

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE
CHOTA**

**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**INFLUENCIA DE LAS GEOCELDAS DE NEUMÁTICOS
RECICLADOS EN LA CAPACIDAD DE SOPORTE DEL
AFIRMADO PARA BASE, CHOTA, 2021
TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL**

Presentado por: ROSMEL YOVER CHÁVEZ MEJÍA

Asesor: Mg. Ing. MIGUEL ÁNGEL SILVA TARRILLO

Chota – Perú

2022



FORMATO DE AUTORIZACIÓN PARA PUBLICACIÓN DE TESIS Y TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN, PARA OPTAR GRADOS ACADÉMICOS Y TÍTULOS PROFESIONALES EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL DIGITAL – UNACH

1. DATOS DEL AUTOR:

Apellidos y nombres: Chávez Mejía Rosmel Yover
Código del alumno: 2015052004
Correo electrónico: 2015052004@unach.edu.pe

Teléfono: 992468837
DNI: 48648411

2. MODALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN:

Trabajo de investigación Trabajo de suficiencia profesional
 Trabajo académico Tesis

3. TÍTULO PROFESIONAL O GRADO ACADÉMICO:

Bachiller Licenciado Título
 Magister Segunda especialidad Doctor

4. TÍTULO DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN:

"INFLUENCIA DE LAS GEOCELDAS DE NEUMÁTICOS RECICLADOS EN LA CAPACIDAD DE SOPORTE DEL AFIRMADO PARA BASE, CHOTA, 2021"

5. FACULTAD DE: Facultad De Ciencias de la Ingeniería

6. ESCUELA PROFESIONAL DE: Escuela Profesional de Ingeniería Civil

7. ASESOR:

Apellidos y Nombres: Silva Tarrillo Miguel Ángel
Correo electrónico: masilvat@unach.edu.pe

Teléfono: 967 904 967
D.N.I.: 45606229

A través de este medio autorizo a la Universidad Nacional Autónoma de Chota publicar el trabajo de investigación en formato digital en el Repositorio Institucional Digital, Repositorio Nacional Digital de Acceso Libre (ALICIA) y el Registro Nacional de Trabajos de Investigación (RENATI).

Asimismo, por la presente dejo constancia que los documentos entregados a la UNACH, versión digital, son las versiones finales del trabajo sustentado y aprobado por el jurado y son de autoría del suscrito en estricto respeto de la legislación en materia de propiedad intelectual.

FIRMA: Rosmel Yover Chávez Mejía
DNI: 48648411

20 de enero de 2023.

**INFLUENCIA DE LAS GEOCELDAS DE NEUMÁTICOS
RECICLADOS EN LA CAPACIDAD DE SOPORTE DEL
AFIRMADO PARA BASE, CHOTA, 2021**

POR:

ROSMEL YOVER CHÁVEZ MEJÍA

**Presentada a la Facultad de Ciencias de la Ingeniería de la
Universidad Nacional Autónoma de Chota para optar el título
de
INGENIERO CIVIL**

APROBADA POR EL JURADO INTEGRADO POR



Mg. Ing. Edwar Cieza Sánchez

PRESIDENTE



Dra. Carmen R. Cárdenas Rosales

Dr. Ing. Carmen Rosa Cárdenas Rosales

SECRETARIO



Mg. Ing. José Luis Silva Tarrillo

VOCAL

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

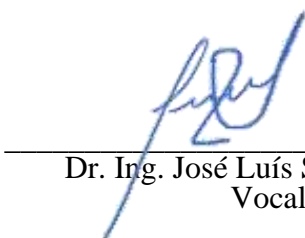
Siendo las 3:30 pm horas, del día miércoles 28 de diciembre de 2022, reunidos de manera virtual a través del Microsoft Teams, el Jurado Evaluador, conformado por: presidente: Dr. Ing. Edwar Cieza Sánchez, secretario: Dra. Carmen Rosa Cárdenas Rosales y Vocal: Dr. Ing. José Luís Silva Tarrillo y en calidad de Asesor: Mg. Ing. Miguel Ángel Silva Tarrillo. Actuando de conformidad con el Reglamento de Investigación de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería, se dio inicio a la Sustentación de la Tesis titulada: **“INFLUENCIA DE LAS GEOCELDAS DE NEUMÁTICOS RECICLADOS EN LA CAPACIDAD DE SOPORTE DEL AFIRMADO PARA BASE, CHOTA, 2021”**, presentada por el Bachiller **ROSMEL YOVER CHÁVEZ MEJÍA**.

Realizada la exposición y absueltas las preguntas formuladas por el Comité Científico, y luego de la deliberación del Jurado Evaluador, se acordó Aprobar la Tesis, calificándola con la nota de: 15 (Quince). Siendo las 5:00 pm horas del mismo día, se dio por concluido el acto.

Firmado en: Chota, 28 de diciembre del 2022



Dr. Ing. Edwar Cieza Sánchez
Presidente



Dr. Ing. José Luís Silva Tarrillo
Vocal



Dra. Carmen R. Cárdenas Rosales

Dra. Ing. Carmen Rosa Cárdenas Rosales
Secretario



COLEGIO DE INGENIEROS DEL PERU
Código Departamental de Cuzamarch
MIGUEL ANGE SILVA TARRILLO
INGENIERO CIVIL
Registro del Colegio de Ingenieros Nº 193792

Mg. Ing. Miguel Angel Silva Tarrillo
Asesor

DEDICATORIA

A Dios por dejarme culminar estos estudios por el que mis padres se esforzaron y sacrificaron mucho.

A mis padres German y María los que siempre estuvieron presentes en mi formación profesional siendo los pilares fundamentales en este camino, a quienes les dedico todos mis logros, por su sacrificio puesto en mis estudios, quienes se merecen esto y muchísimo más.

A mi hermano Denis Omar y su familia por apoyarme constantemente durante mi formación académica.

A mi hija que viene en camino y a su madre Roleysi mi compañera de vida, por incentivar me en terminar esta tesis y junto a mis padres ser mi mayor motivación en la vida.

A los que están en el cielo mis hermanos Jhean Marco y Cesar Fernando que desde allí derraman sus bendiciones y cuidan de mis pasos.

AGRADECIMIENTOS

Agradecer principalmente a Dios por guiarme y no abandonarme en ningún momento.

También quiero expresar mi agradecimiento a los docentes y mi asesor el ing. Miguel Silva por compartir sus conocimientos y por el apoyo cuando se lo he solicitado.

Asimismo, agradecer infinitamente a mi padre German Chávez, mi madre María Esther y mi hermano Denis Omar por su esfuerzo incondicional y entrega para lograr mis objetivos, a quienes les debo mi vida entera. A mi familia que viene en camino por ser una pieza fundamental en el término de este proyecto.

Como no agradecer a mis amigos y compañeros de la universidad que nos brindamos apoyo constante en cada ciclo universitario, dándonos fuerzas y ánimos en los momentos difíciles, con quienes compartimos anécdotas conocimientos y una gran parte de nuestra vida.

A mis hermanos Jhean Marco y Cesar Fernando quienes no pudieron estar presentes en este logro, pero formaron parte en algún momento, gracias por que a pesar de no estar presentes me siguen guiando por la senda del bien.

Jamás es tarea sencilla dar las gracias a todas las personas que contribuyeron en mí. Es verdad que se han escrito un montón de palabras de agradecimiento, pero muchas veces no se puede plasmar tanto afecto y admiración en un papel, gracias infinitas a todos los partícipes de mi formación.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

| | |
|--|------------|
| RESUMEN | xi |
| ABSTRACT | xii |
| CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN | 13 |
| 1.1. Planteamiento del problema..... | 13 |
| 1.2. Formulación del problema | 15 |
| 1.3. Justificación | 15 |
| 1.4. Delimitación de la investigación..... | 18 |
| 1.5. Limitaciones..... | 18 |
| 1.6. Objetivos | 19 |
| 1.6.1. Objetivo general..... | 19 |
| 1.6.2. Objetivos específicos | 19 |
| CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO | 20 |
| 2.1. Antecedentes | 20 |
| 2.1.1. Antecedentes internacionales..... | 20 |
| 2.1.2. Antecedentes nacionales | 24 |
| 2.1.3. Antecedentes regionales | 26 |
| 2.2. Bases teórico – científicas | 27 |
| 2.2.1. Teoría de plasticidad de Cambridge | 27 |
| 2.2.2. Teoría de las tres dimensiones del desarrollo sostenibilidad..... | 29 |
| 2.2.3. Análisis del uso de llantas recicladas en el medio ambiente tomando en cuenta la teoría del desarrollo sostenible | 29 |
| 2.3. Marco conceptual | 33 |
| 2.3.1. Neumáticos (Llantas)..... | 33 |
| 2.3.2. Geosintéticos..... | 41 |
| 2.3.3. Sistema de geoceldas | 42 |
| 2.3.4. Canteras | 45 |
| 2.3.5. Suelos..... | 47 |
| 2.3.6. Capacidad de soporte (CBR) | 53 |

| | |
|---|-----------|
| 2.3.7. Pavimento de carretera | 54 |
| 2.3.8. Afirmado..... | 55 |
| 2.3.9. Subbase granular..... | 56 |
| 2.3.10. Base granular | 57 |
| 2.3.11. Estabilización con geo sintéticos | 58 |
| 2.4. Hipótesis | 59 |
| 2.5. Operacionalización de variables | 59 |
| 2.5.1. Variable independiente | 59 |
| 2.5.2. Variable dependiente | 59 |
| CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO | 61 |
| 3.1. Tipo y nivel de investigación | 61 |
| 3.2. Diseño de investigación | 62 |
| 3.3. Métodos de investigación..... | 62 |
| 3.4. Población, muestra y muestreo | 64 |
| 3.4.1. Población | 64 |
| 3.4.2. Muestra | 64 |
| 3.4.3. Muestreo | 64 |
| 3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos | 67 |
| 3.5.1. Técnicas | 67 |
| 3.5.2. Instrumentos | 67 |
| 3.6. Técnicas de procesamiento y análisis de datos | 68 |
| 3.6.1. Proceso de obtención de los datos | 68 |
| 3.6.2. Procesamiento de datos..... | 87 |
| 3.6.3. Análisis de datos | 88 |
| 3.7. Aspectos éticos | 88 |
| CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN | 89 |
| 4.1. Descripción de resultados..... | 89 |
| 4.1.1. Características del suelo de la cantera Cangana | 89 |
| 4.1.2. Características de las geoceldas confeccionadas | 93 |
| 4.1.3. Capacidad de soporte in situ con geoceldas | 97 |

| | |
|---|------------|
| 4.1.4. Comparación técnico económica | 99 |
| 4.2. Discusión de resultados..... | 102 |
| 4.3. Contrastación de hipótesis..... | 107 |
| CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 109 |
| 5.1. Conclusiones | 109 |
| 5.2. Recomendaciones y/o sugerencias | 111 |
| CAPÍTULO VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 112 |
| CAPÍTULO VII. ANEXOS | 121 |
| Anexo A. Matriz de consistencia..... | 121 |
| Anexo B. Panel fotográfico | 122 |
| Anexo C. Costo unitario | 206 |
| Anexo D. Diseño de pavimento rígido | 212 |
| Anexo E. Resultado de ensayos de laboratorio | 213 |
| Anexo F. Resultado de ensayos in situ | 214 |
| Anexo G. Certificados INDECOPI e INACAL | 215 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | | |
|-----------------|---|-----|
| Tabla 1 | Composición Ponderal (%) Aproximada de los Neumáticos | 35 |
| Tabla 2 | Composición Química de los Neumáticos | 35 |
| Tabla 3 | Propiedades Físico Químicas del Caucho Natural | 36 |
| Tabla 4 | Clasificación SUCS..... | 47 |
| Tabla 5 | Clasificación AASHTO..... | 48 |
| Tabla 6 | Categoría del Suelo según Tamaño de Partículas..... | 49 |
| Tabla 7 | Categoría según el IP del Suelo..... | 50 |
| Tabla 8 | Categoría según Equivalente de Arena | 51 |
| Tabla 9 | Categoría del Suelo según CBR..... | 51 |
| Tabla 10 | Requerimientos del Suelo para Afirmado | 55 |
| Tabla 11 | Requerimientos Granulométricos para Subbase..... | 56 |
| Tabla 12 | Requerimientos del Suelo para Subbase | 56 |
| Tabla 13 | Requerimientos del Suelo para Base | 57 |
| Tabla 14 | CBR en Base Granular | 57 |
| Tabla 15 | Matriz de Operacionalización de Variables | 60 |
| Tabla 16 | Tipo de Investigación según los Principales Criterios | 61 |
| Tabla 17 | Ensayos In Situ con Suelo de la Cantera Cangana y Geoceldas | 64 |
| Tabla 18 | Cantidad de Material para la Base Granular con Geoceldas | 83 |
| Tabla 19 | Costo Estimado para la Confección de Geoceldas Romboidales..... | 84 |
| Tabla 20 | Costo Estimado para la Confección de Geoceldas Circulares..... | 84 |
| Tabla 21 | Ejes Equivalentes de 8.2 t | 85 |
| Tabla 22 | Índices de Serviciabilidad | 86 |
| Tabla 23 | Z_R | 86 |
| Tabla 24 | Características Físico – Mecánicas del Suelo de la Cantera Cangana..... | 90 |
| Tabla 25 | Características de las Geoceldas Confeccionadas | 95 |
| Tabla 26 | Densidad de Campo del Suelo con Geoceldas | 97 |
| Tabla 27 | CBR del Suelo con Geoceldas..... | 97 |
| Tabla 28 | Comparación Técnica de las Características Mecánicas del Suelo | 99 |
| Tabla 29 | Comparación Técnica de los Espesores de Capas para Pavimento Rígido | 100 |
| Tabla 30 | Comparación Económica con y sin Geoceldas | 101 |
| Tabla 31 | Suelo de la Cantera Cangana según los Requerimientos del MTC (2014) | 103 |
| Tabla 32 | Características Técnicas y Económicas de las Geoceldas..... | 105 |
| Tabla 33 | Datos para el Análisis Estadístico | 108 |
| Tabla 34 | Prueba Estadística | 108 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | | |
|------------------|---|----|
| Figura 1 | Criterio de Plasticidad en Muestras de Arcilla Saturada | 28 |
| Figura 2 | Modelo Tridimensional de la Teoría de la Plasticidad | 28 |
| Figura 3 | Dimensiones del Desarrollo Sostenible | 29 |
| Figura 4 | Neumático Antes y Después del Desgaste..... | 33 |
| Figura 5 | Partes de un Neumático | 34 |
| Figura 6 | Niveles de Tratamiento de Neumáticos Fuera de Uso..... | 37 |
| Figura 7 | Esquema de una planta de reciclaje de neumáticos | 39 |
| Figura 8 | Proceso de tratamiento de Neumáticos Fuera de Uso..... | 39 |
| Figura 9 | Proceso de trituración mecánica | 40 |
| Figura 10 | Clasificación de los Geosintéticos | 41 |
| Figura 11 | Geocelda | 42 |
| Figura 12 | Movimiento de Redes Sistemas Convencional vs Geoceldas..... | 43 |
| Figura 13 | Beneficios de la Instalación con Geoceldas..... | 44 |
| Figura 14 | Clasificación de las Canteras | 45 |
| Figura 15 | Cantera a Cielo Abierto | 46 |
| Figura 16 | Fases del Suelo | 47 |
| Figura 17 | Curva Granulométrica del Suelo..... | 49 |
| Figura 18 | Curva de Compactación..... | 52 |
| Figura 19 | Ensayo de Proctor Modificado | 52 |
| Figura 20 | Curva CBR | 53 |
| Figura 21 | Corte Transversal del Pavimento..... | 54 |
| Figura 22 | Estructura del Pavimento..... | 54 |
| Figura 23 | Esquema de Investigación: Experimental..... | 63 |
| Figura 24 | Geocelda Tipo Romboidal..... | 65 |
| Figura 25 | Geocelda Tipo Circular..... | 66 |
| Figura 26 | Ubicación de la cantera Cangana..... | 68 |
| Figura 27 | Cantera Cangana..... | 69 |
| Figura 28 | Muestreo en la Cantera Cangana | 69 |
| Figura 29 | Recolección de Neumáticos en la ciudad de Chota | 70 |
| Figura 30 | Retiro de Caras Laterales..... | 71 |
| Figura 31 | Confección de Geoceldas Romboidales | 72 |
| Figura 32 | Confección de Geoceldas Circulares | 73 |
| Figura 33 | Arreglo de llantas Celda | 76 |
| Figura 34 | Proceso de Aplicación de Geoceldas en Campo..... | 78 |

| | | |
|------------------|--|----|
| Figura 35 | Proceso del ensayo de CBR in situ | 80 |
| Figura 36 | Proceso del Ensayo de Densidad de Campo | 81 |
| Figura 37 | Proceso del Ensayo de Speedy | 82 |
| Figura 38 | Curva Granulométrica del Suelo de la Cantera Cangana..... | 91 |
| Figura 39 | Diagrama de Fluidez del Suelo de la Cantera Cangana..... | 91 |
| Figura 40 | Curva de Compactación del Suelo de la Cantera Cangana..... | 92 |
| Figura 41 | Curva CBR del Suelo de la Cantera Cangana..... | 92 |
| Figura 42 | Capacidad de los neumáticos para ser reciclados | 94 |
| Figura 43 | Forma y tamaños de geoceldas | 94 |
| Figura 44 | Geoceldas Romboidales y Circulares | 96 |
| Figura 45 | CBR del Suelo con Geoceldas Circulares..... | 98 |
| Figura 46 | CBR del Suelo con Geoceldas Romboidales..... | 98 |

RESUMEN

La economía de un país, se mide por la calidad de sus carreteras, pero algunos suelos que, se usan en la construcción de pavimentos no proporcionan propiedades deseables (Ramesh et al., 2019). En la investigación se tuvo por objetivo “Evaluar la influencia de las geoceldas de neumáticos reciclados en la capacidad de soporte del afirmado para base, caso de estudio: Cantera Cangana, con el fin de verificar si el material granular confinado con geoceldas cumple con la EG-2013 (MTC, 2015)”. Se elaboraron tres prototipos de geoceldas circulares y romboidales confeccionadas con neumáticos fuera de uso, utilizando como material de relleno, al suelo de la cantera Cangana, que, se clasifica según SUCS como grava pobremente gradada con arcilla, arena y limo, estando dentro del grupo A-1-a (0) según AASHTO, con CBR al 95% y 100% MDS de 42.50% y 68.30%, respectivamente, cumpliendo con las características físico mecánicas para afirmado y subbase (MTC, 2014), pero siendo insuficiente para base granular (MTC, 2015). No obstante, al ser confinado el material, con el uso de geoceldas circulares y romboidales, el CBR in situ alcanza valores de 100.13% y 99.53%, respectivamente, cumpliendo con la EG-2013 (MTC, 2015) para base granular. Se concluyó que, las geoceldas circulares, tienen mayores beneficios técnicos y económicos, su aplicación en una carretera logra disminuir el costo en 9.80%, respecto al uso de solamente material de afirmado, considerando que, sin geoceldas la base granular tendrá un espesor de 40 cm, mientras que, con geoceldas la base granular será de 20 cm.

Palabras clave: Geoceldas, capacidad de soporte (CBR), base granular, afirmado, neumáticos reciclados.

ABSTRACT

The economy of a country is measured by the quality of its roads, but some soils used in pavement construction do not provide desirable properties (Ramesh et al., 2019). The objective of the research was to "Evaluate the influence of recycled tire geocells on the bearing capacity of the affirmate for base, case study: Cangana Quarry, in order to verify if the granular material confined with geocells meets the requirements of the EG-2013 (MTC, 2015)". Three prototypes of circular and rhomboidal geocells made with end-of-life tires were elaborated, using as fill material, the soil of the Cangana quarry, which, is classified according to SUCS as poorly graded gravel with clay, sand and silt, being within the group A-1-a (0) according to AASHTO, with CBR at 95% and 100% MDS of 42. 50% and 68.30%, respectively, complying with the physical-mechanical characteristics for affirmation and subbase (MTC, 2014), but being insufficient for granular base (MTC, 2015). However, when the material is confined, with the use of circular and rhomboidal geocells, the in situ CBR reaches values of 100.13% and 99.53%, respectively, complying with the EG-2013 (MTC, 2015) for granular base. It was concluded that, circular geocells, have greater technical and economic benefits, its application in a road manages to reduce the cost by 9.80%, with respect to the use of only affirmed material, considering that, without geocells the granular base will have a thickness of 40 cm, while, with geocells the granular base will be 20 cm.

Key words: Geocells, bearing capacity (CBR), granular base, pavement, recycled tires.

CAPÍTULO I.

