4	38.42	19.39	19.00	24.20	0.25	0.75	3.7

Nota: La tabla presenta los resultados de los ensayos de campo, incluyendo límites de consistencia, índice plástico, humedad natural (HN), índice de liquidez (IL), índice de consistencia (IC) y valores de CBR para cada muestra analizada.

De acuerdo a los límites de Atterberg tomando en cuenta que el suelo pasa de un estado de a otro conforme varia la humedad, conforme a la carta de Casagrande, la subrasante se clasifica de la siguiente manera.

Figura 15

Clasificación de la subrasante



Nota: De acuerdo a carta de plasticidad de Casagrande

La clasificación de las muestras es realizada por el método del sistema unificado de clasificación de suelos (SUCS), el mismo que permitió concluir que la subrasante analizada corresponde a una arcilla inorgánica de baja compresibilidad. El índice de consistencia permite afirmar que su estado es plástico blando y no se encontró nivel freático a la profundidad de 1.50m. Al tener un suelo arcilloso hay que considerar los cambios volumétricos debido a los contenidos de humedad altos. Adicionalmente, por medio de inspección visual se observó que hay daños en el nivel superficial afectados por las cargas de los vehículos pesados.

4.3 Calculo CBR de diseño

Considerando que el objetivo de este trabajo es mejorar las propiedades de la subrasante con la utilización de la geo malla tridimensional para incrementar la vida útil de la vía que se encuentra afirmada, pero que posee tráfico importante, se debe establecer el CBR de diseño de las muestras inalteradas tomadas del suelo. Para este propósito se utilizó el método del Instituto del asfalto.

4.3.1 Método del Instituto del asfalto.

El procedimiento consiste en utilizar el percentil de diseño el mismo que se está entre los rangos de 60%, 75% y 87.5%, considerando el número de ejes equivalentes de 8.2 T en el carril de diseño. Según este valor proyectado, la vía se encuentra en el rango de 10^4 a 10^6 (928564.67), por lo tanto, el percentil de diseño es de 75 de acuerdo a la tabla N° 8.

Tabla 8

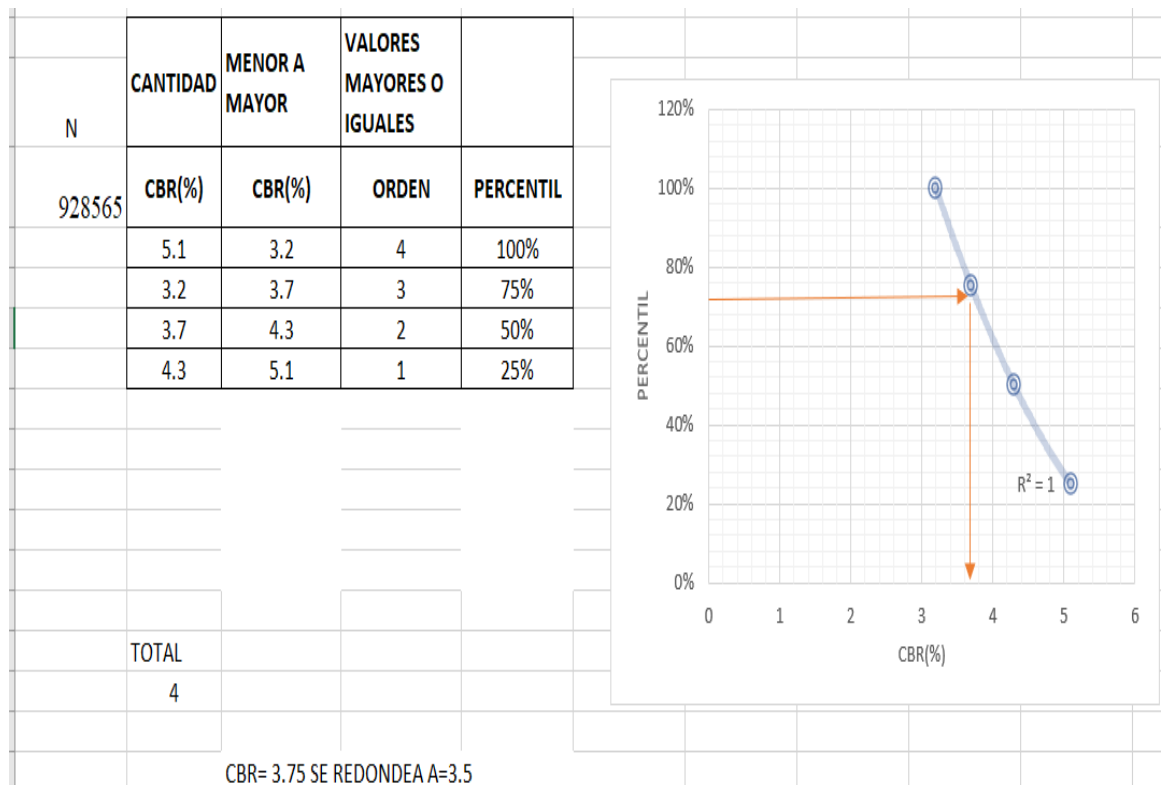
Percentiles para definir el CBR de diseño

NUMERO DE EJES DE 8.2 T EN EL CARRIL DE DISEÑO	PERCENTIL A SELECCIONAR PARA DETERMINAR EL CBR DE DISEÑO
< I= 10 ⁴	60
10 ⁴ - 10 ⁶	75
> I= 10 ⁶	87.5

Nota: La tabla muestra la relación entre el número de ejes equivalentes de 8.2 toneladas en el carril de diseño y el percentil seleccionado para determinar el valor de CBR de diseño, considerando diferentes intervalos de intensidad de tráfico.