INTRODUCCIÓN

1.1. Planteamiento del problema

La economía de un país, se mide por la calidad y longevidad de sus carreteras, pero algunos suelos que, se usan en la construcción no proporcionan propiedades deseables (Ramesh et al., 2019). Cuando se trata de suelos con capacidad de carga (CBR) insuficiente, es necesario mejorarla (Malicki et al., 2021). El refuerzo del suelo es una de las técnicas más populares, se logra a través de diferentes materiales y técnicas, siendo, actualmente el material más versátil el refuerzo con geoceldas (Tabatabaei et al., 2019).

Las geoceldas son sistemas fabricados tridimensionales, duraderos y ligeros, formado por celdas cuadradas, triangulares o circulares, que pueden expandirse in situ para formar una estructura similar a un panal (Li et al., 2021). Las geoceldas se rellenan con material de préstamo y se compactan; el compuesto forma una estructura rígida o semirrígida (Khan et al., 2022). La profundidad de las geoceldas y el tamaño de la unidad celular puede variar según los requisitos del diseño, sea para reforzar terrenos blandos, estructuras de contención, cimientos, carreteras y/o vías férreas (Jayanthi et al., 2022).

Las geoceldas se han utilizado de forma intermitente en carreteras; proporcionan un refuerzo lateral que aumentan la capacidad portante de las capas de pavimento de la subbase y de la subrasante (Inti et al., 2021), no obstante, se dispone de información limitada sobre su aplicación en campo (Khan et al., 2022), por lo que, investigadores han realizado un buen número de trabajos para discutir el desempeño del refuerzo de geoceldas a través de estudios de campo y pruebas de laboratorio (Jayanthi et al., 2022).

En Perú, el MTC (2014) considera dos formas de mejoramiento del suelo, la estabilización de la subrasante cuando esta presenta CBR menor al 6%, y el mejoramiento del material de cantera para formar una base granular tratada, en ambos casos, menciona a los geo sintéticos como una opción que, permite mejorar el valor de soporte (CBR), y el rápido drenaje de la capa base. Sin embargo, al tipo de geo sintéticos que se refiere el compendio es los geotextiles, que son capas bidimensionales, mientras que, las geoceldas, son capas tridimensionales, que requieren de análisis previo a su uso.

En Cajamarca, de la red vial nacional, regional y vecinal formada por 1,738.90 km, 886.40 km, y 12,023.80 km, el 15.74%, 96.41% y 99.06%, corresponden a carreteras no pavimentadas (MTC, 2018), que requieren pasar por procesos de mantenimiento y/o rehabilitación, considerando lo argumentado por Fernández-Irigoín y Ticlla-Ríos (2020) que, determinaron que, el 83.33% de las principales carreteras del distrito de Chota se encuentran en mal o regular estado, siendo la carretera Chota – La Palma, una de las vías que, requiere ser rehabilitada; pero para ello, se necesita material estandarizado de cantera.

En Chota, según la MPCH (2018), hay cinco botaderos de residuos sólidos, con cuerpos receptores en las quebradas San Mato, Rambram y Colpamayo, por lo que, contaminan el agua y la biodiversidad, siendo el caucho, cuero, jebe y neumáticos fuera de uso el 4.29% del total de residuos inertes (6.84 Tn/población/día).

Asha y Divya (2020) argumentan que, la utilización de materiales de desecho para el desarrollo de infraestructura se ha convertido en una solución sostenible para la gestión de residuos. Siendo así, los neumáticos fuera de uso, se pueden utilizar en la fabricación de geoceldas; sin embargo, la evaluación de la

idoneidad de estos materiales para la construcción se ha convertido en un desafío. En otras palabras, Asha y Divya (2020) sostienen que, se pueden utilizar neumáticos fuera de uso, como los que, se pueden encontrar en los vertederos de Chota (MPCH, 2018), para la producción de geoceldas de neumáticos reciclados, no obstante, la pertinencia del uso de estos materiales para mejorar el CBR aún sigue siendo un tema poco estudiado, más aún en la ciudad de Chota, donde las tecnologías de reforzamiento del suelo para producir bases granulares siguen siendo convencionales, y están dadas por la combinación de materiales.

En la carretera Chota – La Palma, se encuentra la cantera Cangana, misma, de la que, no se conocen sus características físico mecánicas, pero tomando en cuenta, la investigación de Ticlla (2021) se presume cumpla los requisitos de un material de afirmado, pero no de una base granular, por tanto, requiere reforzamiento, es decir se debe mejorar su capacidad de soporte por medio de la incorporación de algún sistema de refuerzo, como las geoceldas.

Por ello, ante la problemática descrita se ha planteado evaluar la influencia de las geoceldas de neumáticos reciclados en la capacidad de soporte del afirmado para base, caso de estudio: Cantera Cangana.

1.2. Formulación del problema

¿Cómo influyen las geoceldas de neumáticos reciclados en la capacidad de soporte del afirmado para base, caso de estudio: cantera Cangana?

1.3. Justificación

Se ha elegido este tema, debido a que, (1) la acumulación de neumáticos fuera de uso en las afueras de la ciudad y en los botaderos descritos por la MPCH (2018), que generan contaminación al medio ambiente, (2) el tiempo que tardan los neumáticos en degradarse, según Murillas (2021) “los neumáticos tardan más

de 1000 años en degradarse”, (3) la falta de canteras con material adecuado para subbase y base granular en la ciudad de Chota, que cumplan los requerimientos de la EG-2013 (MTC, 2015), (4) los múltiples beneficios (Cañon, 2018) que, sugiere el uso de geoceldas en carreteras para el incremento de la capacidad de soporte de la base granular al constituirse como un material nuevo. Siendo así, resuelve el problema de la falta de material adecuado para la conformación de las capas de rodamiento de vías no pavimentadas y pavimentadas, siendo trascendente para la sociedad, quienes son favorecidos con una propuesta sustentable, que coadyuba al cuidado del medio ambiente pero que, a la vez preserva las características técnicas.

El aporte teórico que, se ha logrado, es la determinación de las características mecánicas del suelo natural de la cantera Cangana, y de su aplicación en campo en modelo a escala, para mejorar el CBR del material granular para su uso como base tratada para su uso en carreteras chotanas. Llena el vacío del conocimiento acerca de la forma de fabricación, aplicación y características mecánicas que se logran, al utilizar geoceldas a partir de neumáticos fuera de uso, reemplazando a las geoceldas convencionales hechas de HDPE. Su desarrollo se ha basado en las teorías de mecánica de suelos, que permiten la estimación de la capacidad de soporte, incrementando el conocimiento científico acerca de las geoceldas tridimensionales. Con lo analizado, es posible aplicar geoceldas en las diferentes carreteras del distrito de Chota, para estabilizar subrasantes o como capa de base granular, usando como material de relleno al suelo de la cantera Cangana.

El uso de geoceldas proporcionan un refuerzo lateral que, aumenta la capacidad portante de las capas de pavimento de la subrasante, subbase y base

granular (Inti et al., 2021), siendo así, la aplicación de geoceldas como material nuevo trae múltiples beneficios, como, un mejor drenaje del agua, por parte del material granular, sin que, este pierda su estabilidad, pues se encuentra en un medio confinado, mayor capacidad de soporte frente a las cargas vehiculares, control de la expansibilidad o hinchamiento que, pueda tener el material, el módulo de soporte del suelo aumenta debido a que, se está usando un material con mayor firmeza frente a las cargas del tránsito, lo que, no solamente permite disminuir el espesor de la capa base, sino también disminuir el espesor de la capa de losa del pavimento, lo que, significa un menor costo de construcción, entre otros beneficios, no obstante, para validar estos beneficios era pertinente realizar un estudio local, considerando que, las geoceldas de uso se han fabricado a partir de materiales reciclados, además de que, las características del material de relleno, cambian según la localidad.

Finalmente, se recalca la importancia de la investigación en el aspecto científico para aumentar el conocimiento referente a las geoceldas, material nuevo, con múltiples beneficios aparentes, pero cuyo análisis valida su aplicación; en el aspecto técnico, para caracterizar el suelo natural de la cantera Cangana, y como estas varían al ser aplicadas en un modelo a escala con el uso de geoceldas; en el aspecto ambiental, al utilizar llantas de desecho para elaborar las geoceldas, reducir la cantidad de suelo para la elaboración de la base granular, y facilitar los procesos constructivos; en el aspecto social, por la utilidad de este material para futuras obras de mantenimiento y/o rehabilitación de carreteras, y porque es el inicio para futuras investigaciones en geoceldas; y en el aspecto económico, debido a que, si bien aparentemente el uso de suelo – geocelda tendría un costo mayor que, el uso del suelo natural, esto no es lo que, sucede en una construcción

real, al ser aplicado a una carretera el suelo – geocelda tendría mayor capacidad de soporte por ende, la dimensión de las capas de subbase, base y losa, serían menores a las que, se necesitarán al usar suelo natural, lo que, representa un ahorro en el costo de inversión tal como, argumentan Baadiga et al. (2021), George et al. (2021), Asha y Divya (2020), Huamaní (2022) y Alarcón y Quispe (2021).

1.4. Delimitación de la investigación

En el estudio se han utilizado neumáticos reciclados para mejorar el CBR del afirmado para base, considerando que, en las afueras de la ciudad de Chota, en botaderos y vertederos se pueden encontrar gran número de neumáticos fuera de uso (MPCH, 2018), los cuales se han utilizado, para la elaboración de geoceldas de forma romboidal y circular. Así mismo, considerando que, la cantera Cangana, ubicada en la carretera Chota – La Palma, CA-105, tiene material de afirmado, con características no conocidas, se ha usado este material como objeto de estudio, siendo el suelo de relleno de las geoceldas. Por tanto, se ha determinado las propiedades del suelo de la cantera Cangana, en laboratorio; para luego realizar prototipos a escala, con la aplicación de las geoceldas, para medir la densidad de campo y el CBR in situ, a fin de plantear la influencia de las geoceldas fabricadas a partir de neumáticos reciclados en el suelo de la cantera Cangana.

1.5. Limitaciones

Solo se ha utilizado material de la cantera Cangana, no se ha utilizado suelo de otras canteras del distrito de Chota.

No se han utilizado las geoceldas comerciales, es decir no se han realizado análisis del CBR de campo del suelo de la cantera Cangana con la aplicación de

geoceldas comerciales, sino que, se han utilizado las geoceldas fabricadas a partir de neumáticos fuera de uso, para darle un enfoque ambiental a la investigación.

Se trabajó en un modelo a escala para el análisis del CBR de campo, debido al costo que implica utilizar el modelo en una carretera real, no obstante, los resultados son significativos debido a que el modelo a escala, representa un tramo de una vía.

1.6. Objetivos

1.6.1. Objetivo general

Evaluar la influencia de las geoceldas de neumáticos reciclados en la capacidad de soporte del afirmado para base, caso de estudio: Cantera Cangana.

1.6.2. Objetivos específicos

- Determinar las características físico mecánicas del suelo natural de la cantera Cangana, Chota.
- Describir las características de los tipos de geoceldas romboidal y circular elaborados con los neumáticos reciclados.
- Determinar el CBR in situ de los prototipos de afirmado de la cantera Cangana, confinado con geoceldas de forma romboidal y circular, para su uso como base granular, según los lineamientos de la EG-2013 (MTC, 2015)
- Comparar técnica y económica el uso de afirmado sin y con confinamiento por geoceldas, para su uso como base granular.

CAPÍTULO II.

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

2.1.1. Antecedentes internacionales

Baadiga et al. (2022) en su artículo científico determinaron el comportamiento de pavimentos sin pavimentar estabilizados con geomallas y geoceldas. Utilizaron geomallas de polipropileno (PP) y poliéster (PP), y geoceldas de HDPE de 75, 100, 150 y 200 mm de alto, aplicados en tramos de pavimento de 1.50 x 1.50 x 1.0 m. Con lo que, determinaron que la tensión a nivel de subrasante se redujo hasta en 61% para las geomallas y 78% para las geoceldas, el CBR fue mayor que para el pavimento no estabilizado, para geomallas variaba de 29 a 53%, y para geoceldas de 30 a 55%. Concluyeron que, el rendimiento es superior al estabilizar las bases con geomalla más rígida o con geoceldas de mayor altura.

Khan et al. (2022) en su disertación utilizó geoceldas de HDPE de doble capa para reforzar la capa base del pavimento de asfalto recuperado (RAP), determinando que, mejoró el rendimiento de la subrasante en 48%, reduciendo la tensión vertical promedio.

Shafiee-Panah et al. (2022) evaluaron el pavimento reforzado con geoceldas, construido con agregado de concreto reciclado, sometido a cargas de ruedas. Concluyeron, que el refuerzo de geocell mejoró el rendimiento de la subrasante hasta en 23%.

Baadiga et al. (2021) en su investigación “Effect of Geogrid Type and Subgrade Strength on the Traffic Benefit Ratio of Flexible Pavements” determinaron el efecto del tipo de geomalla y la firmeza de la subrasante (pobres

a firmes) en la relación de beneficios de beneficio del tráfico (TBR), cuantificado como la relación de ciclos de carga para alcanzar un estado de deformación/fallo en secciones experimentales de 1.50 m de largo, 1.50 m de ancho y 1.0 m de profundidad, a los que se les aplicó carga repetida de 100 kN de capacidad. Concluyendo que, con el uso de geomallas, el espesor de las capas de agregados se redujo, aumentando el CBR y el TBR en 7.5% y 29%.

George et al. (2021) evaluaron el desempeño de bases de pavimentos de asfalto recuperado (RAP) reforzados con geoceldas de polietileno de alta densidad (HDPE). Determinaron que, el uso de geoceldas HDPE aumentó el módulo resiliente de la capa base RAP entre 2.5 y 3.3 veces, redujo la deformación permanente de la base RAP en 70 a 80%, y aumento la capacidad de soporte, en comparación con las bases RAP no reforzadas. Concluyeron que, el uso de geoceldas reduce el espesor de la base en el diseño del pavimento.

Inti et al. (2021) en su tesis “Use of Geocell in Pavement Design” determinaron los beneficios derivados del uso de geoceldas para mejorar el CBR del suelo, concluyendo que, estas reducen las tensiones hasta en 20% a 15 cm del centro; reducen el espesor de la capa base; se pueden colocar sobre subrasante de calidad débil; pero es antieconómico utilizar geoceldas de menos de 4” de altura, y cuando el módulo de la base es superior a 20 ksi.

Sheikh et al. (2021) estudiaron el reforzamiento de material residual de cantera con geoceldas para su uso en la subrasante de pavimentos. Utilizaron tres alturas diferentes de geoceldas 100, 125 y 150 mm. Debido a la inclusión de geoceldas, la distribución de tensión vertical aumenta y la capacidad de carga promedio mejora en un 50%. Concluyeron que, los desechos de las canteras de

roca se pueden utilizar como material de base alternativo para pavimentos si se proporciona un confinamiento de geoceldas adecuado.

Beltrán et al. (2020) en su disertación evaluaron el comportamiento de llantas de desecho como geoceldas para pavimentos. Diseñaron la celda prototipo con altura interna de 15.4 cm, y 52 cm de diámetro interno, utilizando llanta rin #13, el CBR del material es 20%, pero al usar las geoceldas es 50%, pero el CBR mínimo para base es 60%, por tanto, no cumple con la norma colombiana.

Enciso (2020) en su tesis de maestría, utilizó llantas de desecho rin #13, como geoceldas, rellenas con pavimento asfáltico reciclado (RAP) compactado, solo o con suelo natural para pavimentos de vías de bajo tránsito. El suelo natural tiene CBR de 45%, pero al ser mezclado con RAP y confinado con geoceldas, el CBR es 75%.

Venkatesh y Suluguru (2020) en su investigación utilizaron geocelda, geomalla (uniaxial, biaxial y triaxial) y geotextil de coco como refuerzo en el CBR y módulo de resistencia de la subrasante instalados a 1/3H, 1/2H y 2/3H de la parte superior del molde CBR. El suelo se clasifica como MH, tiene LL de 54%, IP de 8.71%, CBR de 0.90%. Para las geoceldas, se han utilizado las cámaras de neumáticos de vehículos, con relaciones de aspecto de 0.75, 1 y 1.50, determinando que, el CBR era 2.5%, 3.4% y 3.94% a 1/3H, 1.99%, 3.1% y 2.85% a 1/2H, 1.67%, 1.8% y 2.33% a 2/3H. Concluyeron que, las geoceldas a 1/3H aumentan en mayor medida al CBR.

Guaje (2020) en su tesis de maestría, utilizó llantas desechadas para elaborar celdas, que sirvan de confinamiento al agregado reciclado de RCD, para su uso en carreteras en Colombia. El agregado natural se clasifica como GP-GC, con LL de 33%, IP de 15%, humedad óptima 16%, densidad seca máxima de 17.7

kN/m³, y CBR de 7%, en cambio, el agregado reciclado con el uso de celdas, tiene humedad óptima de compactación de 9.30%, densidad máxima seca de 19.7 kN/m³, CBR de 68%.

Asha y Divya (2020) en su artículo científico aplicaron geoceldas para la estabilización de materiales de desecho para construcciones de pavimentos sostenibles. Tuvieron áreas de experimentales de montaje de 750 x 750 mm, con geoceldas de 100 mm de altura, preparadas sobre un relleno sin cohesión de 400 mm de altura al 85% de densidad relativa. Utilizaron polvo de cantera en tres proporciones de volumen diferente, determinado que, el uso de ceniza con confinamiento por geoceldas, es un material adecuado para pavimentos, ya que, soporta una mayor presión de carga.

Garzón-Florián y Henao-Alfonso (2019) estudiaron las diferentes alternativas para estabilizar el suelo con geoceldas comerciales, es decir, de venta libre en Colombia; concluyendo que, la geocelda de lata de atún sirve para mejorar la firmeza del suelo en escala de 1:2, comparada con la geocelda convencional, además de que, su costo de fabricación es menor.

Tabatabaei et al. (2019) evaluaron la aplicabilidad de arena dragada reforzada con geoceldas mediante pruebas de carga de placa y rueda. Concluyeron que, la capacidad de carga se puede duplicar con el uso de refuerzo de geoceldas acompañado de grava bien graduada como capa de cobertura.

Barrera y Franco (2019) estudiaron el comportamiento de geoceldas, fabricadas con llantas de desecho. Utilizaron suelo clasificado como MH, con LL 77.7%, IP 35.2%, densidad seca 12.7 kN/m³, humedad óptima 34%, que fue reforzado con llantas a 60 y 80 mm, concluyendo que, es viable el uso de llantas

para la elaboración de geoceldas, ya que no se requiere personal con experiencia en la producción.

Salinas y Villao (2019) compararon la estabilización de suelos expansivos, limo arcilloso de alta plasticidad 35.51%, con CBR al 95% MDS de 2.19%, utilizando cal, sal y geoceldas. Las mezclas con cal se hicieron al 3%, 5% y 7%, al igual que para la sal, mientras que, para la implementación de geocelda procedieron a realizar un modelo a escala en campo, comprobando así la resistencia como material estabilizante. Determinaron que, el CBR al 95% MDS con cal llegaba hasta 15.98%, con hinchamiento de 20.29%, con sal alcanzaba CBR de 11.56% con hinchamiento de 12.16%, mientras que, al usar geoceldas, el hinchamiento se reducía a 7.11%. siendo así, Concluyeron que, el uso de geoceldas mejora las características mecánicas del suelo en 82.39%.

2.1.2. Antecedentes nacionales

Pezo (2022) en su tesis de maestría utilizó geomalla y geotextil para estabilizar el suelo expansivo arcilloso de alta plasticidad con CBR 2.09%, mediante la modelación en el programa plaxis, para escoger el escenario que lograra mejores resultados, verificando que, el mayor refuerzo se alcanzaba al combinar la geomalla y geotextil con factores de reforzamiento de 1.21 y 1.25.

Huamaní (2022) estabilizó una base granular con refuerzo de geomalla, en las av. Los Próceres, 9 de diciembre y Leoncio Prado de Chilca, Huancayo, cuyo suelo de la subrasante tenía CBR de 3%, pero luego al usar base granular con refuerzo de geomalla el CBR de diseño era 11%, 12% y 12%. Con el uso de geomalla biaxial 20 kN/m el espesor de la base granular y subbase se reduce en 5% y 3%, con el uso de geomalla biaxial 30 kN/m, se reduce en 5.5% y 3%, reduciendo ambas geomallas los costos en 17% y 19%.

Mendoza y Torres (2022) propusieron el diseño del pavimento flexible reforzado con geoceldas para la av. Defensores del Morro, Chorrillos, donde el suelo natural tenía CBR al 95% y 100% de MDS de 15.5% y 19.2%. Concluyeron que, el uso de geoceldas de 15 cm en la subbase del diseño propuesto disminuye el ahuellamiento de la subrasante en 5.33% y el esfuerzo de compresión en la parte inferior de la subbase de 4.07%.