Figura 16

Determinación de CBR de diseño



Nota: Obtenido del cálculo del CBR de diseño, igual a 3.5

4.3.2 Mejoramiento

Según las recomendaciones del Ministerio de transportes, la subrasante requiere mejoramiento cuando su CBR sea inferior a 3, con la finalidad de servir como apoyo para las capas estructurales sobre una subrasante mejorada, siendo el valor del CBR de 6 como mínimo para que se incremente la capacidad de soporte en el proceso constructivo de las subsiguientes capas granulares que, debido a las pruebas de laboratorio, la subrasante considerada tiene características de ser blanda y tener una capacidad portante baja.

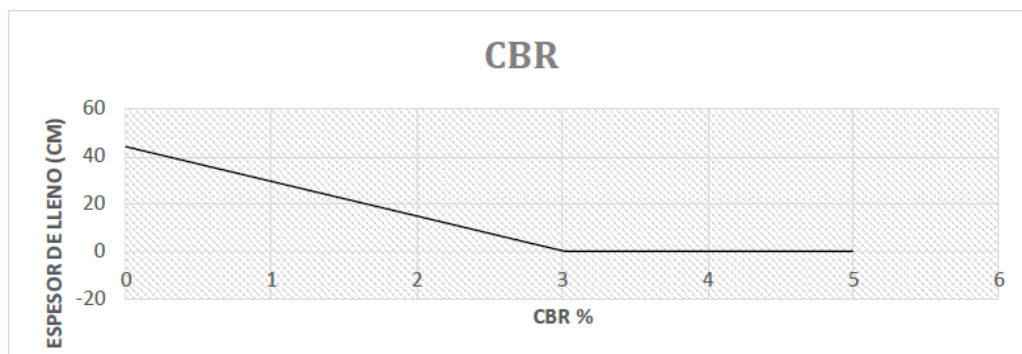
De acuerdo a lo visto hay que evaluar la mejora de la subrasante con material identificado como una subbase granular tipo C.

Considerando los valores de CBR hallados en las pruebas efectuadas a las muestras inalteradas y empleando programas y fórmulas para determinar el espesor de la subrasante mejorada según (Rondón, 2015) se observa en la figura 19, los espesores de mejoramiento en función del CBR se obtienen.

$$h \text{ (cm)} = -0.55 \text{ (CBR)} + 43.936$$

Figura 17

Espesor de la subrasante mejorada de acuerdo al CBR de diseño



Nota: De la figura el espesor de mejoramiento es de 42 cm

4.3.3 Cálculo del Módulo Resiliente

El módulo resiliente se calculó con referencia al CBR de diseño, la determinación de este número permite encontrar la capacidad de soporte de la subrasante y por lo tanto las características de mejoramiento que se propone.

El valor del módulo resiliente a emplear será obtenido por el método de SHELL (ejes $1 \cdot 10^5$) de acuerdo con la metodología ASSHTO. Según la guía se afecta el valor del módulo resiliente en un 33%.

Tabla 9

Cálculo del módulo resiliente de diseño

METODO	CBR DE DISEÑO	MR (PSI)	MR (MPA)	MR DISEÑO (PSI)
SHELL	3.5	5250.00	36.29	6982.50

Nota. La tabla presenta el cálculo del módulo resiliente de diseño utilizando el CBR de diseño, con los resultados expresados en PSI y MPA, y el valor final del módulo resiliente de diseño para el método Shell.