Alarcón y Quispe (2021) implementaron la geomalla triaxial para mejorar el suelo arcillo limoso de la av. Canta Callao, cuyo suelo arcillo limoso con CBR al 95% y 100% MDS de 12.6% y 17.2%, tendría 10 cm de capa superficial, 22 cm de base y 70 cm de subbase, pero al reforzar con geomalla, se logra disminuir el espesor total del pavimento a 22 cm.

Aguilar (2021) realizó dos modelos de 10 m de largo y 4 m de ancho, de 30 cm de espesor, donde a uno le aplicó geomalla triaxial en la subrasante y al otro no, dejándolo solamente como material de afirmado, con lo que concluyó que, el grupo control tenía CBR de 4.54% y módulo de resiliencia de 589.86 kg/cm², mientras que, el afirmado con geomalla triaxial, tenía CBR de 8.53% y módulo de resiliencia de 1095.41 kg/cm².

Valentín y Valladares (2021) compararon el refuerzo con geomalla Triaxial TX-5 y geocelda HDPE de 12 cm de altura de celda, para el diseño del pavimento flexible de la carretera hu-108, Churubamba-Huánuco. Determinaron, que con el uso de la geocelda el espesor del pavimento se optimiza en 58.9%, respecto al diseño tradicional y 22% respecto al diseño con geomalla triaxial, asimismo, se reduce el 5.6% del costo respecto al diseño tradicional, además de que se reduce el impacto ambiental de explotación de canteras en 36.4%.

Gallegos (2019), realizó una revisión sobre el uso de geoceldas para estabilizar suelos inestables en carreteras del Triunfo, Tambopata, Madre de Dios, determinando que, al usar geoceldas el CBR de la subbase acrecienta en 72.3%.

Santisteban (2019) utilizó geoceldas para mejorar la estructura del pavimento flexible en Huaura, Lima. Concluyendo que, el uso de geoceldas aumentó la capacidad de soporte CBR de 19.8% a 58.2% al 95% MDS, disminuyó el asentamiento del pavimento al 28.09%, y el costo de inversión al 8.23% en 12 días menos de ejecución.

Patazca (2019) utilizó geoceldas en la subrasante de la cuadra 8 de la Av. Morales Duarez, Callao, determinando que, inicialmente el suelo clasificado como grava arenosa con pobre gradación, presentaba MDS de 2.01 g/cm³, OCH de 9.09%, y CBR de 0.25%, pero al usar geoceldas, la MDS fue 2.23 g/cm³, el OCH fue 9.31%, y el CBR aumento a 0.65%.

2.1.3. Antecedentes regionales

Gamarra y Sandoval (2021) utilizaron geoceldas para el diseño del pavimento flexible de la carretera Jancos - San Miguel de Pallaques. El suelo en los 13 km, presentaba CBR al 95% MDS, entre 4.68% a 7.37%, al utilizar subbase y base granular de CBR 40% y 80%, respectivamente, el espesor del pavimento es 7.5, 15 y 30 cm de capa de rodadura, base granular, y subbase, no obstante, con el uso de geoceldas el espesor total se reduce en 10 cm, según su modelamiento en el software KEMPAVE.

Nolazco (2019) hizo una revisión documental de la última década, sobre el uso de geoceldas en pavimentos flexibles, concluyendo que las geoceldas, se han transformado en una opción para corregir dificultades técnico económicas de

obras de ingeniería, implementados en su mayoría de forma empírica, pero siendo una solución exitosa.

Ticlla (2021) analizó las propiedades de las canteras La Torre, La Chuica, Pingobamba, Rejopampa Alto 1 y 2, utilizadas en el afirmado de carreteras chotanas, verificando que, su CBR al 100% MDS era 42.80%, 42.33%, 53.50%, 44.80% y 45%, por tanto, cumplen los requisitos de la EG-2013, pero solo la cantera Pingobamba Bajo, tenía material que podía clasificarse como subbase.

Fustamante (2021) mejoró el CBR del suelo arcilloso de alta plasticidad A-7-6, con CBR al 95% MDS de 4.77%, con adición de 15% de PET 2 mm, en el jr. Camino Real de Chota, obteniendo CBR al 95% de MDS de 8.40%. Si bien no utilizaron geoceldas, es un precedente de mejoramiento en vías chotanas.

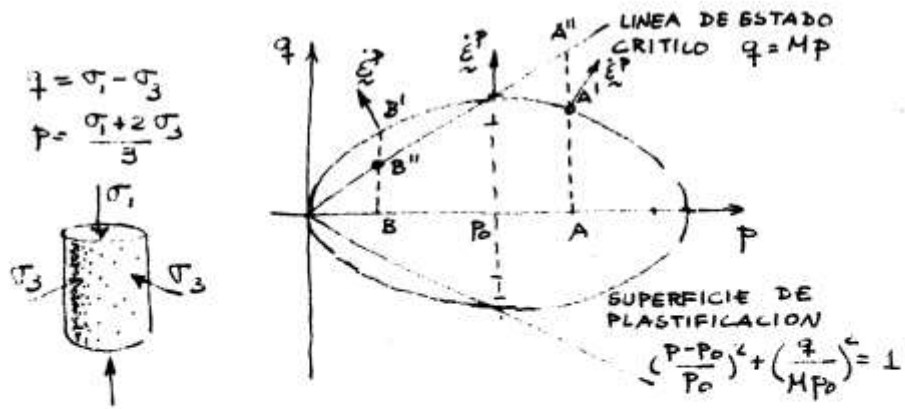
2.2. Bases teórico – científicas

2.2.1. Teoría de plasticidad de Cambridge

Una de las aportaciones más interesantes, de la teoría de plasticidad de Cambridge es la diferenciación entre la plastificación y la rotura, así como el dogma de que, las áreas características de ambos estados, pueden ser totalmente disímiles en forma, siendo así, en caso el volumen disminuye el suelo se rigidiza, mientras que, en el contrario, el volumen aumenta el suelo se reblandece (Alarcón, 1981). Siendo así, la teoría de plasticidad de Cambridge, explica el proceso de expansibilidad e hinchamiento del suelo, cuando este está en contacto con el agua, pero también explica el proceso de contracción del mismo, cuando se seca, se compacta o está restringido por un área de confinamiento, tal como, en el caso del estudio donde se han utilizado geoceldas, para confinar al suelo natural, rigidizándolo a través de un sistema tridimensional.

Figura 1

Criterio de Plasticidad en Muestras de Arcilla Saturada

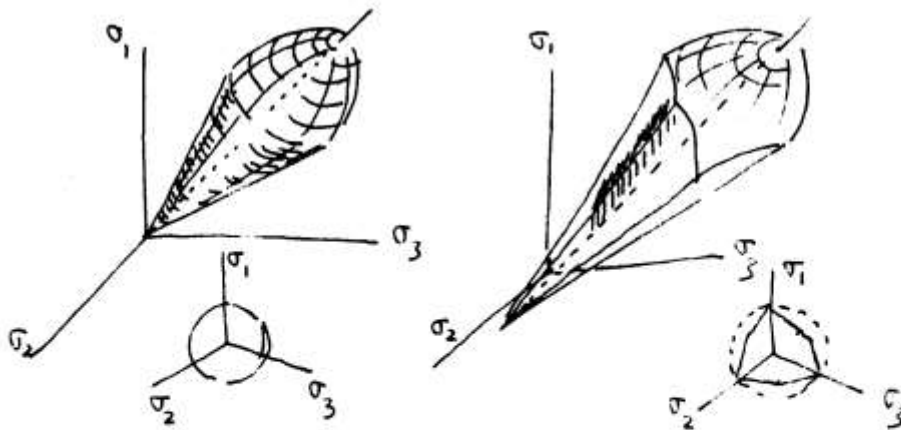


La elipse es una superficie de plastificación y las dos líneas representan estados últimos en que la deformación se realiza sin cambio de volumen plástico. En caso el volumen disminuye, el suelo se rigidiza y la superficie de plastificación aumenta de tamaño, mientras que, en el contrario el volumen aumenta el suelo se reblandece y la superficie de plastificación disminuye

Nota: (Alarcón, 1981).

Figura 2

Modelo Tridimensional de la Teoría de la Plasticidad



La generalización a tres dimensiones se obtiene sustituyendo q por $\sqrt{3J_2}$ donde J_2 es la segunda invariante del tensor desviador e imaginando que la línea de estado crítico corresponde a una superficie clásica como VON MISERS generalizando o MOHR-COULOMB

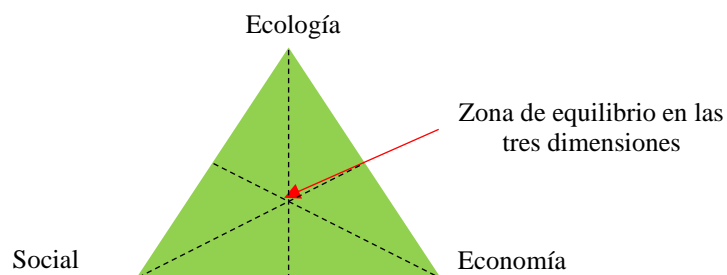
Nota: (Alarcón, 1981).

2.2.2. *Teoría de las tres dimensiones del desarrollo sostenible*

Artaraz (2002) argumenta que, son muchas las paráfrasis de desarrollo sostenible, pero coinciden en que, deben considerar medidas económicamente viables, respetuosas con el medio ambiente y socialmente equitativas, siendo las tres dimensiones de la sostenibilidad: Ecología, social y económica. Para la investigación, se ha planteado el reciclaje de llantas de deshecho para la elaboración de geoceldas de confinamiento del suelo en base a la teoría de sostenibilidad.

Figura 3

Dimensiones del Desarrollo Sostenible



Nota: (Artaraz, 2002).

2.2.3. *Análisis del uso de llantas recicladas en el medio ambiente tomando en cuenta la teoría del desarrollo sostenible*

Con la evolución de la industria viaria y el aumento del tráfico en las carreteras, los materiales de construcción también han evolucionado y se han incorporado ingredientes no convencionales. Las razones son la escasez de materiales naturales convencionales y el peligro que corre el medio ambiente, que han apuntalado la tendencia hacia la evaluación de otros recursos materiales para incorporarlos a la industria viaria. La incorporación de estos materiales conlleva varios materiales secundarios y terciarios. Mismos que, se han investigado, valorado y evaluado para su utilización, dependiendo de los atributos de las

características del material reciclado. Se ha demostrado que algunos materiales reciclados poseen propiedades preferibles a los demás y se han desempeñado satisfactoriamente en el campo, siendo uno de estos los neumáticos fuera de uso. Sin embargo, existen numerosas preocupaciones con respecto a dicha incorporación basadas tanto en observaciones de laboratorio como en observaciones sobre el terreno, que han resultado ser esenciales para la realización de nuevos estudios en profundidad (Abukhettala, 2016).

Los efectos negativos derivados de la presencia de materiales de desecho en el medio ambiente es un problema importante a nivel mundial, lo que, requiere enfatizar los procesos de reciclaje y procesos de reutilización. Debido a que, los recursos de materias primas, especialmente de origen petrolero, son limitados, debemos considerar apropiada la capitalización por regeneración de diferentes residuos de caucho, según citan Dobrotă y Dobrotă (2018) a Sunthonpagasit y Hickman (2003) y Krawczak (2011).

No obstante, a la fecha, para una mayor valorización de los residuos de caucho es necesario transformarlos en caucho regenerado involucrando el uso de tecnologías contaminantes (Dobrotă y Dobrotă, 2018). Los procesadores de trituración de llantas utilizan varios medios mecánicos para reducir el flujo de desechos de las llantas a componentes que incluyen caucho y acero. Hay una reserva de material de caucho triturado en muchos estados que, actualmente se comercializa principalmente para su uso como combustible derivado de llantas. Las aplicaciones de ingeniería civil, como la cubierta ligera de vertederos y las posibles capas de drenaje de vertederos, también son aplicaciones atractivas para el material de caucho triturado. Sin embargo, en algunas regiones, las agencias locales de protección ambiental y los funcionarios estatales de salud pública se

han mostrado reacios a permitir el uso de caucho reciclado en aplicaciones de ingeniería civil (Liu et al., 2000).

Esto se debe a que, las partículas de desgaste de los neumáticos se encuentran en todos los compartimentos ambientales, incluidos el aire, el agua, los suelos/sedimentos y la biota. Los efectos sobre el medio ambiente terrestre probablemente se restringen al entorno vial inmediato, pero el riesgo para los organismos acuáticos se relaciona principalmente con la primera escorrentía, lo que significa que los dispositivos de detención de escorrentía son importantes para proteger las aguas superficiales de la toxicidad causada por las partículas de desgaste de los neumáticos, así mismo, otra forma de coadyuvar a la sostenibilidad del uso de neumáticos fuera de uso en carreteras es su aplicación, no como medio triturado sino como medio de confinamiento que, traería múltiples beneficios, no obstante su uso como relleno mineral es factible pero se debe realizar apropiadamente con tecnologías adecuadas y materiales idóneos (Wik y Dave, 2009).

Siendo así, tiene ventajas ambientales el uso de neumáticos fuera de uso como medio de producción de geoceldas para el confinamiento del material granular en carreteras, no obstante, mediante la regeneración de los residuos de caucho, además del impacto ambiental positivo, y el incentivo económico real, existen muchas ventajas técnicas, tales como: (Dobrotă y Dobrotă, 2018)

El precio estimulante y estable viene determinado por la amplia gama de materias primas y la capacidad regenerativa existente. A la hora de calcular el precio del caucho regenerado hay que tener en cuenta que además del caucho regenerado obtenido existen otros componentes que resultan del proceso, con alto valor económico (tela o insertos metálicos).

Los ciclos de mezcla cortos son característicos de las composiciones que incluyen caucho regenerado ya que contiene todos los ingredientes necesarios, y los agentes de expansión y/o regeneración favorecen el proceso de mezcla.

La penetración de las composiciones en el tejido para las operaciones de engomado se ve facilitada por la presencia de caucho regenerado, hecho confirmado por Sae-oui et al. (2007) citado por (Dobrotă y Dobrotă, 2018).

No obstante, se debe recordar que, a pesar que, se cree que, la inclusión de materiales secundarios y terciarios en la construcción de carreteras permitirá una magnífica preservación de los recursos naturales; esto no se logrará, sin una cooperación rigurosa entre el mundo académico y la industria, y sin educar a las personas que, interactúan habitualmente con las actividades de pavimentación, es decir sino, se cierra la brecha académica – técnica y social varios problemas relacionados con el rendimiento no se resolverían y seguirían existiendo (Abukhattala, 2016). Finalmente se concluye que, los neumáticos fuera de uso en sus diferentes formas de revalorización pueden ser aplicadas para el mejoramiento de carreteras, pero el uso de caucho granular, presenta mayores dudas por parte de los entes ambientalistas, debido al desgaste del material particulado, sin embargo su uso, como medio de confinamiento en la producción de geoceldas, presenta mayores beneficios ambientales, técnicos y económicos, así mismo, hay que, rescatar que, los neumáticos son materiales con un prolongado lapso de duración antes de su descomposición, por tanto, es mejor buscar nuevos usos y aplicaciones, para su revalorización en la industria de la construcción, y así evitar que, los mismos, formen parte de vertederos donde, solo forman parte de entes contaminantes, en otras palabras, para garantizar la sostenibilidad, se tiene que, pensar en el bien mayor, y reducir al máximo el daño al entorno.

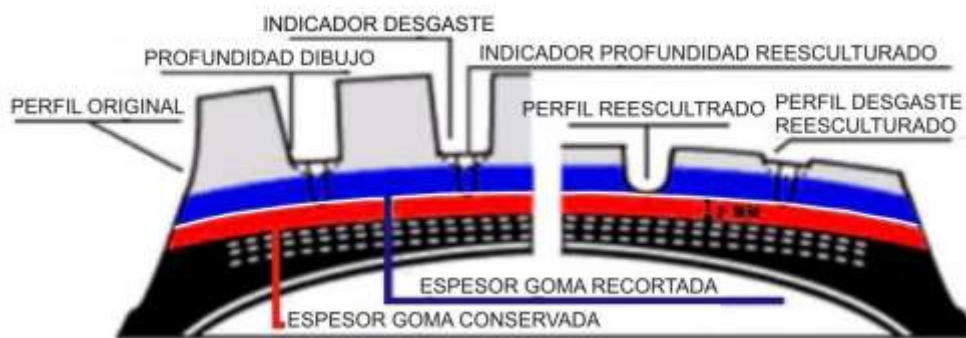
2.3. Marco conceptual

2.3.1. Neumáticos (Llantas)

Los neumáticos son los elementos que permiten que el vehículo circule suavemente por superficies lisas y son principalmente cuerpos de goma llenos de aire que soportan el vehículo y su carga (Castro, 2008).

Figura 4

Neumático Antes y Después del Desgaste



Nota: (Flores, 2013, p. 31).

2.3.1.1. Proceso de fabricación del neumático

Delarze (2008), describe las siguientes etapas:

- 1) Mezclando los materiales, se unen diversas gomas naturales y sintéticas.
- 2) Extracción de la banda de rodamiento, se aplica calor para hacerla elástica.
- 3) Tejiendo las capas, proceso calendering para tejer hilos de nylon, acero, etc.
- 4) Preparación del núcleo, a través de la alineación de cables de acero en la goma.
- 5) Proceso de construcción. Fase 1, colocación de sabanas de goma tejidas en la máquina. Fase 2, se forma el neumático inflando su carcasa.
- 6) Vulcanización, se coloca en una prensa por 10 a 15 minutos.
- 7) Limpieza, se retira el exceso de goma.
- 8) Inspección final, para garantizar la calidad del producto.

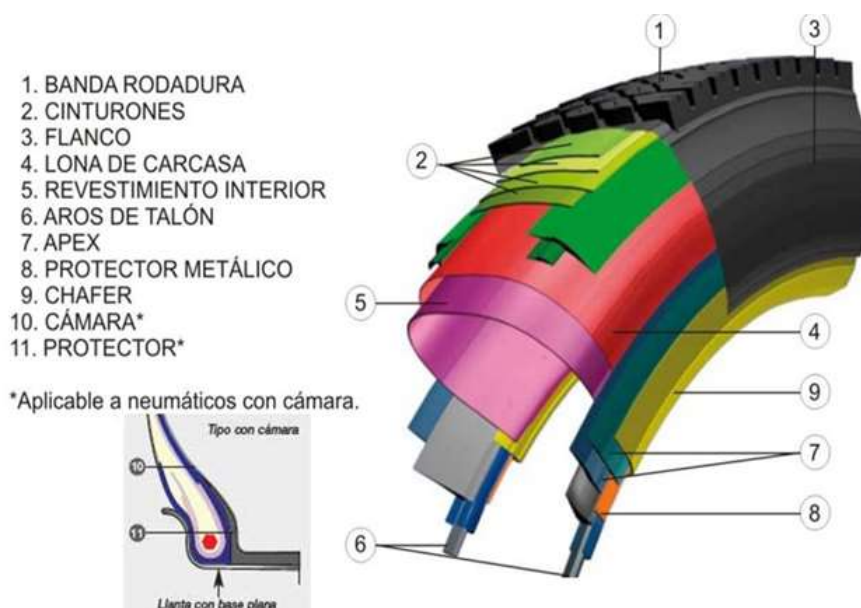
2.3.1.2. Partes de un Neumático

Según Flores (2013) usualmente un neumático está conformado por:

- 1) Banda de rodadura, parte más extensa que está en contacto con el firme.
- 2) Cinturones, capa de cables revestidos de caucho que envuelve al neumático.
- 3) Flanco, compuesto por caucho.
- 4) Lona de carcasa, conforma la estructura física del neumático.
- 5) Revestimiento interior, capa de tela recubierta de caucho resistente a flexión.
- 6) Aros de talón.
- 7) Apex, cuña de goma localizada en la región más baja de la pared lateral.
- 8) Protector metálico, cable de acero que refuerza la región del talón.
- 9) Chafer, tira estrecha de caucho con cable reforzado.
- 10) Cámara, capa delgada de caucho impermeable en el interior del neumático.
- 11) Protector, composición de goma, con reducida permeabilidad.

Figura 5

Partes de un Neumático



Nota: (Flores, 2013).

2.3.1.3. Composición de un neumático

Su composición estructural y química varía según el uso, pero comúnmente se encuentra conformado por caucho sintético, caucho natural, carbón negro, agentes químicos y fibras de refuerzo (Pérez, 2006, p. 24).

Tabla 1

Composición Ponderal (%) Aproximada de los Neumáticos

| Material | Autos | Camión |
|---------------------------|-------|--------|
| Caucho | 48 | 45 |
| Negro de carbono y sílice | 22 | 22 |
| Metal | 15 | 25 |
| Textil | 5 | - |
| Óxido de zinc | 1 | 2 |
| Azufre | 1 | 1 |
| Aditivos | 8 | 5 |

Nota: (Cano et al., 2007, p. 9).

Tabla 2

Composición Química de los Neumáticos

| Elemento/ Compuesto | Contenido |
|-----------------------------|-----------|
| C (%) | 70 |
| Fe (%) | 16 |
| H (%) | 7 |
| O (%) | 4 |
| Óxido de Zn (%) | 1 |
| S (%) | 1 |
| N ₂ (%) | 0.5 |
| Ácido esteárico (%) | 0.3 |
| Halógenos (%) | 0.1 |
| Ligandos cupríferos (mg/Kg) | 200 |
| Cd (mg/Kg) | 10 |
| Cr (mg/Kg) | 90 |
| Ni (mg/Kg) | 80 |
| Pb (mg/Kg) | 50 |

Nota: (Cano et al., 2007, p. 9).

2.3.1.4. Neumáticos fuera de uso

Los neumáticos fuera de uso, son las cámaras y llantas que no presentan las condiciones de seguridad para su uso en los vehículos (BOA, 2006). Los neumáticos desechados pueden ser arrojados en vertederos, pero según Murillas (2021), tardan más de 1000 años en degradarse, o pueden ser incinerados, pero se está eliminando gran cantidad de CO₂ al ambiente, por lo que se recomienda su tratamiento a través del reciclaje. Así mismo, las posibilidades de reciclaje han aumentado, por la diversificación de sus componentes (Vignart, 2010, p. 22).

El 75% de los neumáticos reciclados está compuesto por caucho, y es este el material posee excelentes propiedades para su uso como material de construcción (Segre y Joeke, 2000). El caucho de llantas posee propiedades de, compresión, resiliencia elástica, fluencia, histéresis y resistencia a la fatiga (Cardona y Sanchez, 2011), por tanto, se puede utilizar en la elaboración de geoceldas.

Tabla 3

Propiedades Físico Químicas del Caucho Natural

| Propiedades físicas y químicas | Resultados |
|--|--------------------------|
| Adhesión a metales | <i>Excelente</i> |
| Adhesión a telas | <i>Excelente</i> |
| Resistencia al desgarramiento | <i>Muy buena</i> |
| Resistencia a la abrasión | <i>Excelente</i> |
| Deformación por compresión | <i>Buena</i> |
| Resistencia dieléctrica | <i>Excelente</i> |
| Electro aislamiento | <i>Bueno a excelente</i> |
| Permeabilidad a los gases | <i>Bastante baja</i> |
| Acido resistencia diluido | <i>Regular a buena</i> |
| Acido resistencia concentrado | <i>Regular a buena</i> |
| Resistencia hidrocarburos alifáticos | <i>Pobre</i> |
| Resistencia hidrocarburos aromáticos | <i>Pobre</i> |
| Resistencia solventes oxigenados (cetonas) | <i>Buena</i> |
| Resistencia disolventes de lacas | <i>Pobre</i> |

Nota: (Criollo, 2014).

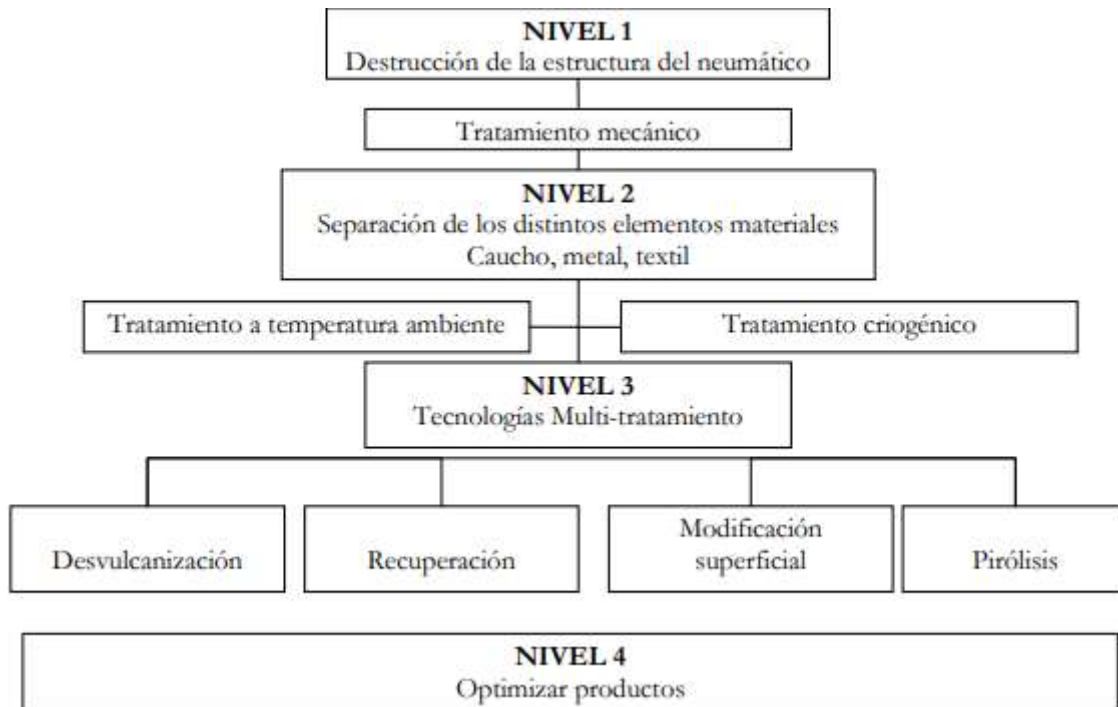
2.3.1.5. Tecnologías utilizadas para la reutilización de NFU

Las tecnologías para la reutilización o reciclaje de neumáticos fuera de uso, pueden ser: (Cano, 2007)

- Recauchutado. Procedimiento por el que, se vuelve a usar el neumático gastado supliendo la banda rodante.
- Tratamientos mecánicos. Los neumáticos son comprimidos, cortados o fragmentados en piezas irregulares, entre ellos se encuentran, la fabricación de balas, ripping, cutting.
- Tecnologías de reducción de tamaño. Se distingue el criogénico y húmedo.
- Tecnologías de regeneración. Recuperación del caucho, modificación superficial o biológica del neumático en un nuevo producto.
- Otras tecnologías. Pirólisis – termólisis.

Figura 6

Niveles de Tratamiento de Neumáticos Fuera de Uso



Nota: (Cano, 2007).

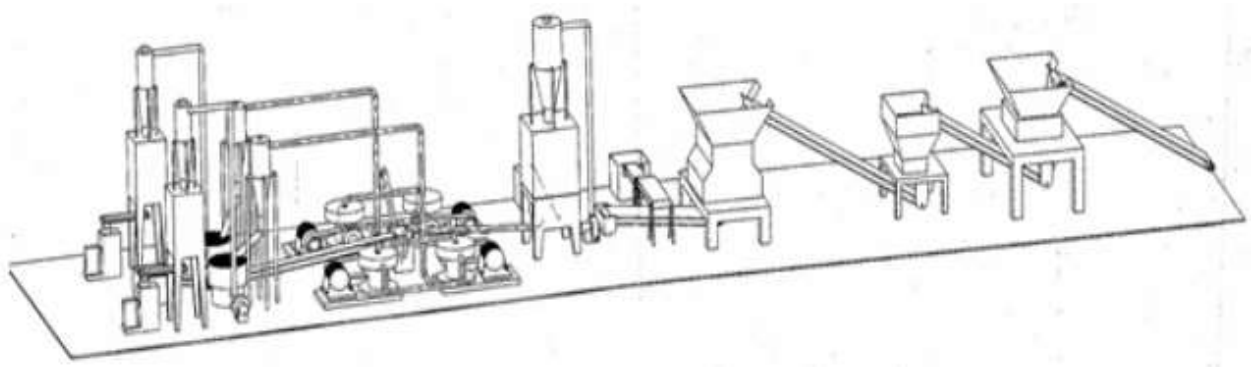
2.3.1.6. Proceso de reciclaje de los NFU

Los NFU no son solo residuos, son fuente de recursos materiales y energéticos de los que, se puede obtener diversos componentes, tal como, se muestra en la Fig. 8 (Pérez y Saiz, 2018). Hay diferentes alternativas de reusó y reciclaje de neumáticos en desuso, pero, la trituración mecánica (Fig. 9), es un proceso meramente mecánico y por tanto los productos resultantes son de alta calidad, limpios de impurezas, lo que, facilita el uso de estos materiales en nuevas aplicaciones (Zarini, 2011). El procedimiento de reciclaje de los neumáticos por trituración se basa en una serie de acciones que, pueden ejecutarse de manera manual a pequeña escala, o por medio de una planta de reciclaje de neumáticos a gran escala (Fig. 7), siendo así, el concepto técnico de la planta se base en el siguiente plan: (Delarze, 2008)

- Limpieza y secado de neumáticos
- Traslado a la cinta transportadora, para ser llevada a la trozadora.
- La trozadora corta los neumáticos dejándolo en pedazos largos.
- Se separa el caucho, de otros componentes metálicos.
- El material cortado de estas dimensiones puede ser utilizado para la fabricación de geoceldas, caso contrario es trasladado por la cinta transportadora hacia la acción análoga.
- Con una acción análoga, se reduce el espesor del material a 50 mm.
- Una banda transportadora posterior, recoge lo procesado para pasarlo debajo de un imán permanente, recogiendo cualquier material ferroso, mientras que, el caucho se lleva a través de un transporte mecánico, y es colocado en silos.

Figura 7

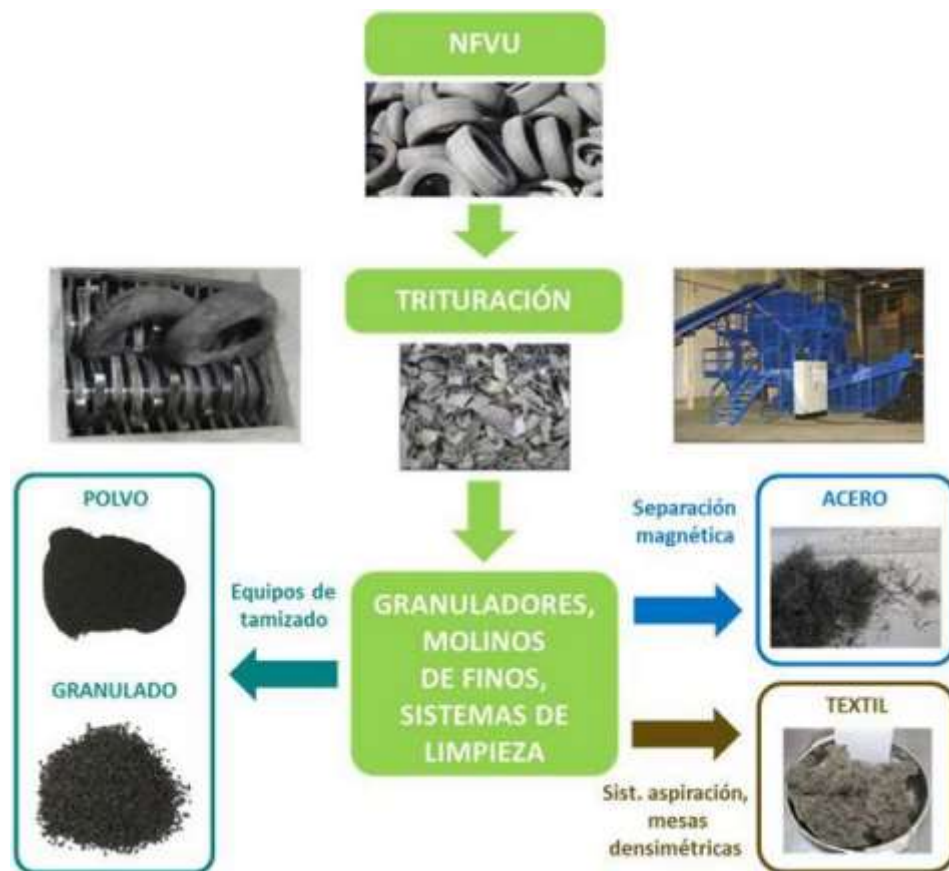
Planta de reciclaje de neumáticos



Nota: (Delarze, 2008).

Figura 8

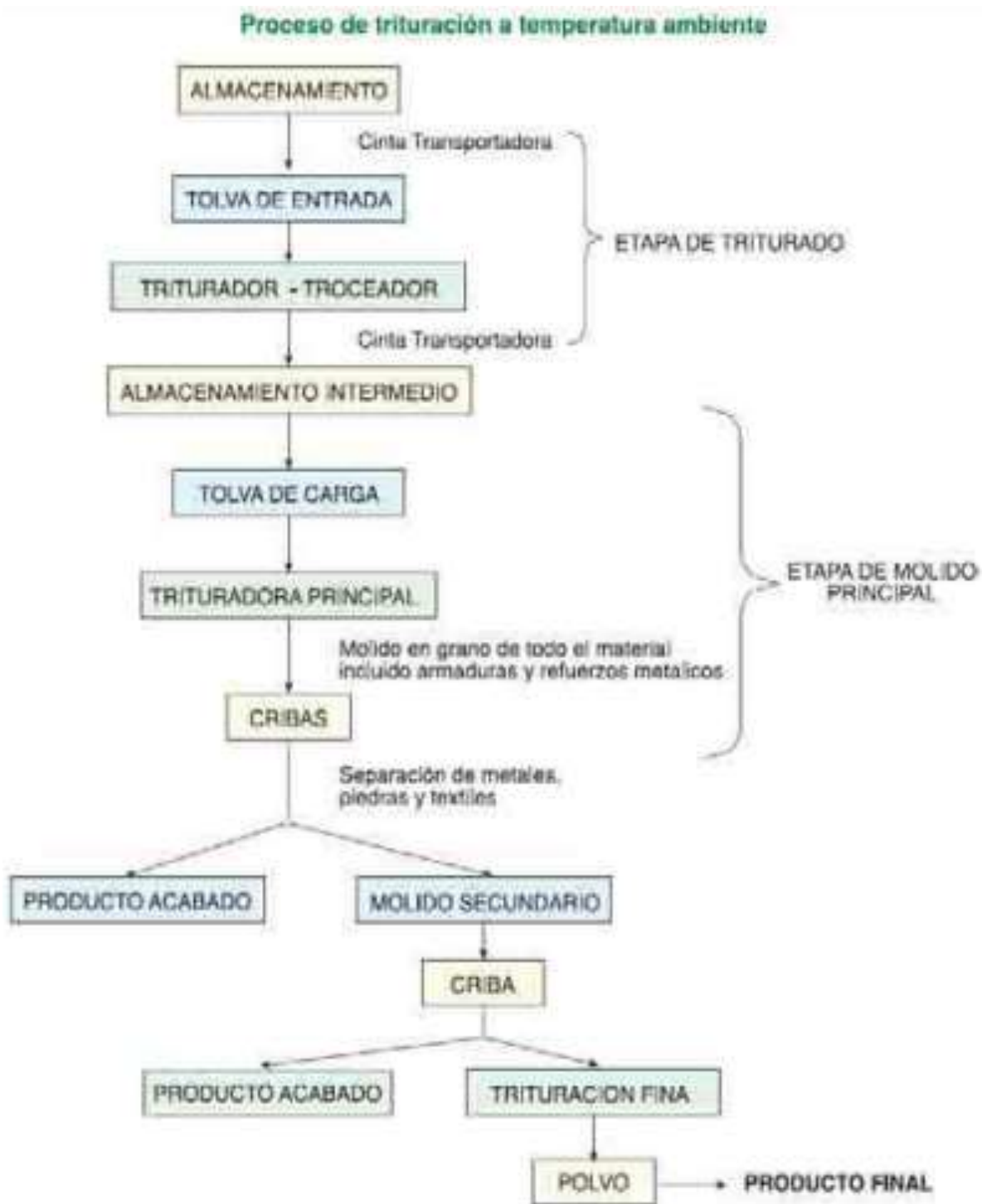
Proceso de tratamiento de Neumáticos Fuera de Uso



Nota: (Pérez y Saiz, 2018).

Figura 9

Proceso de trituración mecánica



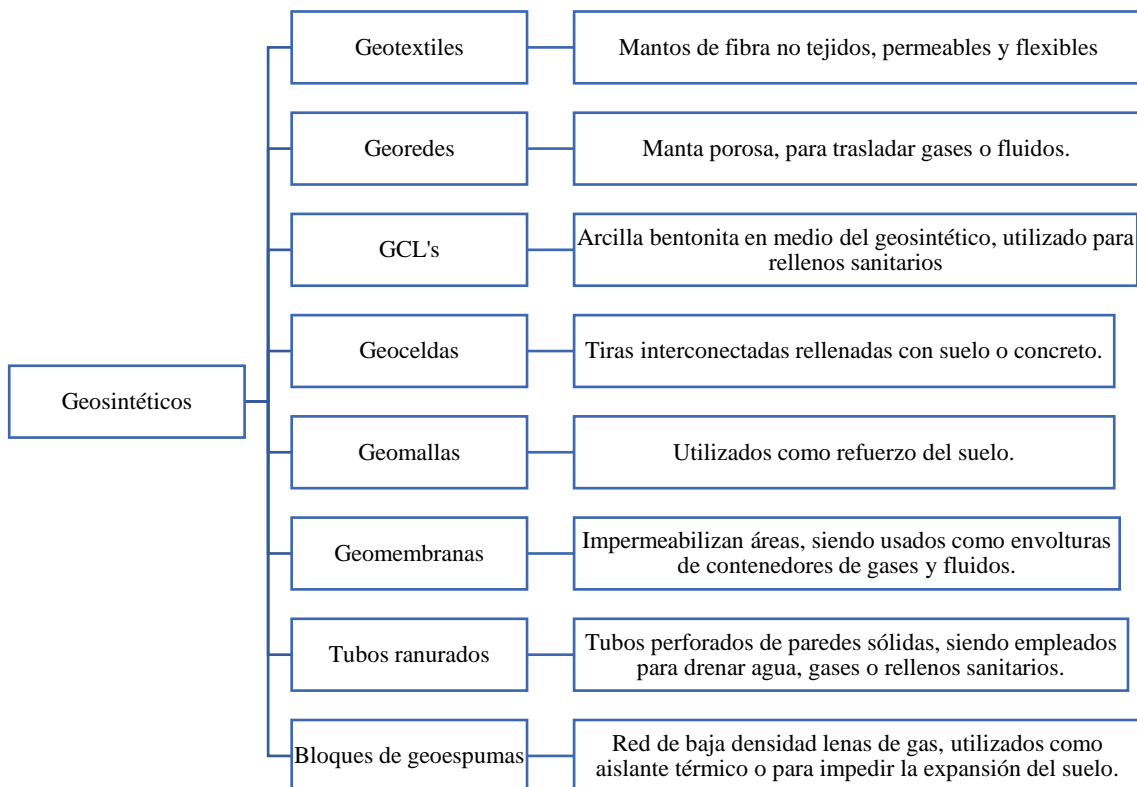
Nota: (Zarini, 2011, p. 34).

2.3.2. Geosintéticos

Según la norma ASTM D4439, los geosintéticos son productos planos fabricados con materiales poliméricos. Estos materiales pueden incorporarse a diseños, estructuras y sistemas en contacto con el suelo, la roca, la arcilla y otros materiales de ingeniería geotécnica (Sicha, 2018). Productos derivados del petróleo, con múltiples aplicaciones en la ingeniería, para mejorar, mantener o cambiar las características mecánicas del suelo (Hereña, 2022). Productos fabricados a partir de fibras industriales tales como, textiles, caucho, materiales plásticos, membranas bituminosas, polímeros, entre otros, se pueden clasificar en geotextiles, geomallas o georedes, geogrillas, geomantas, geoceldas, geocompuestos (Gavilanes, 2012).

Figura 10

Clasificación de los Geosintéticos



Nota: (Briceño, 2019, citado por Hereña, 2022).

2.3.3. Sistema de geoceldas

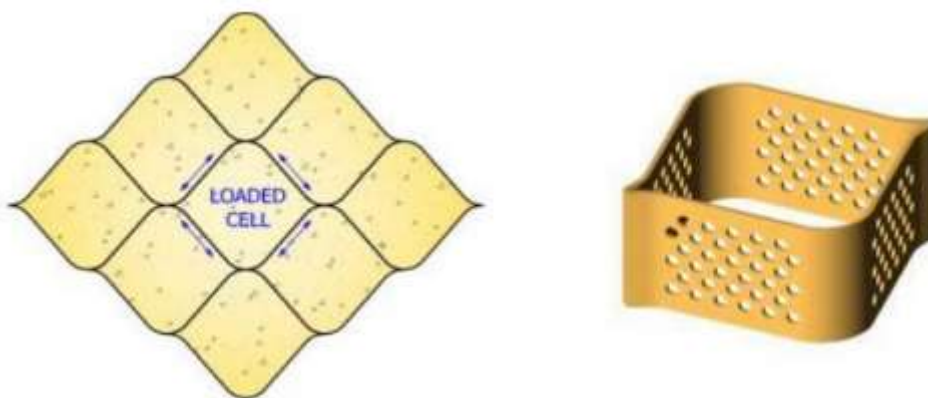
Los sistemas de confinamiento celular o geosintético tridimensional, denominado como Geocelda es una tecnología que permite el confinamiento de material granular, mejorando sus propiedades de desempeño iniciales y garantizando estabilidad dimensional y se utiliza para estabilizar subrasantes y mejorar capas en la estructura de las vías (Téllez y Maldonado, 2021).