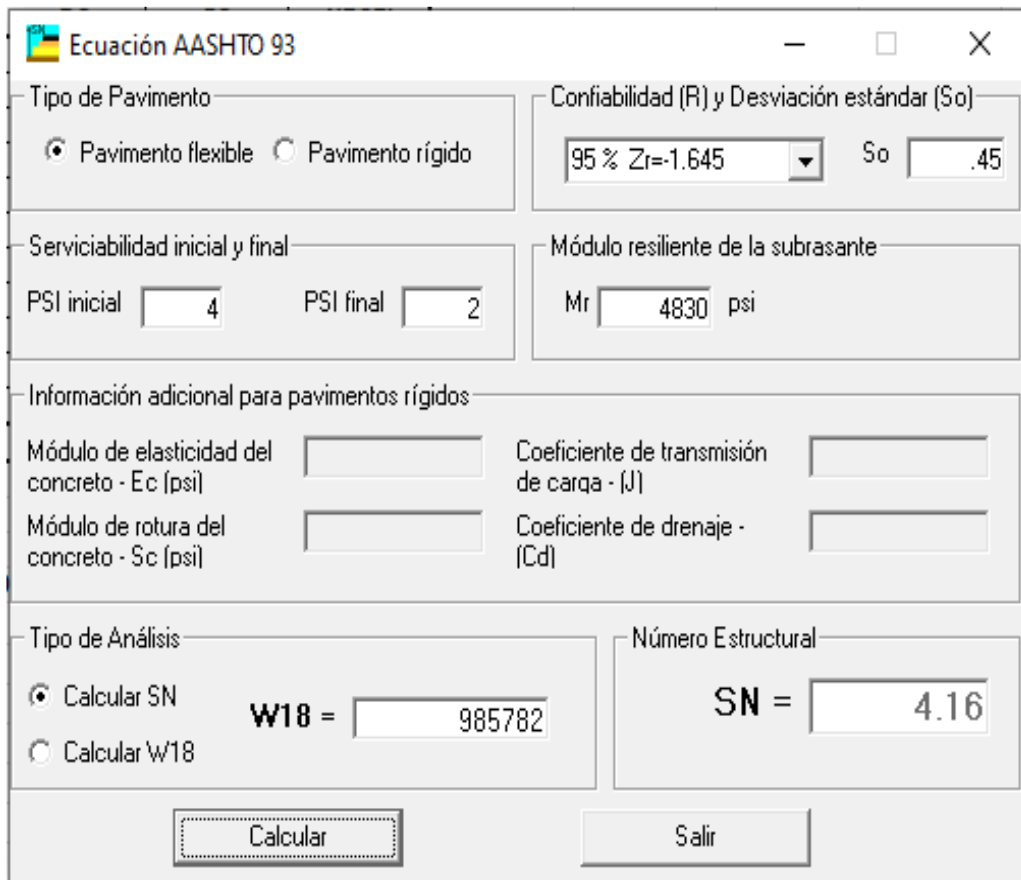
$$Mr = k \text{ CBR}$$

$$K = 1500 \text{ (para CBR } < 7.2 \text{)}$$

La confiabilidad necesaria para la subrasante es de 95%, la desviación estándar de 0.45, el índice de servicialidad inicial 4 y final de 2, con el número de ejes equivalentes de diseño y con diez años de vida útil, se calculó el número estructural de la subrasante, por medio del software AASHTO 93, como se muestra en la figura N. 20. $Mr = 6982.5/1.45 = 4830$ psi (debido a que es afirmado).

Figura 18

Numero estructural de la subrasante



The screenshot shows a software window titled "Ecuación AASHTO 93". It contains several input fields and calculated results:

- Tipo de Pavimento:** Radio buttons for "Pavimento flexible" (selected) and "Pavimento rígido".
- Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So):** A dropdown menu set to "95 % Zr=-1.645" and a text box for "So" with the value ".45".
- Serviciabilidad inicial y final:** Text boxes for "PSI inicial" (value 4) and "PSI final" (value 2).
- Módulo resiliente de la subrasante:** A text box for "Mr" with the value "4830 psi".
- Información adicional para pavimentos rígidos:** Four empty text boxes for "Módulo de elasticidad del concreto - Ec (psi)", "Módulo de rotura del concreto - Sc (psi)", "Coeficiente de transmisión de carga - (J)", and "Coeficiente de drenaje - (Cd)".
- Tipo de Análisis:** Radio buttons for "Calcular SN" (selected) and "Calcular W18".
- Calculated Values:** "W18 =" followed by a text box containing "985782", and "Número Estructural" followed by a text box containing "SN =" and "4.16".
- Buttons:** "Calcular" and "Salir".

Nota: La figura ilustra el número estructural de la subrasante, representando su capacidad portante y los valores obtenidos en función de las condiciones de diseño y las propiedades del material.

4.3.4 Espesor de la subbase granular tipo C para vías no pavimentadas y sin refuerzo

Se determino la dimensión del material granular tipo C, para tener un elemento de comparación entre el espesor del material granular de diseño y la subbase granular tipo C, en una subrasante sin refuerzo y los espesores de diseño en el mismo material sobre la subrasante reforzada con geo sintético tipo geo celda triaxial, para esto se calculó, asumiendo un valor de (0) al módulo de proporción P_e , un

coeficiente de corrección de 0.672. indicado para pavimentos no reforzados y (0) para el módulo de estabilidad de la apertura. (Santos, 2017).

Tabla 10

Cálculo de Material granular en vía no reforzada con subbase tipo C

DESCRIPCION	VALORES
Carga de eje	80
Carga de rueda	40
Numero de repeticiones para conformación	371700
CBR subrasante	3.5
CBR sub base granular	30
Factor de capacidad	3.14
Profundidad máxima de ahuellamiento (ASSHTO)	75
Cohesión de la subrasante (fc)	30
Radio de contacto (r)	0.15
Módulo de proporción (Pe)	0
Factor de corrección (j)	0.672
Nc	3.14
Iteraciones	1.49
h(espesor)	0.70

Nota: La tabla presenta el cálculo del material granular en una vía no reforzada con subbase tipo C, incluyendo los valores utilizados para determinar el espesor necesario y la capacidad estructural, basados en el CBR de la subrasante, subbase granular y otros parámetros geotécnico.

4.3.5 Estabilización de subrasante con geo malla tridimensional

La geo malla triaxial es utilizada especialmente en suelos blandos como la subrasante tratada en este trabajo, absorbe ellos esfuerzos en la interfaz de la subrasante con la geomalla mejorando la capacidad de soporte, provee una estructura con mayos estabilidad al generar un mayor confinamiento por el interlocking, que es el entrelazamiento de las componentes. Esto aumenta la vida útil de la estructura y reduce el espesor de la capa de material granular, lo que reduce los costos y facilita su colocación (Santos, 2017).

Para el objetivo de este trabajo de investigación, la consideración de una geomalla triaxial, tiene como propósito aminorar las fallas por ahuellamiento en la subrasante, que son causadas por las cargas excesivas en las capas debidas a la presencia de la humedad. También, ser un componente de refuerzo que conforma

la estructura de la carretera, mejorando su resistencia a la deformación y disipando las cargas que actúan sobre el terreno.