2.3.3.1. Geoceldas

Las geoceldas fueron desarrolladas originalmente por Us Army Corps of Engineers (USACE) para mejorar las condiciones del suelo (Aguilar, 2016). Material perteneciente a la familia de los geosintéticos con estructura tridimensional hecha de polietileno de alta densidad, soldado en forma de panel de abeja, que ofrece confinamiento al suelo, aportando estabilidad al terreno de fundación (Mendoza y Torres, 2022). Constituidas por células yuxtapuestas, producidas por costuras o soldadura a partir de tiras extruidas de polipropileno con una altura de 100 mm formando una estructura en forma de colmena, se utilizan para confinar y estabilizar suelos de cobertura (Gavilanes, 2012).

Figura 11

Geocelda



Nota: (Kief y Karpurapu, 2008, citado por Téllez y Maldonado, 2021).

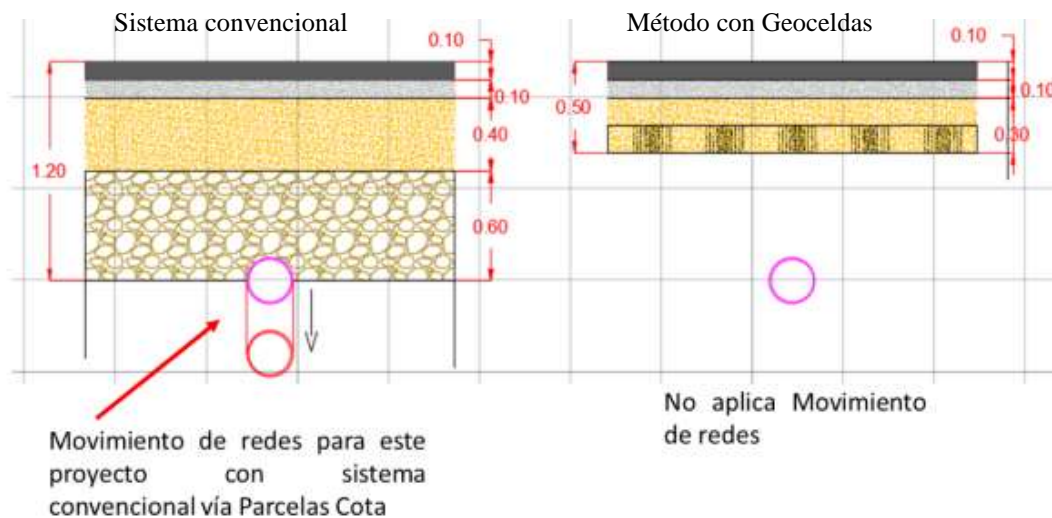
2.3.3.2. Componentes del sistema de geoceldas

Los dos componentes principales del sistema con geoceldas son: (Aguilar, 2016)

- Celda, unidad de confinamiento del relleno que, usa el sistema. Este componente de sujeción puede ser de varias, altos, secciones transversales formas, etc.
- Material de relleno, puede utilizarse diferentes tipos de materiales de relleno que aportarán características propias al sistema, pero en el caso del estudio se utilizará material de afirmado.

Figura 12

Movimiento de Redes Sistemas Convencional vs Geoceldas



Nota: (Cañón, 2018).

2.3.3.3. Tipos de geoceldas

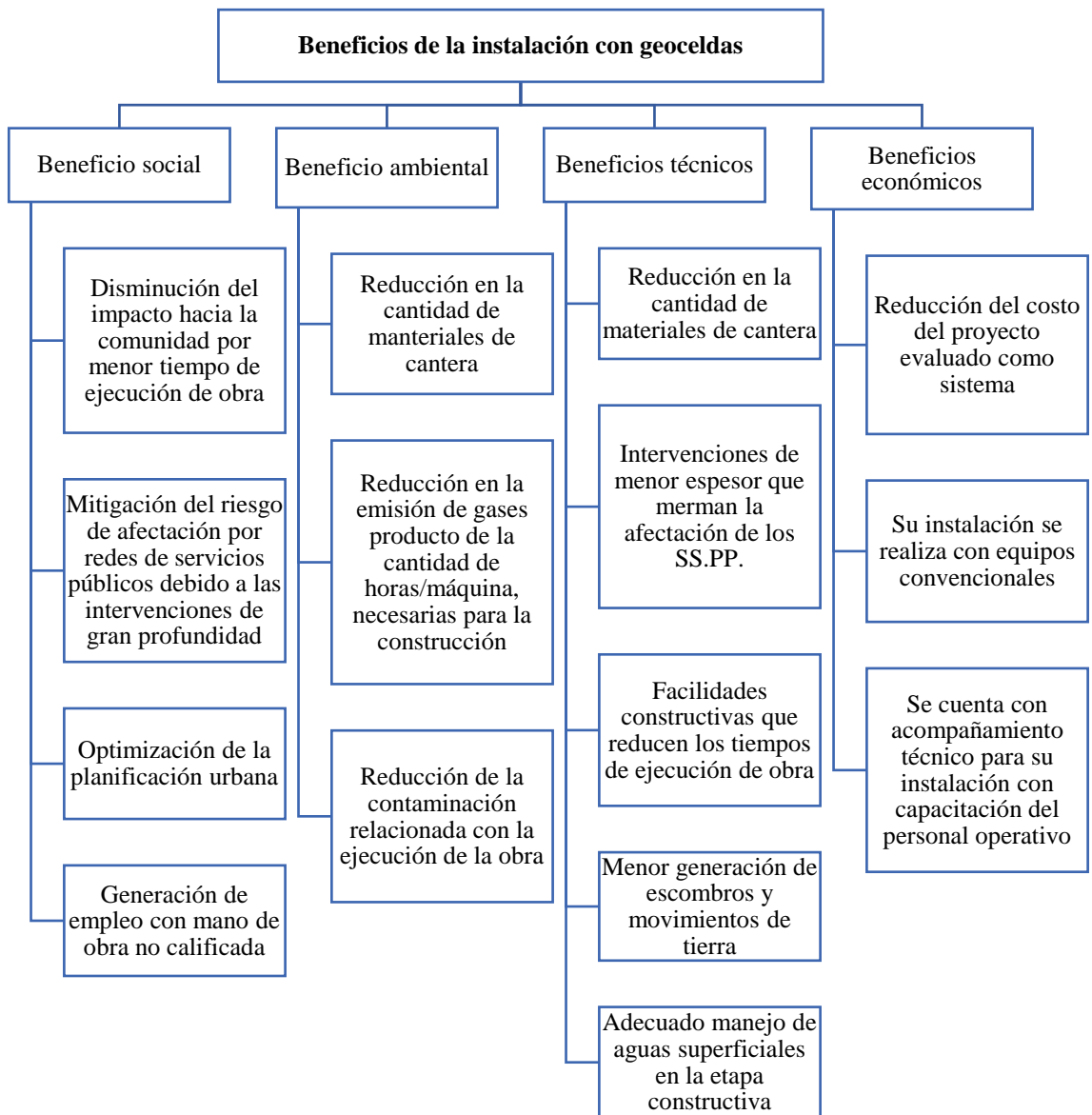
Las geoceldas pueden clasificarse en relación a los materiales utilizados para su elaboración, en relación a su forma, en relación a sus dimensiones, etc., pero, generalmente se elaboran de polietileno de alta densidad (HDPE), de dimensiones de 10 a 50 cm, y según su forma pueden ser: Geoceldas cuadradas, geoceldas romboidales, geoceldas circulares, entre otras (Aguilar, 2016).

2.3.3.4. Aplicación del sistema de geoceldas

Las geoceldas han sido aplicadas favorablemente para estabilizar subrasantes de pobres capacidades, sea con el material natural del lugar, con relleno de afirmado, subbase o base granular (Duarte y Sierra, 2011). Siendo así, Cañon (2018) resalta los beneficios técnicos, económicos, sociales y ambientales de la instalación de geoceldas en carreteras.

Figura 13

Beneficios de la Instalación con Geoceldas



Nota: (Cañon, 2018).

2.3.4. Canteras

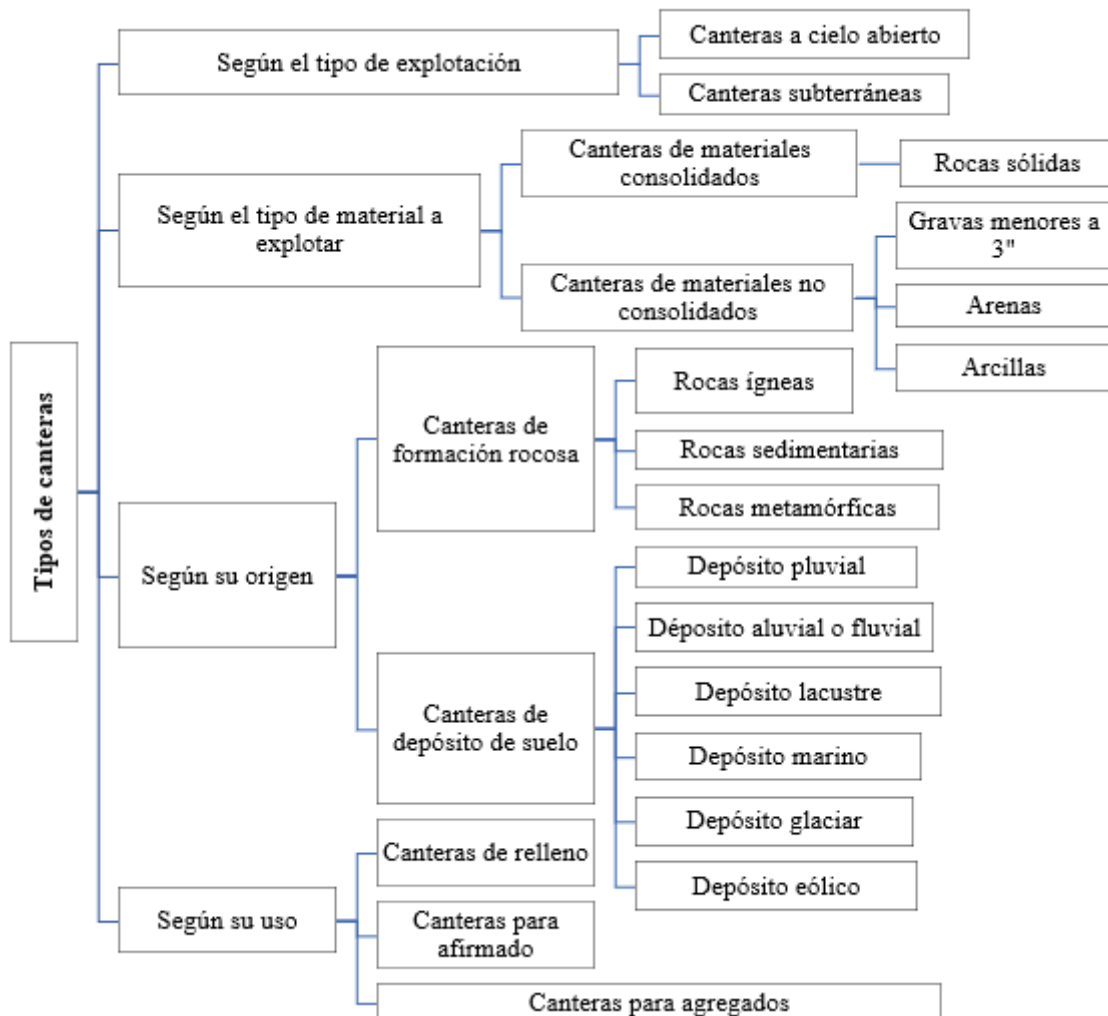
Fuente de materiales para construir el pavimento (Gavilanes, 2012). Lugar de donde se extraen o explotan áridos pétreos, es el depósito natural de material que cumple ciertos requisitos para su uso en obras de infraestructura (Ticlla, 2021).

2.3.4.1. Tipos de canteras

Según Ticlla (2021), las canteras se catalogan por el tipo de aprovechamiento, según el material a explotar, según su origen y según su uso.

Figura 14

Clasificación de las Canteras



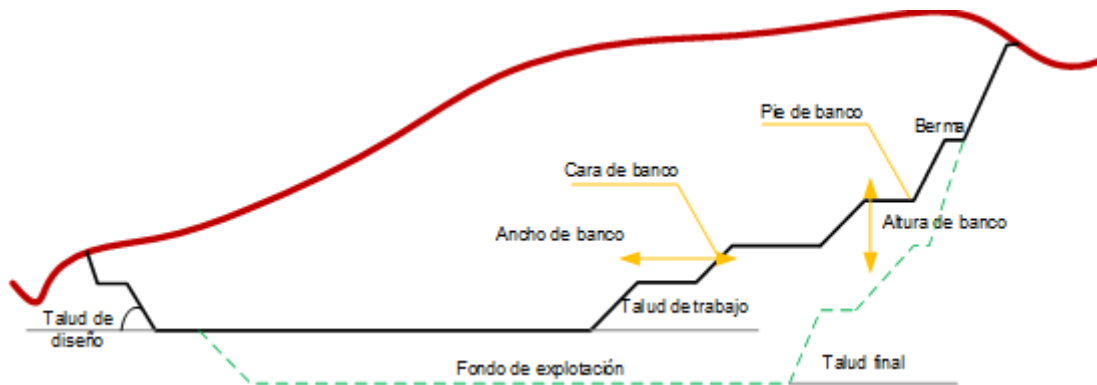
Nota: (Ticlla, 2021).

2.3.4.2. Canteras a cielo abierto

Depósitos de material granular, que están sobre la corteza terrestre, y por ende su explotación es a nivel del suelo, por lo que, se le denomina a cielo abierto.

Figura 15

Cantera a Cielo Abierto



Nota: (Ticlla, 2021).

2.3.4.3. Estudio de canteras

El MTC (2014), argumenta que, antes de utilizar un material granular en los proyectos viales, se debe verificar que este sea apto para el tipo de obra a emplear, para ello, se realiza un estudio de canteras, mismo que consiste en: definir la ubicación, descripción, acceso, propiedad, tipo de cantera, disponibilidad, y características físico mecánicas del material de la cantera.

2.3.4.4. Exploración, muestreo y muestras

Exploración. Reconocimiento del lugar, y/o exploración detallada para conocer la disponibilidad de la cantera (Ticlla, 2021).

Muestreo. Proceso para obtener la muestra de suelo, puede ser por medio de calicatas o muestreadores (MTC, 2014), pero si la cantera está en explotación se toma la muestra del perfil del talud o del material almacenado (Imcyc, 2010).

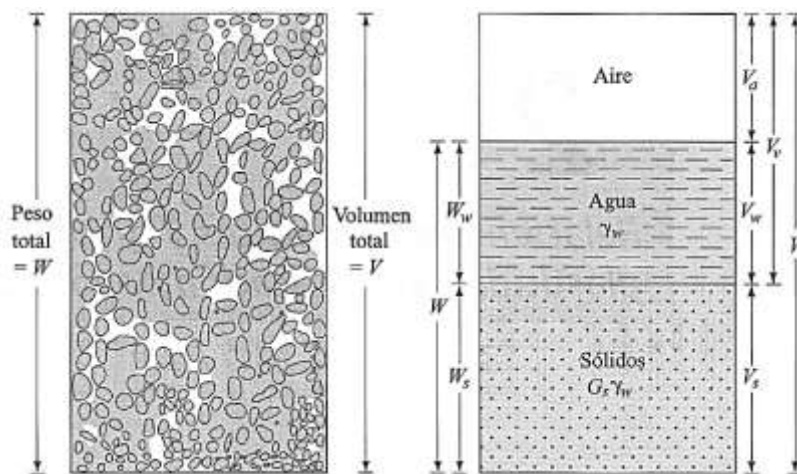
Muestra representativa. Puede ser inalterada (mantiene sus características de humedad) o alterada según el tipo de ensayos a realizar (MTC, 2016).

2.3.5. Suelos

Partículas minerales que proceden de la desintegración de rocas (Braja, 2001). Sedimentos no sólidos y sólidos, que forman parte de la capa superficial de la corteza terrestre resultante de la alteración físico química de rocas y de los residuos de las actividades de los organismos asentados (Palli, 2015, p. 26).

Figura 16

Fases del Suelo



Nota: (Braja, 2001).

2.3.5.1. Clasificación del suelo

SUCS “Sistema unificado de clasificación de suelos”. Clasifica al suelo en base a su gradación y plasticidad, en gravas (G), arenas (S), arcillas (C), limos (L) y suelo orgánico (O), haciendo uso de la carta de plasticidad (Bañon y Bevíá, 2000).

Tabla 4

Clasificación SUCS

| | Tipo de suelo | Prefijo | Subgrupo | Sufijo |
|------------------------------------|---------------|---------|--------------------------|--------|
| Gruesos < 50% pasa malla N° 200 | Grava | G | Bien graduado | W |
| | Arena | S | Pobrementemente graduado | P |
| Finos > 50% pasa malla N° 200 | Limo | M | Limoso | M |
| | Arcilla | C | Arcilloso | C |
| | Orgánico | O | Límite líquido < 50% | L |
| | Turba | Pt | Límite líquido > 50% | H |

Nota: Adaptado de (Pastor, 2013, p. 16).

AASHTO “Asociación Americana de Oficiales de Carreteras Estatales y Transportes”. Clasifica al suelo en siete grupos: A-1 (con dos subgrupos A-1a, A-2b), A-2 (con cuatro subgrupos A-2-4, A-2-5, A-2-6, A-2-7), A-3, A-4, A-5, A-6, A-7 (con dos subgrupos A-7-5 y A-7-6), con un índice de grupo, que indica la calidad del material, mientras más se acerque a cero, será de mejor calidad; este tipo de clasificación se utiliza generalmente en carreteras para definir la calidad del suelo (Bañon y Bevíá, 2000). Los suelos con buena calidad para su uso como afirmado, subbase o base granular en carreteras generalmente pertenecen al grupo A-1, A-2, A-3, mientras que, los suelos de otros grupos (A-4, A-5, A-6, A-7) requerirán mejoramiento previo a su uso en la infraestructura vial.

Tabla 5

Clasificación AASHTO

| | Clasificación | | Tamiz (mm) | | | Límites (%) | | Tipo | Calidad | |
|---|---------------|-----------|------------|-----|-------|-------------|-------------------|-------------------|-------------------|----------------------|
| | Grupos | Subgrupos | 2 | 0.5 | 0.008 | LL | IP | | | |
| Suelos granulares (< 35% pasa 0.008 mm) | A-1 | A-1a | ≤50 | ≤30 | ≤15 | | ≤ 6 | Gravas y arenas | Excelente a bueno | |
| | | A-1b | | ≤50 | ≤25 | | ≤ 6 | | | |
| | A-3 | | | ≥51 | ≤10 | | NP ⁽¹⁾ | Arena fina | | |
| | A-2 | A-2-4 | | | | ≤35 | ≤40 | ≤10 | | Gravas y arena |
| | | A-2-5 | | | | ≤35 | ≥41 | ≤10 | | limosas o arcillosas |
| | | A-2-6 | | | | ≤35 | ≤40 | ≥ 11 | | |
| | | A-2-7 | | | | ≤35 | ≥41 | ≥ 11 | | |
| Suelos finos (> 35% bajo 0.008 mm) | A-4 | | | | ≥ 36 | ≤40 | ≤10 | Suelos limosos | Pobre a malo | |
| | A-5 | | | | ≥ 36 | ≥41 | ≤10 | | | |
| | A-6 | | | | ≥ 36 | ≤40 | ≥ 11 | Suelos arcillosos | | |
| | A-7 | A-7-5 | | | | ≥ 36 | ≥41 | ≥ 11 | | |
| | | A-7-6 | | | | ≥ 36 | ≥41 | ≥ 11 | | |

Nota: (1) No plástico, (2) Si el suelo es NP: IG= 0, (3) Si IG ≤0 → IG= 0 (Pastor, 2013, p. 16).

2.3.5.2. Propiedades físico mecánicas del suelo

Contenido de humedad. Agua que forma parte del suelo (Ticlla, 2021).

$$H (\%) = \frac{W_w}{W_s} \times 100 \quad (1)$$

Donde, W_w , peso húmedo menos peso seco del suelo, W_s peso seco del suelo.