Empleando la metodología Giroud-Han se procedió a calcular el espesor de material de mejoramiento con un CBR de 30, donde el material es clasificado y se emplea una capacidad a la penetración en situaciones de densidad seca máxima y humedad optima con el fin de proveer el confinamiento, y por tanto el rozamiento entre este material y la geomalla, como también la rigidez axial de las mallas utilizando lo siguiente:

- Módulo de estabilidad de la apertura (J).
- Radio de contacto (r), para efectos de este trabajo es 40 kN.
- Módulo de proporción (Re), es la relación entre el CBR de la subrasante y el CBR
- Revisión de la capacidad de la subrasante (Ph), evaluado a partir de la carga ejercida por la rueda.
- Factor de corrección (Fc), el que depende totalmente del módulo J de las geomallas triaxiales y es proporcionado por el fabricante los que se obtuvieron realizando pruebas al material.
- Factor de capacidad de 5.71.
- Cohesión de la subrasante se considera 30 KPa

La evaluación y el cálculo de esta capa de material así como los valores requeridos para el mejoramiento de la subrasante de diseño se presentan en la tabla N. 9.

Tabla 11*Cálculo de espesor de diseño para geomalla triaxial*

DESCRIPCION	VALORES	UND.
Carga de Eje	80	kN
Carga de rueda	40	kN
Numero de repeticiones para conformación	371700	-
CBR subrasante	3.5	%
CBR su base granular	30	%
Profundidad máx de ahuellamiento (AASTHO)	75	mm
Cohesión de subrasante	40.12	>
Radio de contacto	0.15	m
Factor de corrección para mallas triaxiales (j)	0.348	-
Módulo de estabilidad de apertura	0.105	-
NC	5.71	-
Espesor (h)	0.35	m

Nota. La tabla detalla el cálculo del espesor de diseño para geomalla triaxial, considerando parámetros como carga de eje y rueda, número de repeticiones, CBR de la subrasante y subbase granular, profundidad máxima de ahuellamiento, cohesión de la subrasante y factores específicos para mallas triaxiales.

4.3.6. Análisis de resultados de las deformaciones

Para conocer el aporte estructural del material reforzado con el diseño descrito anteriormente se verificaron los refuerzos de deformación vertical y horizontal por los criterios de ahuellamiento y fatiga por medio del método racional utilizando el software WinDepav v2.6 debido a que el reglamento no considera valores de deflexiones con subrasante mejorada con geo sintéticos.

4.3.6.1 Estructura sin refuerzo.

Fue diseñada aplicando la ecuación (2) con los siguientes valores:

Número de estructura de subrasante 4.16

Módulo resiliente 337.47 kg/cm² (subrasante)

Módulo resiliente 1040.54 Kg/cm² (sub base granular)

Módulo de Poisson de la subrasante 0.45

Módulo de Poisson de la subbase granular 0.40. Pavco (2012)

Espesor de lleno obtenido de ecuación de h

Figura 19

Respuestas de la estructura en interfaces y evaluación de la deflexión vertical por fatiga y ahuellamiento

Resultados del análisis

Archivo:

Descripción del proyecto: Vía Carurú (Estructura no reforzada)

Sistema de carga

Radio de las ruedas (cm): 10.80

Distancia entre los centros de las ruedas (cm): 32.40

Presión de contacto de las ruedas (kg/cm²): 3.324

Posición del valor máximo para una carga

A: Bajo una rueda simple

B: Bajo una de las ruedas de la carga

C: Al centro de la carga

Gráficos de respuesta

Exportar resultados a Excel (.csv)

Respuestas estructurales en las interfaces y evaluación del comportamiento por fatiga y ahuellamiento.

Número de capas: 2

No.	E (kgf/cm ²)	ν	Z (cm)	Tensión (fatiga)		Compresión	
				εpsilón T (microstrain)	N admisible	εpsilón z (microstrain)	N admisible
1	1.040E+03	0.40	0.00	5.180E+00 B	5.568E+00 A	909.0 B	
	Continúa		81.00	-3.682E-01 C	1.744E-01 C	-219.0 C	
2	3.375E+02	0.45	81.00	6.875E-05 B	1.744E-01 C	-219.0 C	
							492.0 C
							1.7910E+06
							0.558

Deflexión en el centro de la rueda doble D0 (t/100 mm): 99.71

Radio de curvatura (m): 32.55

Radio de curvatura x Deflexión (m x mm/100): 3245.9

Salir y descartar los resultados

Nota. La figura muestra las respuestas estructurales en las interfaces, así como la evaluación de la deflexión vertical por efectos de fatiga y ahuellamiento, considerando las condiciones del diseño y los materiales utilizados.

Cálculo de deflexión admisible (con N= 371700 expresado en millones)

$$D_{adm} = (1.15/0.3717)^{0.25}$$

$$D_{adm} = 1.33 \text{ mm}$$

Del resultado del programa se obtiene una deflexión de 1.29mm, dicho valor no supera el admisible en la subrasante mejorada.

4.3.6.2 Estructura reforzada con malla triaxial.

La deflexión para la estructura reforzada utilizando el mismo programa es de 0.99 mm, la que también es menos que la admisible y resulta además menor que la estructura no reforzada.

Para definir el aporte de la subrasante como estructura, luego del tendido de una geo malla triaxial, conforme a lo descrito en resultados, se calcula el número estructural de acuerdo al manual de geo sintéticos de PAVCO según la siguiente expresión.

$$SN_{gr} = a_3 \times LCR \times D_3 \times m_3$$

Se tiene que el coeficiente de la capa subbase tiene un valor de 0.1 para capas a_3 y un valor de 1 para para el coeficiente de drenaje de buena calidad según el manual de diseño PAVCO. El valor del espesor en pulgadas y el coeficiente LCR es obtenido del valor del CBR de la subrasante, Entonces el número estructural con la incorporación de la geo malla es:

$$SN_{gr} = 0.10 \times 5.52 \times 8 \times 1 = 4.42 > 4.16$$

Esto indica que, si soportara las cargas de tránsito estimadas para 10 años, por lo que debe recalcularse para calcular un nuevo espesor con el nuevo número estructural, se obtiene un espesor de 0.35 m.