Granulometría. Distribución de espesores de partículas del suelo (MTC, 2016).

$$\% \text{ Retenido} = \frac{\text{Peso Retenido en el Tamiz}}{\text{Peso Total}} \times 100 \quad (2)$$

$$\% \text{ Pasa} = 100 - \% \text{ Retenido acumulado} \quad (3)$$

Tabla 6

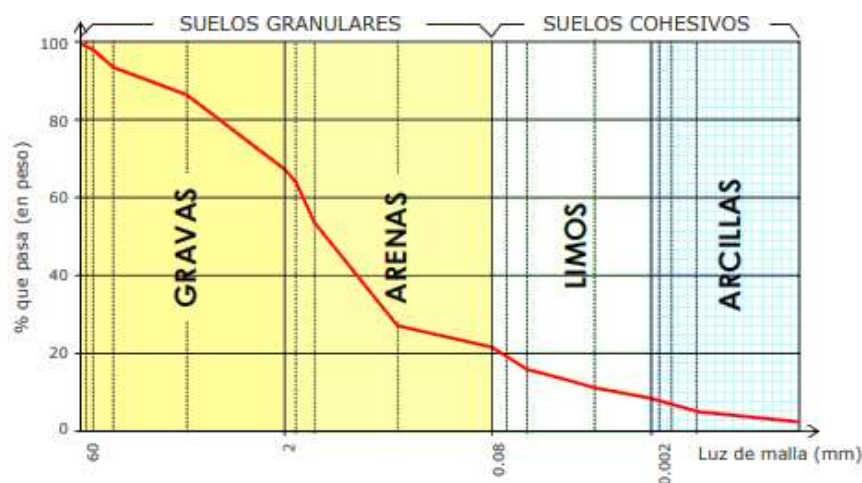
Categoría del Suelo según Tamaño de Partículas

| Tipo de material | | Tamaño de partícula (mm) | |
|------------------|---------|--------------------------|--------|
| Grava | | 4.75 | 75 |
| Arena | Gruesa | 2.00 | 4.75 |
| | Media | 0.425 | 2.00 |
| | Fina | 0.0075 | 0.425 |
| Material fino | Limo | 0.005 | 0.0075 |
| | Arcilla | <0.005 | |

Nota: (MTC, 2014, p. 36)

Figura 17

Curva de Gradación del Suelo



Nota: (Bañón y Beviá, 2000, p. 6)

Límite líquido (LL). Contenido de agua para que el suelo este en el límite entre el estado líquido y plástico (MTC, 2016).

Límite plástico (LP). Contenido de agua para que el suelo este en el límite entre los estados plástico y quebradizo (MTC, 2016).

Índice de plasticidad (IP). Agua para que el suelo sea plástico (MTC, 2016).

$$IP = LL - LP \quad (4)$$

Tabla 7

Categoría según el IP del Suelo

| Índice de plasticidad (IP) | Plasticidad | Suelo arcilloso |
|----------------------------|------------------|-----------------|
| >20 | Alta | Mucho |
| 7 | Media | Normal |
| <7 | Baja | Poco |
| 0 | No plástico (NP) | Exento |

Nota: (MTC, 2014).

Absorción. Agua que absorbe un árido al estar sumergido (MTC, 2016).

Peso Específico. Relación entre el peso de la masa de un volumen unitario (MTC, 2016).

$$Pem = \frac{A}{A-C} \quad (5)$$

$$Pea\ SSS = \frac{B}{B-C} \quad (6)$$

$$Pea = \frac{A}{B-C} \quad (7)$$

$$Absorción = \frac{B-A}{A} \times 100 \quad (8)$$

Donde, Pem es el peso específico de masa, Pea SSS es el peso específico saturado superficialmente seco, Pea es el peso específico aparente de la grava, A es el peso en el aire de la muestra seca, B es el peso en el aire de la muestra saturada con superficie seca, y C es el peso sumergido en agua de la muestra de saturada.

Equivalente de arena (EA). Proporción relativa de polvo fino o material arcilloso en el suelo o los agregados finos (MTC 2014, p. 37).

$$EA = \frac{\text{Altura máxima de la arena}}{\text{Altura máxima del material fino}} \times 100 \quad (9)$$

Tabla 8

Categoría según Equivalente de Arena

| | EA (%) | Características |
|-----|--------|-----------------------------------|
| | >40 | Suelo no plástico. Es arena |
| 20 | 40 | Suelo poco plástico, no heladizo. |
| <20 | | Suelo plástico y arcilloso. |

Nota: (MTC, 2014).

Resistencia al desgaste. Medida de la degradación del agregado grueso del suelo al ser colocado en la máquina de abrasión Los Ángeles (MTC, 2016).

$$D (\%) = \frac{W_i - W_f}{W_i} \times 100 \quad (10)$$

Capacidad de soporte (CBR). Resistencia que tiene cada tipo de suelo para soportar las cargas aplicadas sobre él (Fernández, 2015).

$$CBR = \frac{\text{Carga unitaria del ensayo}}{\text{Carga unitaria patrón}} \times 100 \quad (11)$$

Tabla 9

Categoría del Suelo según CBR

| Categoría | Subrasante | CBR (%) | |
|-----------|------------|---------|----|
| 0 | Inadecuada | <3 | |
| 1 | Pobre | 3 | 6 |
| 2 | Regular | 6 | 10 |
| 3 | Buena | 10 | 20 |
| 4 | Muy buena | 20 | 30 |
| 5 | Excelente | >30 | |

Nota: (MTC, 2014, p. 40)

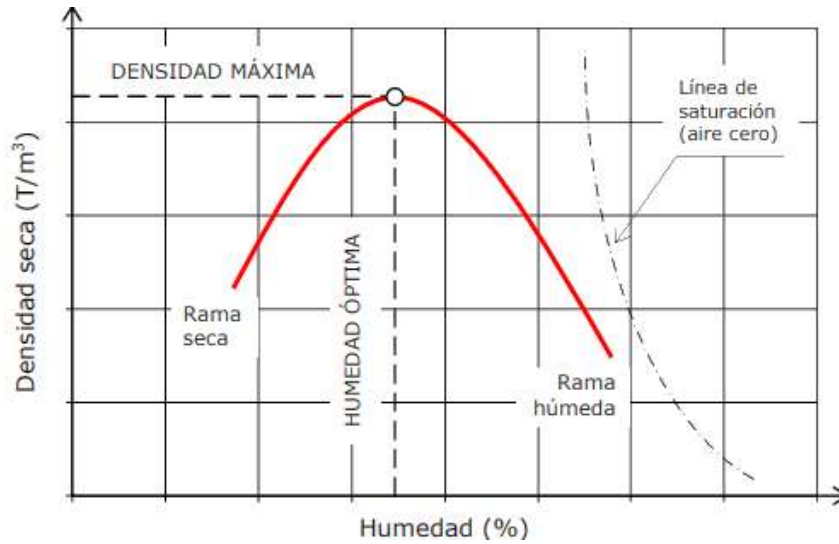
Compresibilidad. Capacidad de reducir la cantidad de vacíos en el suelo mediante la compactación, siendo un factor sustancial, que establece la firmeza del suelo y su variación de volumen (Díaz, 2020). Del ensayo Proctor modificado,

se determina la máxima densidad seca (MDS), que es la mayor densidad que alcanza el suelo al ser compactada con la humedad óptima (OCH).

$$MDS = \frac{Dh}{(100+H\%)} \times 100 \quad (12)$$

Figura 18

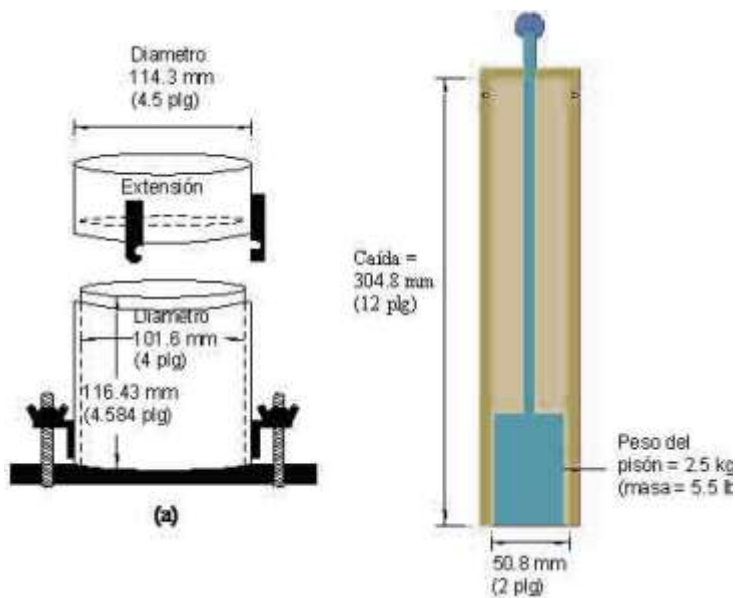
Curva de Compactación



Nota: (Bañón y Beviá, 2000, p. 13)

Figura 19

Ensayo de Proctor Modificado



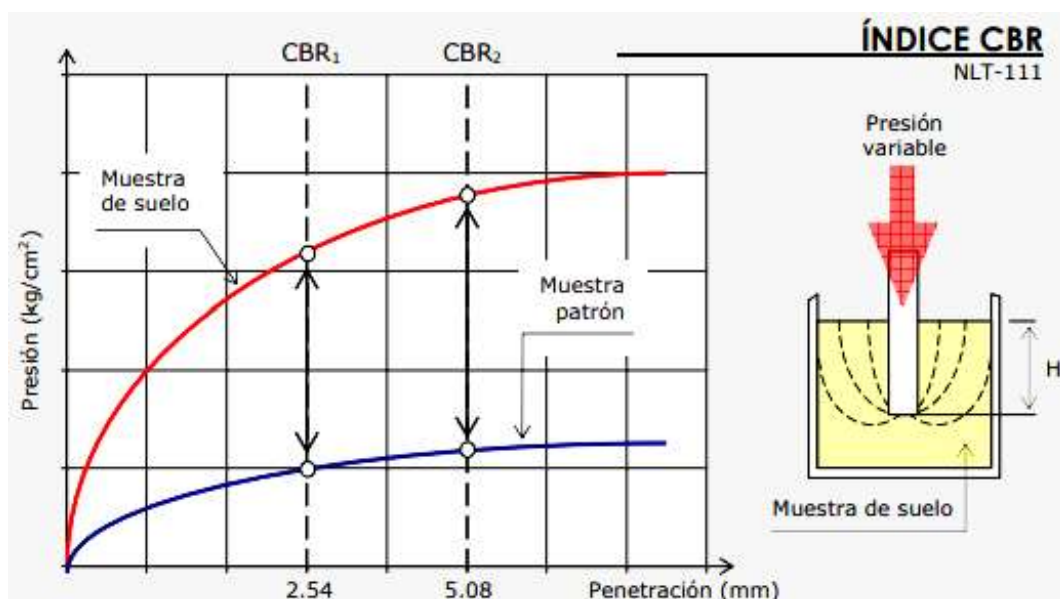
Nota: (Huamaní, 2022).

2.3.6. Capacidad de soporte (CBR)

El indicador más utilizado en vías es el CBR (California Bearing Ratio), citado así porque se utilizó por vez primera en California, es la carga que puede soportar el suelo sin un asentamiento excesivo (Bañón y Beviá, 2000, p. 17). El CBR es el índice de resistencia del terreno, sirve para evaluar la capacidad de soporte del suelo de la subrasante, subbase, base y afirmado. Este parámetro se determina por el ensayo normalizado NTP 339.145 en laboratorio y mediante la NTP 339.175 in situ. El ensayo de CBR de laboratorio consta de tres fases: el ensayo de compactación, donde el suelo se compacta al OCH para alcanzar la MDS determinada previamente en el ensayo de Proctor modificado, el ensayo de hinchamiento, que consiste en sumergir a la muestra en agua por cuatro días, para evaluar su expansibilidad, el ensayo carga penetración, este permite determinar el índice CBR (Llique, 2003), en cambio, el ensayo de CBR in situ se realiza en un único momento previo cálculo de la densidad de campo Spedy.

Figura 20

Curva CBR



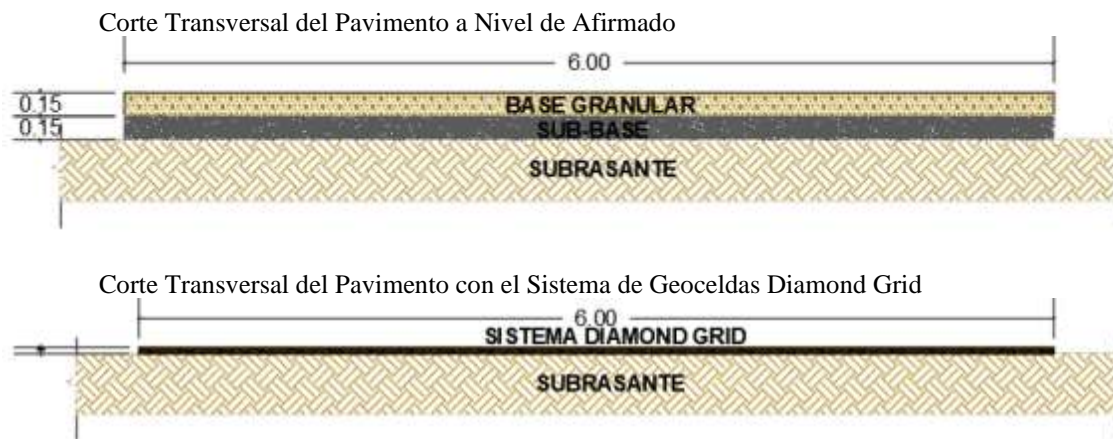
Nota: (Bañón y Beviá, 2000, p. 18).

2.3.7. Pavimento de carretera

La superficie de una carretera puede quedar a nivel de afirmado (natural o estabilizado con algún elemento químico o geoceldas), o a nivel de pavimentado. El pavimento es el conjunto de capas de materiales apropiados, entre la subrasante y la capa de rodamiento, puede ser: flexible, rígido, semirrígido (Lázaro y Telles, 2018).

Figura 21

Corte Transversal del Pavimento

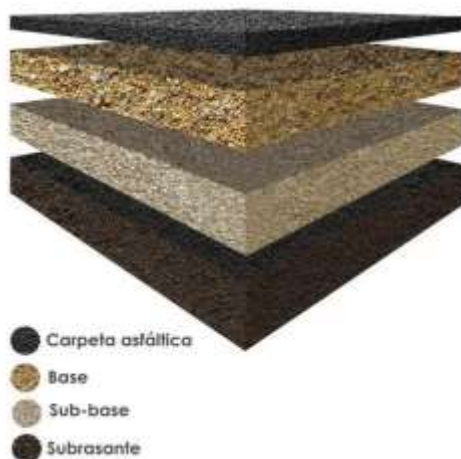


Nota: (Lázaro y Telles, 2018).

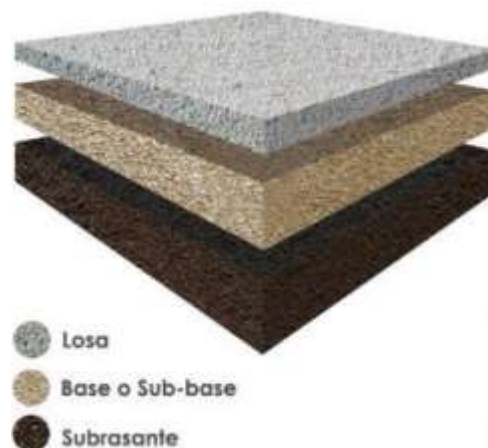
Figura 22

Estructura del Pavimento

Estructura del pavimento flexible



Estructura del pavimento rígido



Nota: (Lázaro y Telles, 2018).

2.3.8. *Afirmado*

Material granular con suficiente cantidad de finos para generar la cohesión del material, pero con buena cantidad de gruesos para que le den resistencia, es decir es el material estandarizado que cumple con cierta gradación, límite de plasticidad y resistencia para su uso en carreteras (Ticlla, 2021). Capa compacta de suelo con granulometría y capacidad de soporte adecuada para su uso en carreteras (MTC, 2014).

Tabla 10

Requerimientos del Suelo para Afirmado

| Tamiz | Porcentaje que pasa | | | | | |
|---|---------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | A-1 | A-2 | C | D | E | F |
| 50 mm (2") | 100 | | | | | |
| 37.5 mm (1 1/2") | 100 | | | | | |
| 25 mm (1") | 90 - 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 19 mm (3/4") | 65 - 100 | 80 - 100 | | | | |
| 9.5 mm (3/8") | 45 - 80 | 65 - 100 | 50 - 85 | 60 - 100 | | |
| 4.75 mm (N° 4) | 30 - 65 | 50 - 85 | 35 - 65 | 50 - 85 | 55 - 100 | 70 - 100 |
| 2.0 mm (N° 10) | 22 - 52 | 33 - 67 | 25 - 50 | 40 - 70 | 40 - 100 | 55 - 100 |
| 4.25 um (N° 40) | 15 - 35 | 20 - 45 | 15 - 30 | 25 - 45 | 20 - 50 | 30 - 70 |
| 75 um (N° 200) | 5 a 20 | 5 a 20 | 5 a 15 | 5 a 20 | 6 a 20 | 8 a 25 |
| Índice de Plasticidad | 4 a 9 | 4 a 9 | 4 a 9 | 4 a 9 | 4 a 9 | 4 a 9 |
| Límite Líquido | Máx. 35% | Máx. 35% | Máx. 35% | Máx. 35% | Máx. 35% | Máx. 35% |
| Desgaste de los ángeles | Máx. 50% | Máx. 50% | Máx. 50% | Máx. 50% | Máx. 50% | Máx. 50% |
| CBR [referido al 100% de la máxima densidad seca y una penetración de carga de 0.1" (2.5 mm)] | Mín. 40% | Mín. 40% | Mín. 40% | Mín. 40% | Mín. 40% | Mín. 40% |

Nota: AASHTO M 147 (citado por el MTC, 2014, p. 238).

2.3.9. Subbase granular

Tiene la función de soportar los esfuerzos transmitidos desde la capa superior de la carga del vehículo en los pavimentos flexibles y transferirlos adecuadamente a la capa inferior, mientras que en los pavimentos rígidos tienen la función de una capa de transición uniforme, estable y constante que soporta la superficie de la carretera, y su función complementaria es estabilizar a una mala subrasante (Gavilanes, 2012).

Tabla 11

Requerimientos Granulométricos para Subbase

| Tamiz | Porcentaje que pasa en peso | | | |
|----------------|-----------------------------|-------------|-------------|-------------|
| | Gradación A (1) | Gradación B | Gradación C | Gradación D |
| 50 mm (2") | 100 | 100 | | |
| 25 mm (1") | | 75 – 95 | 100 | 100 |
| 9.5 mm (3/8") | 30 – 65 | 40 – 75 | 50 – 85 | 60 – 100 |
| 4.75 mm (N° 4) | 25 – 55 | 30 – 60 | 35 – 65 | 50 – 85 |
| 2 mm (N° 10) | 15 – 40 | 20 – 45 | 25 – 50 | 40 – 70 |
| 425 um (N° 40) | 8 – 20 | 15 – 30 | 15 – 30 | 25 – 45 |
| 75 um (N° 200) | 2 – 8 | 5 – 15 | 5 – 15 | 8 – 15 |

Nota: (1) Para áreas con altitud \geq a 3000 msnm. EG-2013 (MTC, 2013, p. 360).

Tabla 12

Requerimientos del Suelo para Subbase

| Ensayo | Requerimiento | |
|-------------------------------|---------------|------------|
| | < 3000 msnm | >3000 msnm |
| Abrasión los Ángeles | 50% máx. | 50% máx. |
| CBR (1) | 40% mín. | 40% mín. |
| Límite líquido | 25% máx. | 25% máx. |
| Índice de plasticidad | 6% máx. | 4% máx. |
| Equivalente de arena | 25 % mín. | 35% mín. |
| Sales solubles | 1% máx. | 1% máx. |
| Partículas chatas y alargadas | 20% máx. | 20% máx. |

Nota: referido al 100% de la máxima densidad seca y una penetración de carga de 0.1" (2.5 mm).

EG-2013 (MTC, 2013, p. 360).

2.3.10. Base granular

Materiales granulares obtenidos de canteras o procesados con el fin de que cumplan con los estándares de la EG-2013, para su uso en carreteras (Huamaní, 2022). Además de la compresión, las capas que reciben la mayor parte de la presión generada por el vehículo necesitan otro tipo de modificación o estabilización para que puedan soportar las cargas del tráfico sin deformarse y también transferirlas a las capas subyacentes con una resistencia adecuada (Gavilanes, 2012).