De acuerdo a lo descrito anteriormente se concluye que se utilizara la geo celda con una capa sobre yacente de 0.42 cm de subbase granular tipo C, es suficiente para resistir el número de ejes simples acumulados de 8.2 T, considerados para un tiempo de vida de diez años, por esto se refuerza la interfaz subbase granular tipo

C con la superficie de la geo celda triaxial que permitirá resistir el número de ejes equivalentes de diseño, antes que se produzca la falla.

4.4 Capacidad portante de la subrasante

Es la capacidad de soporte de la subrasante la que se permite relacionar con el módulo de elasticidad mediante la expresión de correlación entre el CBR de la subrasante con el módulo resiliente:

$$E_{SR} = 10.35 \times CBR_{SR} = 10.35 (3.5) = 36.225 \text{ MPa.}$$

Se calcula el módulo de elasticidad mejorado por medio del Método de Sistema del Confinamiento Celular se va a estimar el nivel de mejora del CBR de la subrasante. Tomando en cuenta, que la zona totalmente confinada se encuentra en una sola capa se utiliza la siguiente correlación:

$$E_{nr} \times MIF = E_r$$

Donde:

E_{nr} es el módulo de elasticidad no reforzado

MIF es la relación entre módulos

E_r es el módulo de elasticidad reforzado

Para calcular el MIF se utiliza la figura 22. Para obtener el valor del MIF en la fig. 22, se necesita conocer dos valores, el módulo de elasticidad del material de llenado E_{ll} y del material de soporte E_{so} , para el material de llenado se utilizará arena arcillosa con CBR de 10, al efectuar los cálculos con la ecuación: $E_{ll} = 36 \times CBR^{0.3}$ obteniendo un valor 71.83 MPa. Además, se utilizará como soporte el mismo material de la subrasante con un CBR de 3.5, entonces $E_{so} = 10.35 \times CBR_{sr} = 36.23$ MPa. Con estos valores se entra a la figura 22' obteniendo un valor del MIF de $E_r = 71.83 \times 4.00 = 287.32$ MPa. Teniendo en cuenta que el valor reforzado va a

corresponder al nuevo valor del módulo de la subrasante E_r que sería 287.32 MPa, aplicando la ecuación de manera inversa para obtener el valor de CBR mejorado de 27.76.

Tabla 12

Valores típicos de MIF

Capa de soporte	Módulo d material de lleno= E. llenado (MPa)				
ESoporte	80	110	150	200	300
(MPa)					
50	4.0	3.6	3.0	2.5	1.8
100	4.2	3.8	3.2	2.8	2.0
150	4.5	4.0	3.4	2.9	2.1
200	4.8	4.2	3.6	3.1	2.2
300	5.0	4.4	3.8	3.3	2.3

Nota; Manual de diseño con geo sintéticos PAVCO (2012)

Tabla 13

Características de la subrasante

PROPIEDADES	SUBRASANTE SIN MEJORA	SUBRASANTE CON MEJORA
Módulo de Elasticidad (MPa)	71.83	287.32
CBR (%)	3.50	27.76

Nota: La tabla compara las propiedades de la subrasante antes y después de su mejora, destacando los valores del módulo de elasticidad y el CBR, evidenciando el incremento significativo en sus características mecánicas tras el proceso de mejora.

4.5 Discusión de resultados

Propiedades mecánicas de la subrasante

Se realizó el siguiente diseño de pavimento de la zona de estudio, teniendo de base los siguientes datos:

- Tránsito de ejes de 8.2 toneladas es de 371700 Ejes equivalentes.
- Periodo de 10 años.
- Valor estimado del CBR de la subrasante a diseñar será de 3.5.

Conforme con el estudio de suelos, se puede observar en la tabla los espesores de la estructura de la carretera diseñada previamente basado en el Manual de Suelo, geología, geotecnia y Pavimento del MTC de Perú, la cual, se quiere mejorar el módulo de elasticidad, ya que esta es la propiedad mecánica que mejora al usar la Geo malla triaxial en la subrasante

Conforme al diseño propuesto para el mejoramiento de la capacidad de soporte de la subrasante estudiada, los resultados que se obtienen al incorporar la geo malla triaxial se adicionarlo como un elemento rígido, proporciona a la estructura estabilidad al producir un confinamiento entrelazando sus partículas lo cual brinda un mayor tiempo de vida útil y una disminución de los espesores que confoman el paquete estructural.

La geo malla tridimensional esta compuesta por un elemento perforado de polipropileno con tres direcciones equilateras de orientacion, lo que permite un alto grado de direccion molecular ademas se incluyen las siguientes características:

- 93% de rendimiento eficiente en las uniones.
- 3 kg-cm/grad de indeformabilidad de apertura

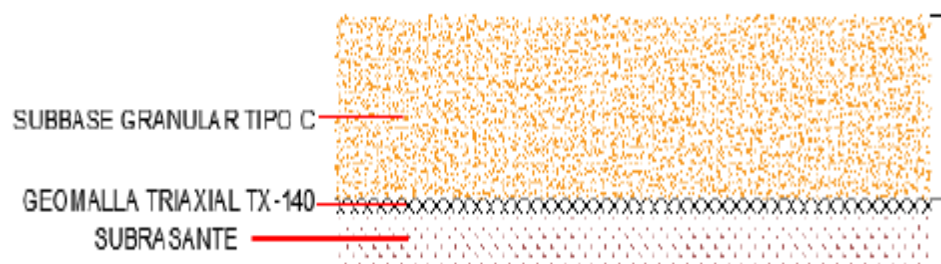
- 225 KN/m de rigidez radial a baja deformacion
- 100% de soporte a la degradacion quimica
- 100% de capacidad resistente a la luz ultravioleta e intemperismo

Se propone además un buen comportamiento de la subbase granular tipo C según requerimientos de los áridos de subbases granulares.

El diseño propuesto para el mejoramiento de la capacidad de soporte de la subrasante de diseño corregido a partir de la verificación del aporte estructural adicionando la geo celda tridimensional.

Figura 20

Estructura considerando mejoramiento de la subrasante con la incorporación de geo celda tridimensional



Nota: El espesor se reduce de 70 cm a 42 cm.

Esto coincide con el trabajo de investigación de Duarte, M. y Sierra, V., que obtienen como conclusión que al usar las geo celdas, se obtiene un porcentaje de reducción de aproximadamente 25% al comparar el espesor total del pavimento con respecto al nuevo espesor total de diseño. En sus ensayos demuestra que se genera una menor deflexión en el diseño de pavimento con geo celdas, lo que contribuye a brindar como oportunidad la utilización de las geo celdas tridimensionales a nivel de subrasante como una solución al problema de los suelos de baja capacidad de

suporte. Además, se concuerda con los trabajos de investigación de Sojo, C., y Chura, O., que presentan su estudio en suelos con bajas capacidades de resistencia, y al emplear una estructura de geo mallas se disminuyen los esfuerzos y asentamientos en el paquete del pavimento, y después de utilizar geo celdas con elementos de relleno se aminoran los parámetros mencionados en forma considerable. La reducción en los asentamientos es alrededor del 34%.

4.6 Contrastación de hipótesis

Al culminar el análisis de la presente investigación empleando la geo celda tridimensional en la subrasante para suelos arcillosos con un CBR de 3.5% se puede contrastar las siguientes hipótesis.

Hipótesis general: El uso de geo celda tridimensional permite solucionar los tramos de baja capacidad estructural en tramo de la carretera Pacchani - Ichuña.

Contrastación General; se da por aceptada, puesto que la aplicación de la Geo celda tridimensional se mejora la capacidad de soporte, el módulo de elasticidad y las deformaciones verticales por ahuellamiento y deflexiones que son corroboradas por las hipótesis específicas.

- Primera Hipótesis específica

Hipótesis alterna (H1): La aplicación de la geo celda tridimensional permite brindar estabilidad a un suelo de baja capacidad estructural reduciendo el espesor de las capas estructurales.

Hipótesis nula (H0): La aplicación de la geo celda tridimensional no permite brindar estabilidad a un suelo de baja capacidad estructural reduciendo el espesor de las capas estructurales.

El método de la teoría del sistema de confinamiento celular nos indica que al colocar las geo celdas tridimensionales en la subrasante se produce el efecto de la viga tensionada, que distribuye los esfuerzos verticales superiores en una mayor área para no producir la falla por punzonamiento ni deslizamiento lateral, debido a numerosos estudios efectuados por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos (USACE) se tiene un factor adimensional de mejora llamado MIF, que luego de ser correlacionado con el módulo de elasticidad del material de la subrasante produce una mejora de la capacidad portante del terreno y por lo tanto se reduce el espesor de la estructura de la carretera, lo que permite recalcular el diseño, necesitando menores espesores es decir de 0.70 m se reduce a 0.42 m de la capa granular adyacente a la capa donde se genera el efecto de sistema de confinamiento celular, por lo cual se verifica la hipótesis alterna y se rechaza la hipótesis nula.

- Segunda Hipótesis específica

Hipótesis alterna (H1): El uso de la geo celda tridimensional a nivel de subrasante contribuye con la durabilidad en tramo de baja capacidad estructural en la carretera Pacchani - Ichuña.

Hipotesis Nula (Ho): El uso de la geo celda tridimensional a nivel de subrasante no contribuye con la durabilidad en tramo de baja capacidad estructural en la carretera Pacchani - Ichuña.

La durabilidad de la estructura está condicionada al módulo de elasticidad y el CBR y a su vez el módulo de elasticidad tiene una relación directa con la capacidad portante, se entiende, por ende, que al aumentar el módulo de elasticidad aumenta la capacidad portante de la subrasante este aumento es de 71.83MPa a 287.32 MPa,

generando así un mejor comportamiento de la estructura del pavimento en general, por ello se contrasta esta sub hipótesis al mejorar la durabilidad del tramo estudiado.

– Tercera Hipótesis específica:

Hipótesis alterna (H1): El empleo de la geo celda tridimensional a nivel de subrasante reduce las deformaciones de la estructura conformante en la posterior pavimentación en tramos de baja capacidad estructural en la carretera Pacchani - Ichuña.

Hipótesis nula (H₀): El empleo de la geo celda tridimensional a nivel de subrasante no reduce las deformaciones de la estructura subyacente en la posterior pavimentación en tramos de baja capacidad estructural en la carretera Pacchani - Ichuña.