Tabla 13

Requerimientos del Suelo para Base

| Tamiz | % que, pasa | | | |
|-----------------------|-------------|----------|----------|----------|
| | A | B | C | D |
| 50 mm (2") | 100 | 100 | | |
| 25 mm (1") | | 75 – 95 | 100 | 100 |
| 9.5 mm (3/8") | 30 – 65 | 40 – 75 | 50 - 85 | 60 - 100 |
| 4.75 mm (N° 4) | 25 – 55 | 30 – 60 | 35 - 65 | 50 - 85 |
| 2.0 mm (N° 10) | 15 – 40 | 20 – 45 | 25 - 50 | 40 - 70 |
| 4.25 um (N° 40) | 8 – 20 | 15 – 30 | 15 - 30 | 25 - 45 |
| 75 um (N° 200) | 2 – 8 | 5 – 15 | 5 -15 | 8 - 15 |
| Abrasión | Máx. 40% | Máx. 40% | Máx. 40% | Máx. 40% |
| CBR de Laboratorio | Mín. 80% | Mín. 80% | Mín. 80% | Mín. 80% |
| Índice de Plasticidad | Máx. 4% | Máx. 4% | Máx. 4% | Máx. 4% |
| Equivalente de arena | Mín. 45% | Mín. 45% | Mín. 45% | Mín. 45% |

Nota: Norma CE.010 (MVCS, 2020)

Tabla 14

CBR en Base Granular

| | |
|--------------------------------------|--------|
| Para carreteras de segunda clase, | Mínimo |
| 3ra clase, o $EE \leq 10 \cdot 10^6$ | 80% |
| 1ra clase, o, $EE > 10 \cdot 10^6$ | 100% |

Nota: (MTC, 2014).

2.3.11. Estabilización con geo sintéticos

La estabilización del suelo, es el mejoramiento de sus características físicas y/o mecánicas a través de diferentes procedimientos como, la estabilización mecánica (a través de la compactación), por combinación o sustitución de suelos, con el uso de aditivos químicos (cal, cemento, escoria, cloruro de sodio, cloruro de magnesio, asfalto, entre otros), o con la aplicación de geosintéticos (MTC, 2014). El MTC (2014) al hablar de estabilización con geosintéticos, hace referencia a las geomallas capas bidimensionales que refuerzan o separan la capa base de un pavimento, lo que permite mejorar el valor de soporte del suelo, siendo así, se pueden colocar interfase de subbase – base, para permitir el drenaje de la subbase, y para permitir el drenaje rápido de la capa base, siendo considerado óptimo su uso sobre suelos de subrasante clasificados como: limos o arcillas dentro de los grupos A-5 al A-7, con CBR menor a 3% para suelos saturados o menor a 8% para suelos secos. No obstante, en el presente estudio se hace referencia a otro tipo de geosintéticos, las geoceldas, que son elementos tridimensionales, que funcionan como un solo componente con el material de relleno (afirmado, subbase o base granular), dando así mayor acción de confinamiento (Cañon, 2018).

2.3.11.1. Confinamiento lateral

Mecanismo que se consigue acoplado las partículas granulares con el refuerzo, lo que aumenta la rigidez de la plataforma al reducir la deformación vertical en la interfaz interna y los ahuellamientos de la superficie de rodadura (MTC, 2014).

2.3.11.2. Mejoramiento del CBR del suelo

Distribuye la carga aplicada sobre un área mayor, reduciendo las fuerzas cortantes y verticales en el pavimento. Desplaza la superficie de daño del suelo blando a un material con mejor comportamiento estructural como subbase/base (MTC, 2014).

2.4. Hipótesis

H1: Las geoceldas de neumáticos reciclados influyen en la capacidad de soporte del afirmado para base, caso de estudio: cantera Cangana.

2.5. Operacionalización de variables

2.5.1. Variable independiente

Las “Geoceldas de neumáticos reciclados” son sistemas tridimensionales que, se componen de celdas y material de relleno, en este caso las celdas se han elaborado utilizando el caucho de neumáticos fuera de uso, recolectados por medio del reciclaje, para formar celdas circulares y romboidales, que junto, con el material de afirmado forman la geocelda. Las dimensiones son:

- Geoceldas de forma romboidal. Su forma de unión vista en planta corresponde a la de un rombo, y vista tridimensionalmente a la de un cubo o paralelepípedo.
- Geoceldas de forma circular. Su forma de unión vista en planta corresponde a la de un círculo, y vista tridimensionalmente a la de un cilindro.

2.5.2. Variable dependiente

La “Capacidad de soporte del afirmado” es la carga que puede soportar el suelo sin un asentamiento excesivo (Bañón y Beviá, 2000, p. 17). El CBR es el índice de resistencia del terreno, sirve para evaluar la capacidad de soporte del suelo de afirmado.

- Propiedades físicas del suelo
- Propiedades mecánicas en laboratorio
- Propiedades mecánicas in situ
- Costo económico

Tabla 15

Matriz de Operacionalización de Variables

| Variables | Definición conceptual | Dimensiones | Definición conceptual | Definición operacional | |
|-----------------|--|--------------------------------------|--|-----------------------------|-------------------|
| | | | | Indicadores | Ítem |
| VI | Sistemas tridimensionales que, se componen de celdas y material de relleno | Geoceldas de forma romboidal | Forma de rombo visto en planta | Dimensiones | m |
| | | | | Espesor | mm |
| | | Geoceldas de forma circular | Forma de círculo visto en planta | Dimensiones | m |
| | | | | Espesor | mm |
| VD | Es la carga que puede soportar el suelo sin un asentamiento excesivo (Bañón y Beviá, 2000, p. 17). El CBR es el índice de resistencia del terreno, sirve para evaluar la capacidad de soporte del suelo de afirmado. | Propiedades físicas del suelo | Características propias del suelo que determinan su clasificación a través de la gradación y plasticidad | Humedad | % |
| | | | | Granulometría | % |
| | | | | Límite líquido | % |
| | | | | Límite plástico | % |
| | | | | Índice de plasticidad | % |
| | | | | Clasificación del suelo | G, S, C, M |
| | | Propiedades mecánicas en laboratorio | Indican la resistencia del suelo a través de pruebas de campo | Peso específico | g/cm ³ |
| | | | | Absorción | % |
| | | | | Equivalente de arena | % |
| | | | | Resistencia al desgaste | % |
| | | | | Densidad máxima seca | g/cm ³ |
| | | | | Óptimo contenido de humedad | % |
| Costo económico | Valoración económica del gasto de implementación | CBR de laboratorio | % | | |
| | | CBR in situ | % | | |
| | | Densidad de campo | g/cm ³ | | |
| | | Material | S/. | | |
| | | | | Mano de obra | S/. |
| | | | | Equipos y/o herramientas | S/. |

CAPÍTULO III.

MARCO METODOLÓGICO

3.1. Tipo y nivel de investigación

El enfoque es CUANTITATIVO, se ha determinado cuantitativamente la capacidad portante del suelo de la cantera Cangana sin y con geoceldas elaboradas a partir de neumáticos fuera de uso, en laboratorio e in situ. El tipo de investigación es APLICADA, se ha generado nuevo conocimiento sobre la fabricación de geoceldas de forma circular y romboidal a partir de llantas de deshecho, para luego aplicarlo en la conformación de la capa base de una carretera haciendo uso de afirmado de la cantera Cangana, para determinar el CBR in situ. El nivel de investigación es DESCRIPTIVA se han descrito, los procesos para la fabricación de las geoceldas recicladas, su forma de aplicación, los rasgos físico mecánicos del suelo de la cantera Cangana, y la capacidad de soporte alcanzada al utilizar las geoceldas con material de relleno de la cantera Cangana. El diseño es EXPERIMENTAL se ha modificado la capacidad portante del suelo de la cantera Cangana con la colocación de geoceldas.

Tabla 16

Tipo de Investigación según los Principales Criterios

| Criterio | Tipo de investigación |
|-----------------------------------|--------------------------|
| Finalidad | Aplicada |
| Control de diseño de la prueba | Experimental |
| Estrategia o enfoque metodológico | Cuantitativa |
| Temporalidad | Transversal (sincrónica) |
| Objetivos | Descriptiva |
| Contexto donde sucede | Laboratorio, campo |
| Fuente de datos | Primaria |
| Intervención disciplinaria | Interdisciplinaria. |

3.2. Diseño de investigación

EXPERIMENTAL DE PRE TEST Y POS TEST, debido a que, se tienen valores de la capacidad de soporte del suelo de la cantera Cangana antes y después de la aplicación de geoceldas circulares y romboidales fabricadas de llantas de deshecho.

$$\begin{array}{l} GC \quad \rightarrow \quad \begin{array}{l} y1 \\ y2 \end{array} \\ GE \quad \rightarrow \begin{array}{l} x1 \\ x2 \end{array} \rightarrow y2 \end{array} \quad (13)$$

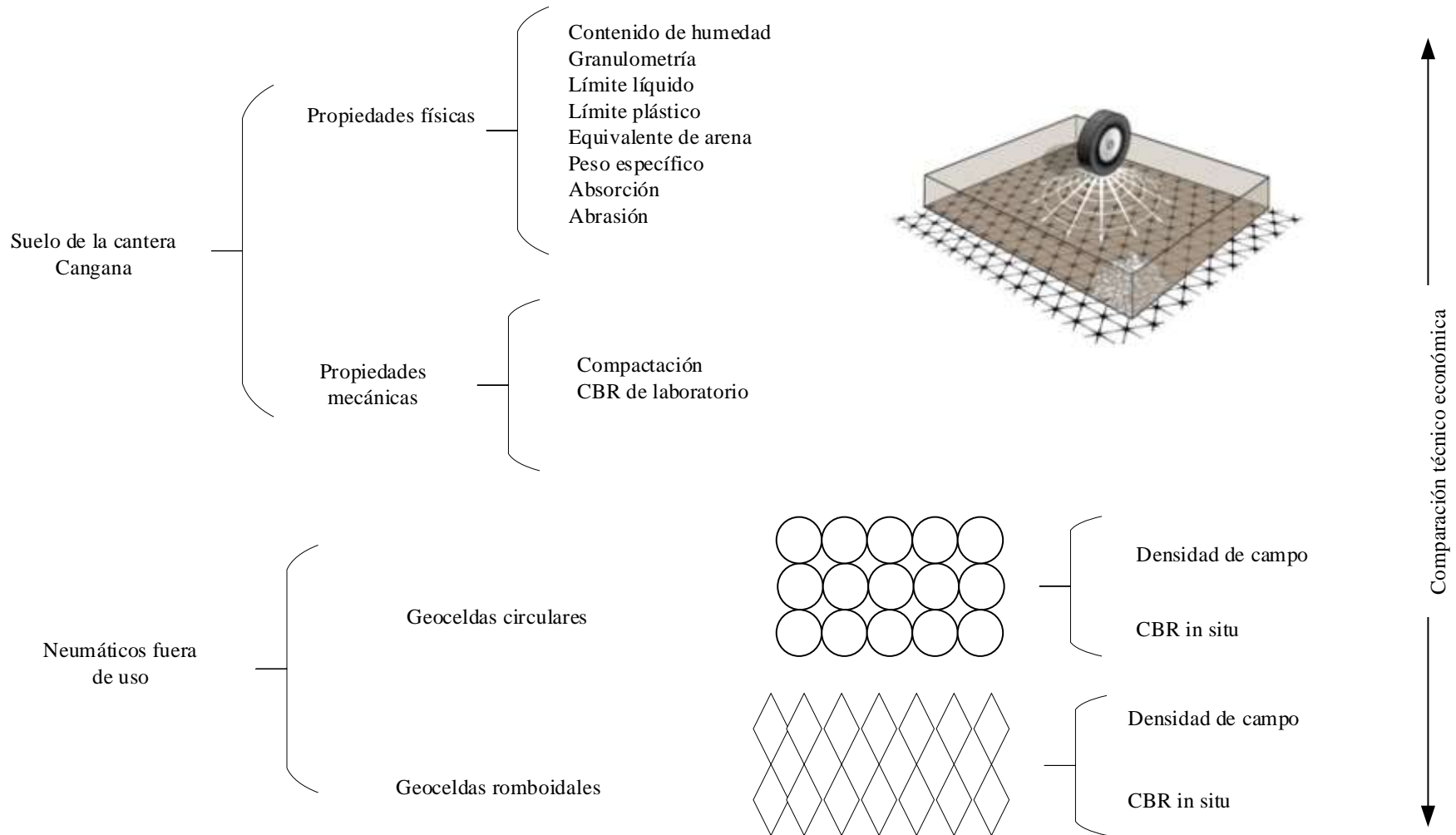
Donde, GC es el grupo control, donde la muestra es el suelo de la cantera Cangana, cuyas propiedades físicas (Y1) y propiedades mecánicas (Y2) son determinadas antes de la aplicación de geoceldas. GE es el grupo experimental, donde se aplican las geoceldas romboidales (X1) y circulares (X2), para luego determinar las características mecánicas del suelo (Y2).

En la Fig. 23 se muestra el esquema del diseño de investigación experimental.

3.3. Métodos de investigación

Se ha utilizado bajo el enfoque CUANTITATIVO, el método HIPOTÉTICO DEDUCTIVO, donde se ha partido de la hipótesis de que, es posible elaborar geoceldas de neumáticos reciclados, que puedan influir en el CBR del suelo de la cantera Cangana, para luego deducir su aceptación, a través de ensayos de CBR de laboratorio e in situ.

Figura 23 Esquema de Investigación: Experimental



3.4. Población, muestra y muestreo

3.4.1. Población

Suelo de la cantera La Cangana, ubicada en la carretera Chota – La Palma, CA-105, Chota, cuyas propiedades se han analizado según el MTC (2014).

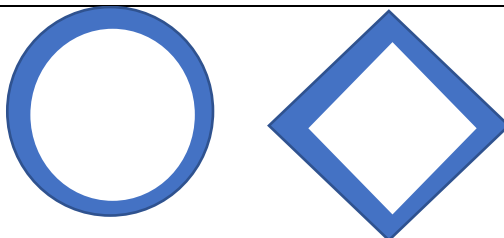
3.4.2. Muestra

Suelo de la cantera La Cangana, situada en la vía Chota – La Palma, CA-105, Chota, utilizado en seis prototipos de 2 m x 2 m, con aplicación de geoceldas circulares y romboidales (tres de cada tipo) para realizar ensayos de densidad de campo y CBR in situ.

Tabla 17

Ensayos In Situ con Suelo de la Cantera Cangana y Geoceldas

| Ensayos | Geocelda circular | Geocelda romboidal | Total |
|-------------------|-------------------|--------------------|-------|
| CBR in situ | 3.00 | 3.00 | 6.00 |
| Densidad de campo | 3.00 | 3.00 | 6.00 |



3.4.3. Muestreo

El muestreo del suelo se ha realizado según el Imcyc (2010) que, sugiere que canteras en explotación, solo deben ser muestreadas del perfil del talud, por tanto, se ha recolectado 5 kg de material, para las pruebas de clasificación y 40 kg para los ensayos mecánicos en laboratorio, siguiendo los lineamientos del MTC (2016). Para los ensayos in situ, se ha recolectado el material necesario para 2 m x 2 m de cada modelo de geocelda. Se han utilizado geoceldas de forma circular y geoceldas de tipo romboidal.

Figura 24

Geocelda Tipo Romboidal

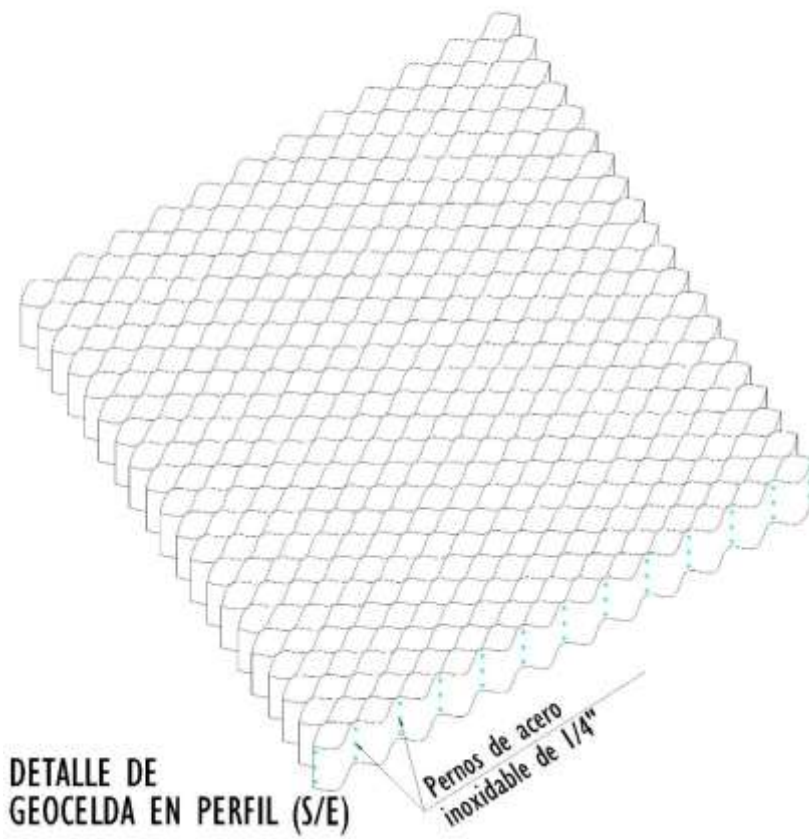
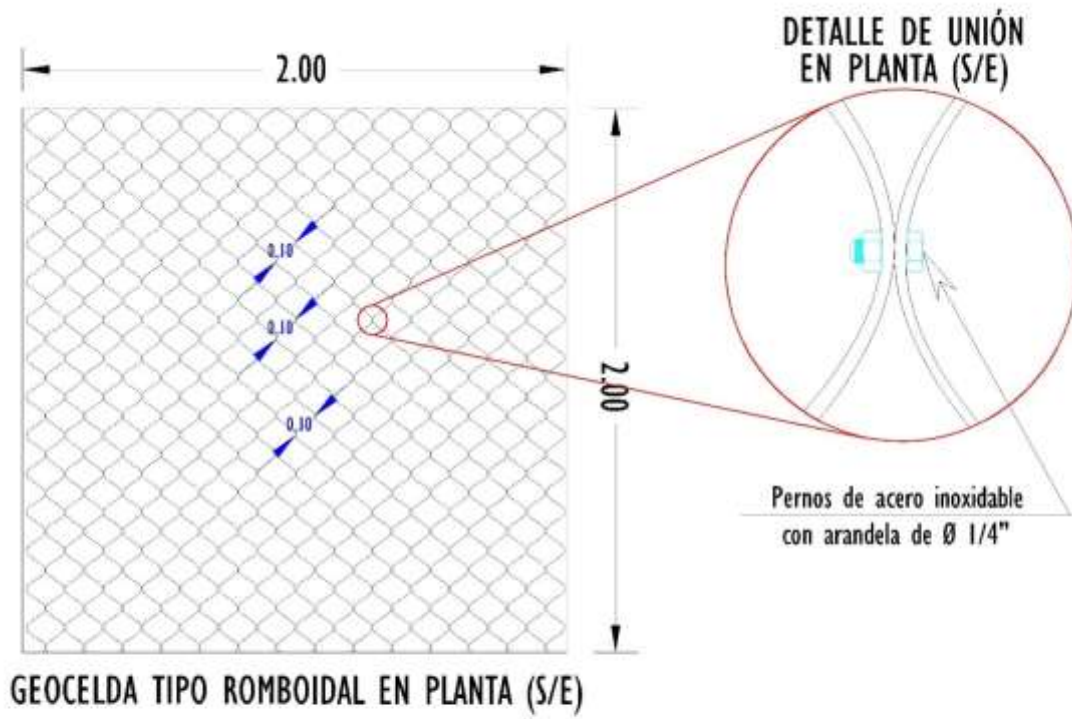
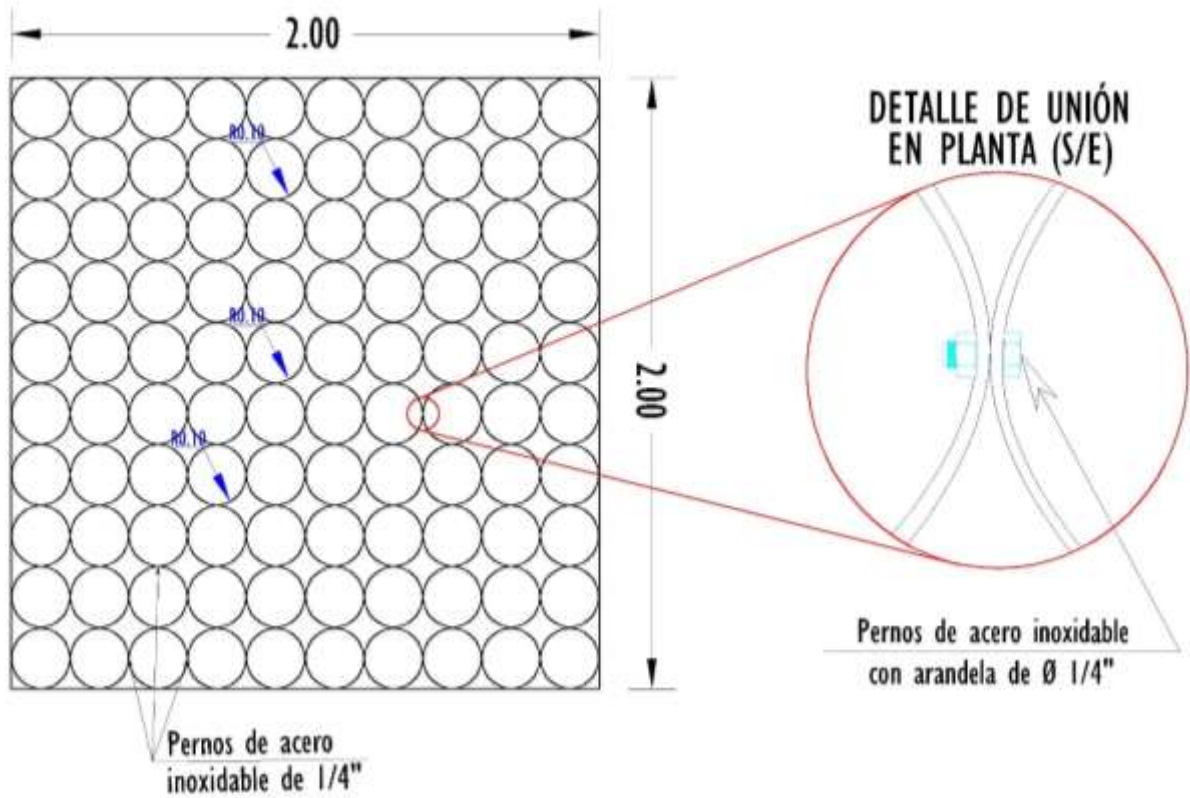
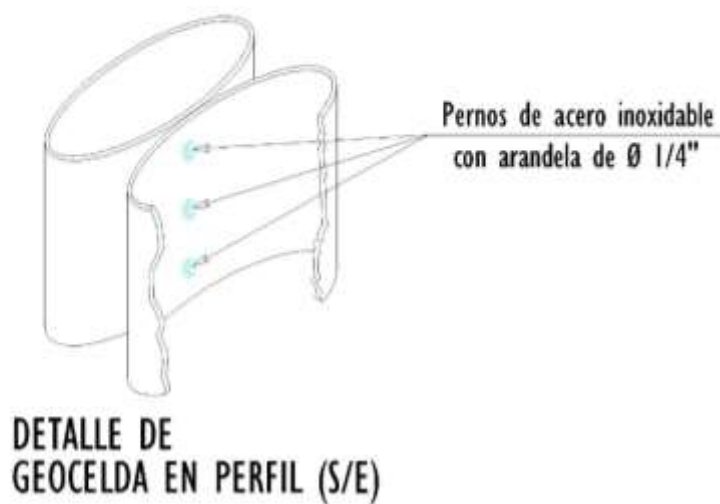


Figura 25

Geocelda Tipo Circular



GEOCELDA TIPO ROMBOIDAL EN PLANTA (S/E)



3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.5.1. Técnicas

Observación. Distinción del procedimiento realizado en la investigación.