Con los valores obtenidos en el programa para las diferentes iteraciones de espesores de las capas granulares, se observó que la subrasante sin la geo celda tenía una deflexión de 1.29 mm con unos espesores de 40cm de base y 45cm de subbase, con la aplicación de la celda tridimensional en la subrasante y volver a efectuar el análisis del paquete estructural con varias combinaciones de espesores de las capas granulares, se obtiene una deflexión de 0.9 mm, viendo una disminución considerable de deflexión, por lo que se puede diseñar estructuras que cumplan con la sollicitación de carga móvil, sin afectar el comportamiento del paquete estructural de la carretera, por lo cual se verifica la hipótesis alterna y se rechaza la hipótesis nula.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- Primera.** En los tramos de baja capacidad estructural de la carretera Pacchani – Ichuña, donde se plantea el uso de la geo celda tridimensional a nivel de la subrasante permite solucionar los problemas de durabilidad, considerando aceptado que las características de la subrasante determinan la respuesta estructural y comportamiento de un pavimento que puede ser rígido o flexible luego de diseñar la estructura granular subyacente disminuyendo los espesores de estas capas, al incorporar estas geo celdas funcionan como una trabazón, generando confinamientos de sus elementos mejorando las condiciones estructurales al incrementar la resistencia a la tensión que presentan, su diseño se estimó mediante el método denominado LCR, el mismo que está en función del CBR.
- Segunda.** La aplicación de la geo celda tridimensionales permite brindar estabilidad a un suelo de baja capacidad estructural reduciendo el espesor de las capas estructurales. Se obtuvo un mejor comportamiento del terreno al incrementar la resistencia o capacidad

de soporte reduciendo los espesores de la estructura de la carretera, se produjo una reducción de la capa estructural del 40%, que puede ser aplicado a las capas superiores para pavimento rígido o flexible.

Tercera. El uso de la geo celda tridimensional a nivel de subrasante contribuye con la durabilidad en tramo de baja capacidad estructural en la carretera Pacchani - Ichuña. Se mejoro la durabilidad de la estructura al incluir la geo celda tridimensional a nivel de la subrasante la que depende del módulo de elasticidad y el CBR el mismo que se relaciona con la capacidad portante generando así un mejor comportamiento de la estructura del pavimento rígido o flexible de colocación subsecuente. El módulo de elasticidad al incrementarse de 71.83 MPa. a 287.32 MPa, aumenta considerablemente sus propiedades físico mecánicas.

Cuarta. Con respecto a la deflexión, se obtiene que la deflexión inicial que presenta en la estructura sin reforzar es de 1.29 mm, y luego de la colocación de la geomalla tridimensional se realizó el análisis con la mejora de la subrasante, obteniendo como resultado final una deflexión de 0.99 mm, en ambos casos no se supera el límite permisible que es según las normas de MTC es de 1.33 mm con lo cual se muestra una mejora considerable cumpliendo con la solicitud del caso. De tal manera, la influencia de la subrasante mejorada es del 23.26% de reducción.

5.2 Recomendaciones

Primera. La aplicación de los geo sintéticos no es nueva en nuestro país pero falta su difusión de acuerdo a los beneficios que trae la aplicación de estos materiales recomendando su aplicación no solo en suelos con CBR bajo, porque la mejora encontrada es mayor que en otros métodos que considera el manual de carreteras del MTC. Se recomienda además aumentar los estudios experimentales para tener mayor conocimiento para que los proyectos considerando reducir el uso de los recursos no renovables.

Segunda. Para el correcto análisis de una estructura hay que considerar un adecuado estudio de costos considerando el transporte y adquisición de los materiales, es decir, un análisis de distancia de cantera a obra y compararlo con la compra y traslado de las geo celdas para la colocación en la subrasante a modo de mejora reduciendo el espesor de la capa estructural.

Tercera. La presente tesis toma como geo celda a utilizar la de tipo tridimensional, cuyas características lo determinan las empresas productoras como PAVCO, sin embargo, esta no es la única empresa que producen estos materiales se recomienda efectuar aplicaciones con otros tipos de geo celdas.

Para un adecuado uso de las geo celdas, es recomendable previamente estudiar su metodología de uso para una correcta aplicación y sus posibles limitaciones.

Cuarta. También se recomienda profundizar en el estudio de las características de mejoramiento con las propiedades de tracción, porque es una característica que aporta en la mejora del sistema de confinamiento lateral, no existiendo información detallada al respecto.

Además, hay que considerar el factor ecológico y la contaminación ambiental, recomendando efectuar un estudio de impacto ambiental aplicando el sistema de confinamiento celular y comprobar de esta manera un menor impacto al emplear en los proyectos materiales innovadores como las geo celdas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alcázar, A. (2021). *Aplicación de la geocelda tridimensional para pavimentación en suelo volcánico en la avenida 3 del centro poblado Cogri en el distrito de Omate – Moquegua* (Tesis de pregrado). Universidad José Carlos Mariátegui, Moquegua, Perú.
- Babu, R., & Babu, G. S. (2014). Numerical analysis of response of geocell confined flexible pavement. *Geotechnical Engineering Journal of the SEAGS & AGSSEA*, 45(1), 113-117. https://ph01.tci-thaijo.org/index.php/SEAGS_AGSSEA_Journal/article/view/259448.
- Borja, M. (2016). *Metodología de la Investigación Científica para Ingenieros*. Chiclayo Perú: Elibro.
- Chura, O. (2022). *Mejoramiento del pavimento aplicando el sistema de geocelda tridimensional en el sector n° 02 biohuerto San Antonio - Moquegua* (Tesis de pregrado). Universidad José Carlos Mariátegui, Moquegua, Perú.
- Duarte, M. y Sierra, V. (2011). *Estudio del comportamiento de un material de subrasante típico de Bogotá estabilizado con un sistema de geoceldas ante la aplicación de ciclos de carga y descarga mediante pruebas de laboratorio* (Tesis de pregrado). Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia.
- Emersleben, A., & Meyer, N. (2008). *Bearing Capacity Improvement of Gravel Base Layer in Road Constructions Using Geocell*. International Association for Computer Methods and Advances in Geomechanics. Bogota, Colombia.
- Gamarra, A. y Sandoval, K. (2021) *Diseño del Pavimento Flexible Utilizando Geoceldas en la Carretera Jancos - San Miguel de Pallaques – Cajamarca* (Tesis de pregrado). Universidad de Cajamarca, Cajamarca, Perú.

- García, L (2020) *Análisis comparativo del uso de geoceldas como elemento de refuerzo en pavimentos flexibles* (Tesis doctoral) Universidad piloto de Colombia seccional Alto Magdalena Girardot – Cundinamarca, Colombia.
- Hegde, A. (2017). Geocell reinforced foundation beds-past findings, present trends and future prospects: a state-of-the-art review. *Construction and Building Materials*, 154, 658-674.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061817315830>.
- Hernández, R., Fernández, C. y Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación científica*. México: McGraw Hill/ Interamericana.
- INVIAS. (2013). *Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras*. Artículo 231 Separación de suelos de sub rasante y capas granulares con geotextil. ISO. (2019). ISO 13426-1
- Kargar, M., & Mir, S. M. (2018). Influence of reinforcement stiffness and strength on load-settlement response of geocell-reinforced sand bases. *European Journal of Environmental and Civil Engineering*, 22(5), 596-613.
<https://doi.org/10.1080/19648189.2016.1214181>
- Nolazco, E. (2020). *Uso de geoceldas en pavimentos flexibles usadas en los últimos 10 años: una revisión de la literatura científica* (Tesis de pregrado). Universidad Privada del Norte, Lima, Perú. Recuperado de <http://hdl.handle.net/11537/24164>
- PAVCO (2010). *Aplicaciones de Geo sintéticos en obras civiles*. Bogotá, Colombia recuperado de <http://www.geosoftpavco.com/manualvirtual/document.pdf>
- Pokharel, S. K., Han, J., Leshchinsky, D., Parsons, R. L., & Halahmi, I. (2010). Investigation of factors influencing behavior of single geocell-reinforced

bases under static loading. *Geotextiles and Geomembranes*, 28(6), 570-578.

<https://doi.org/10.1016/j.geotexmem.2010.06.002>

Shahrokh P. (2018). Diverse Applications of Geocells for Highways—Two Case Studies from the North-East. *Geotechnics for Natural and Engineered Sustainable Technologies: GeoNEst*, 457-467.
https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-10-7721-0_29.

Sojo, C. (2022). *Análisis de deformación tridimensional de pavimentos con geocelda - tipo diamante en la carretera binacional km 1000+250 a km 1000+255, sector Huaytire –Moquegua* (Tesis de Maestría). Universidad José Carlos Mariátegui de Moquegua, Moquegua, Perú.

ANEXO
MATRIZ DE CONSISTENCIA
GEOCELDA TRIDIMENSIONAL APLICADA PARA EL MEJORAMIENTO FUNCIONAL EN TRAMO DE CARRETERA DE BAJA CAPACIDAD ESTRUCTURAL PACCHANI-ICHUÑA MOQUEGUA 2022

Problema	Objetivos	Hipótesis	Variables	Metodología
<p>Problema General ¿El uso de la geo celda tridimensional dará solución a los problemas de capacidad estructural en tramo de la carretera de baja capacidad estructural Pacchani - Ichuña?</p>	<p>Objetivo General Determinar que el uso de la geo celda tridimensional dará solución a los problemas de capacidad estructural en tramo de la carretera de baja capacidad estructural Pacchani - Ichuña</p>	<p>Hipótesis General El uso de la geo celda tridimensional dará solución a los problemas de capacidad estructural en tramo de la carretera de baja capacidad estructural Pacchani - Ichuña</p>	<p>Independiente Geocelda tridimensional</p>	<p>Tipo de Investigación Es de tipo cuantitativa de corte transversal analizada en forma descriptiva correlacional entre las variables. Diseño de la Investigación El diseño es no experimental Población Y Muestra – Población: Carretera Pachani-Ichuña – Muestra: 280m de carretera Pachani-Ichuña Muestra no probabilística por conveniencia</p>
<p>Problemas Específicos - ¿La aplicación de la geo celda tridimensionales permite brindar estabilidad a un suelo de baja capacidad estructural reduciendo el espesor de las capas estructurales? - ¿El uso de la geo celda tridimensional a nivel de subrasante contribuye con la durabilidad en tramo de baja capacidad estructural en la carretera Pacchani – Ichuña? - ¿El empleo de la geo celda tridimensional a nivel de subrasante reduce las deformaciones de la estructura conformante en la posterior pavimentación en tramos de baja capacidad estructural en la carretera Pacchani - Ichuña.?</p>	<p>Objetivos Específicos -Determinar que la aplicación de la geo celda tridimensionales permite brindar estabilidad a un suelo de baja capacidad estructural reduciendo el espesor de las capas estructurales - Determinar que el uso de la geo celda tridimensional a nivel de subrasante contribuye con la durabilidad en tramo de baja capacidad estructural en la carretera Pacchani - Ichuña. - Determinar que el empleo de la geo celda tridimensional a nivel de subrasante reduce las deformaciones de la estructura conformante en la posterior pavimentación en tramos de baja capacidad estructural en la carretera Pacchani - Ichuña.</p>	<p>Hipótesis Específicas -La aplicación de la geo celda tridimensionales permite brindar estabilidad a un suelo de baja capacidad estructural reduciendo el espesor de las capas estructurales - El uso de la geo celda tridimensional a nivel de subrasante contribuye con la durabilidad en tramo de baja capacidad estructural en la carretera Pacchani - Ichuña. - El empleo de la geo celda tridimensional a nivel de subrasante reduce las deformaciones de la estructura conformante en la posterior pavimentación en tramos de baja capacidad estructural en la carretera Pacchani - Ichuña.</p>		