Ensayos de laboratorio. Son los ensayos de clasificación y caracterización mecánica del suelo de la cantera Cangana.

Experimentación. Es la aplicación de las geoceldas circulares y romboidales para la determinación de la densidad de campo y el CBR in situ.

Comparación. Es el cotejo de los valores determinados en el análisis.

3.5.2. Instrumentos

Cuaderno de campo. Medio de registro de datos de interés visualizados durante la ejecución de la investigación, como el número de neumáticos reciclado, el proceso de elaboración de las geoceldas, entre otros.

Formatos de ensayos de laboratorio. Es el medio en el que se presenta los resultados de los ensayos de gradación, plasticidad, equivalente de arena, peso específico y absorción, equivalente de arena, abrasión, Proctor modificado y CBR de laboratorio.

Formato de ensayos in situ. Es el medio en el que se presenta los resultados de los ensayos de simulación a escala de la construcción de una carretera, tales como, densidad de campo y CBR in situ.

Matriz de comparación. Es el medio en el que se resume los resultados alcanzados en los ensayos de laboratorio e in situ, para compararlo con los requerimientos de la EG-2013 (MTC, 2015), de la norma CE.010 (MVCS, 2010), y del manual de suelos y pavimentos (MTC, 2014).

3.6. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

3.6.1. Proceso de obtención de los datos

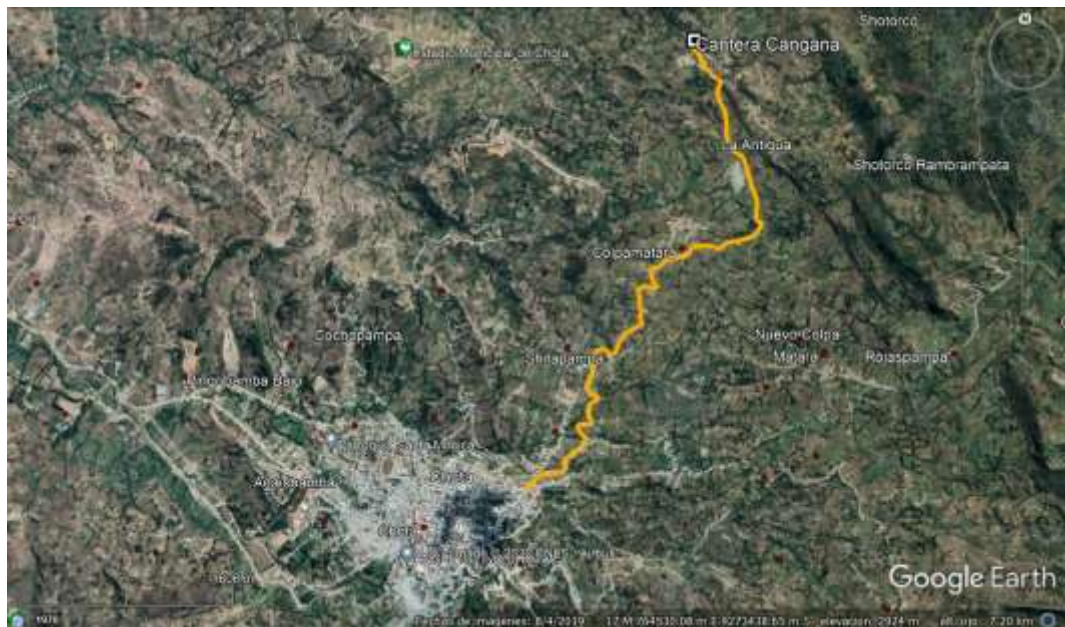
3.6.1.1. Exploración y muestreo de suelos

a) Ubicación

La cantera Cangana se sitúa en las coordenadas UTM WGS84 17S 761896.79 m E, 9277745.75 m S, a 2655 msnm, en la carretera Chota – La Palma, CA-105, a 5.20 km de la ciudad de Chota, aproximadamente a 20 minutos en camioneta.

Figura 26

Localización de la cantera Cangana



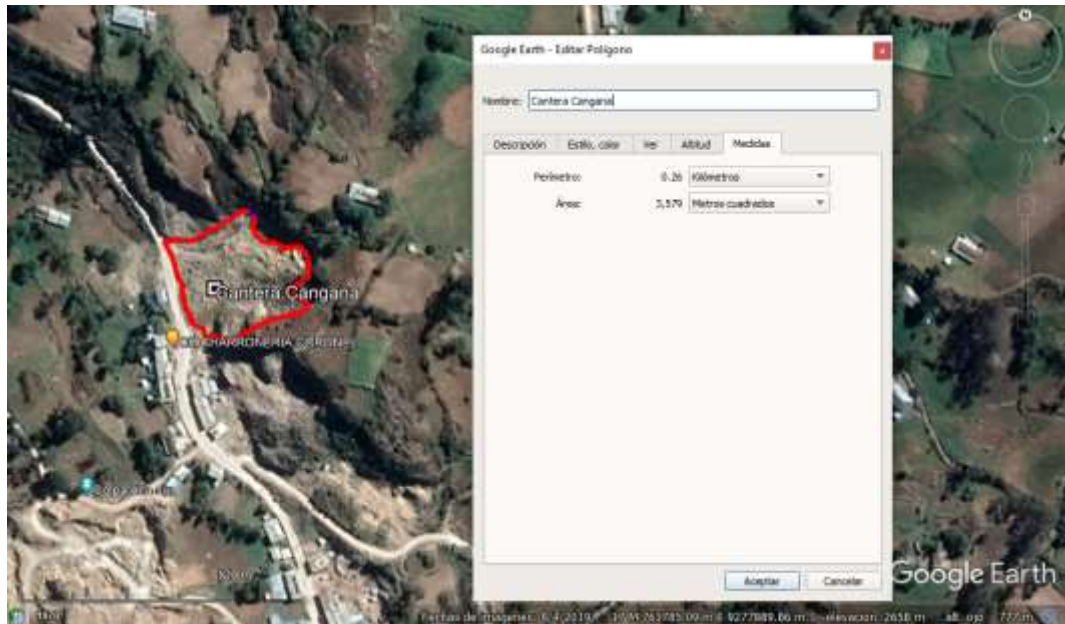
Nota: (Google earth, 2022).

b) Descripción

La cantera Cangana, es un depósito de suelo aluvial, cuya propiedad es privada, tiene acceso por vía afirmada CA-105, al presente, está en explotación, es decir se utiliza generalmente para el afirmado de la carretera Chota – La Palma, tiene un área aproximada de 3,579 m², con una altura de perfil de aproximadamente 50 m, por tanto, su disponibilidad aproximada oscila por los 178,950 m³.

Figura 27

Cantera Cangana



Nota: (Google earth, 2022).

c) Muestreo

Se ha realizado del perfil del talud según sugiere el Imcyc (2010) para canteras en explotación. Se ha recolectado 50 kg de material para ensayos de laboratorio, siguiendo los lineamientos del MTC (2016), y para los ensayos in situ, se ha recolectado el material necesario para simular una vía con geoceldas.

Figura 28

Muestreo en la Cantera Cangana



3.6.1.2. Metodología de diseño y elaboración de geoceldas con llantas

Se ha seguido el proceso descrito por Barrera y Franco (2019), quienes sugieren tres fases del estudio (1) recolección de neumáticos fuera de uso, (2) adecuación de la llanta, y (3) elaboración de las geoceldas.

(1) Recolección

Se recolectaron neumáticos de forma gratuita de los botaderos de la ciudad de Chota, de diferentes dimensiones, pero del mismo tipo. Recolectando en total 63 llantas para los prototipos de geoceldas romboidales, y 102 llantas para los prototipos de geoceldas circulares.

Figura 29

Recolección de Neumáticos en la ciudad de Chota



(2) Adecuación de llanta

Seleccionadas las llantas, se procede a la eliminación de sus caras laterales, para obtener únicamente la parte conformada por el ancho de la llanta encargada de hacer contacto directo con la superficie del vehículo.

Figura 30

Retiro de Caras Laterales



Nota: (Barrera y Franco, 2019)

(3) Proceso de elaboración de geoceldas romboidales

Equipos y/o materiales:

- Herramientas manuales (Cuchilla, afilador)
- Taladro percutor bosch
- Wincha metálica
- Broca de ¼"
- Escuadra
- Adaptador hexagonal
- Pernos de ¼" x 2".
- Tuercas de ¼".

Procedimiento

- Recolectar neumáticos desechos (63) para los tres prototipos.
- Cortar la parte superior e inferior solo dejando la parte central.
- Perforar una fila de 3 hoyos separados a 5 cm entre si con taladro y broca de ¼" cada 10 cm por una longitud de 2.90 m.
- Unir las fajas de neumáticos con pernos de $D=¼"$ y $L=2"$ y tuercas de ¼" en cada hoyo.

Figura 31

Confección de Geoceldas Romboidales



(4) Proceso de elaboración de geoceldas circulares:

Equipos y/o materiales:

- Herramientas manuales (Cuchilla, afilador)
- Taladro percutor bosch
- Wincha metálica
- Broca de ¼"
- Escuadra
- Adaptador hexagonal
- Pernos de ¼" x 2".
- Tuercas de ¼".

Procedimiento

- Recolectar neumáticos desechos (102) para los tres prototipos.
- Cortar la parte superior e inferior solo dejando la parte central.
- Perforar una fila de 3 hoyos separados a 5 cm entre sí en los lados que intersecan con las otras geoceldas circulares.
- Unir las franjas una con otra en forma de círculos haciendo una forma de 8
- Fijar entre sí con pernos de $D=1/4''$ y $L=2''$ cada una $LC= 0.30$ m por cada lado y un traslape de $L= 2$ cm en cada unión.

Figura 32

Confeción de Geoceldas Circulares



3.6.1.3. Ensayos de laboratorio

NTP 339.127 Contenido de humedad del suelo

- Pesar el suelo, llevarlo al horno, y pesar el suelo seco.

NTP 339.128 Granulometría

- Pesar la muestra de suelo, pasar por el tamiz N° 4, separa gruesos y finos.
- Pasar el agregado por una serie de tamices, moviendo por 1 minuto.
- Pesar el suelo retenido por tamiz.

NTP 339.129 Límite líquido

- Colocar agua al suelo que pasa la malla N° 40, formando una pasta.
- Colocar la pasta en la copa Casagrande, y con el ranurador hacer una abertura.
- Controlar el número de golpes preciso para cerrar la abertura.
- Recoger la muestra que se ha unido, y pesarla precedentemente y posteriormente de ir al horno.
- Repetir la prueba tres veces.

NTP 339.129 Límite plástico

- Usar la mezcla preparada para la prueba de límite líquido.
- Formar rollitos de 3 mm con la mezcla hasta que presente quiebre.
- Pesar los rollitos precedentemente y posteriormente de llevar al horno.
- Repetir la prueba dos veces.

NTP 400.022 Peso específico y absorción

- Determinar el peso de la grava al aire.
- Determinar el peso de la grava sumergida en agua
- Determinar el peso específico y absorción.

NTP 339.146 Equivalente de arena

- Se utilizan dos muestras, una secada al horno para estimar la cuantía de finos, y la otra sin secar artificialmente para el equivalente de arena.

- Se vierte la muestra en la probeta, se golpea para evitar las burbujas de aire, se deja reposar, se sella y se agita por 30 s, para luego colocar en posición vertical.
- Se quita el tapón, se usa el tubo lavador, y se mantiene la probeta en posición vertical, mientras ascienden los finos.
- Se deja reposar la probeta y luego se realizan las mediciones de la distancia entre la cara inferior y superior del disco.

NTP 339.141 Proctor modificado

- Obtener la muestra seca según el método C, preparar cinco muestras con contenidos de agua que varíen en 1 ½ entre ellas.
- Ensamblar en el molde y compactar n cinco capas, con 56 golpes.
- Pesar el molde antes y después de llevar al horno.
- Determinar la densidad seca.

NTP 339.145 CBR de laboratorio

- Compactación, realizar el proceso de Proctor modificado, con el óptimo contenido de humedad (OCH) determinado.
- Hinchamiento, colocar las muestras en agua por cuatro días, e ir registrando la expansión del suelo.
- Ensayo carga – penetración, colocar la sobrecarga y proceder al ensayo, para registrar los datos que permitan dibujar las tres curvas esfuerzo – deformación.
- Dibujar las curvas densidad seca vs CBR.

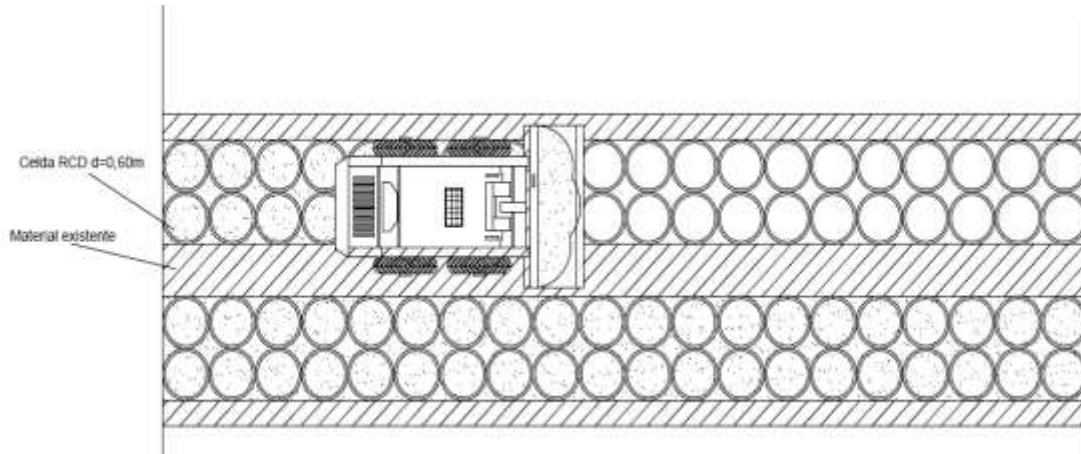
3.6.1.4. Aplicación de prototipos en campo

Para aplicar los prototipos en campo, se tiene que simular las condiciones reales de un proyecto vial es decir la construcción de una carretera con el sistema de

geoceldas. Cada prototipo simulado tiene dimensiones de 2.00 m x 2.00 m, y se ha realizado tomando en cuenta el proceso descrito por Guaje (2020).

Figura 33

Arreglo de llantas Celda



Nota: (Guaje, 2020, p. 133).

a) Equipos y/o materiales:

- Herramientas manuales (picos y palas)
- Yeso
- Nivel de ingeniero
- Wincha metálica
- Escuadra
- Estacas
- Comba de 2 lbs.
- Cordel nylon.

b) Maquinaria

- Retroexcavadora CAT 420E
- Volquete de 15 m³.
- Rodillo vibratorio en tándem de 22.9 kw de potencia.

- Apisonador de impacto de 9 HP
- Vibro compactadora (rana), honda 9 hp

c) Procedimiento

- Trazo de 12.5 m x 2 .10 m,
- Excavar una profundidad de 20 cm para dejar a nivel de sub subrasante.
- Nivelar
- Compactar sub rasante con apisonador de impacto de 9 HP de potencia.
- Instalar geoceldas circulares y romboidales.
- Colocar el afirmado dentro de cada geocelda hasta cubrir en su totalidad + 5cm.
- Compactar con Apisonador de impacto de 9 HP y vibro compactadora (rana), honda 9 hp.
- Nivelar, Rellenando en partes donde existe desnivel.
- Compactar con Rodillo vibratorio en tándem de 22.9 kw de potencia.

Figura 34

Proceso de Aplicación de Geoceldas en Campo



3.6.1.5. Ensayos de campo

(1) NTP 339.175 Ensayo de CBR in situ

Materiales y/o equipos (MTC, 2016)

- Gata mecánica de tornillo con manivela
- Anillos de carga (2), diales (2)
- Pistón de penetración con adaptadores de pistos y extensiones de tubo
- Soporte para Dial de (76 mm x 3" X 1.5 m)
- Platina de sobrecarga circular.
- Pesas de sobre carga anulares (4).
- Vehículo de carga (volquete, maquinaria, etc.)

Procedimiento

- Preparar el área de la superficie a ensayar, retirar material suelto y superficial.
- Localizar el vehículo de tal forma que, el dispositivo de reacción quede directamente sobre la superficie a ensayar.
- Instalar el gato mecánico debajo de la viga de reacción.
- Conectar el anillo de carga
- Conectar las extensiones necesarias hasta alcanzar una altura de 125 mm.
- Conectar el pistón de penetración.
- Colóquese la platina de sobre carga de 4.5 kg debajo del pistón de penetración.
- Asíéntese el pistón bajo una carga de 21 kPa (3 lb/pulg²).
- Adiciónese la segunda platina de 4.5 kg.
- Fijar el soporte del dial al pistón y sujétese el dial a dicho soporte.
- Colocar en cero la lectura de ambos diales.
- Aplicar la carga al pistón girando la manivela.
- Registrar la lectura del dial a los 0.30', 1.00', 1.30', 2.00', 3.00', 4.00'

Figura 35

Proceso del ensayo de CBR in situ



(2) NTP 339.143 Densidad y peso unitario del suelo in situ mediante el método de cono de arena

Materiales y/o equipos (MTC, 2016)

- Arena de Ottawa
- Recipiente de plástico o metal
- Cono
- Base metálica con un círculo hueco
- Espátula y cuchara
- Balanza
- Wincha
- Recipiente para contenido de humedad

- Arena calibrada
- Tamiz ¾"
- Comba y cincel.

Procedimiento

- Preparar la superficie a ensayar
- Coloque el plato base en el área a ensayar
- Se excava el hoyo de ensayo a través del orificio central en el plato de base.
- Determinar el peso del cono de arena más la arena de Ottawa
- Limpiar el plato base y extraer todo el material excavado y verter la arena de Ottawa
- Determine el peso del aparato con la arena restante
- Desterninar y registrar el peso del material húmedo extraído
- Calcular y determinar la densidad

Figura 36

Proceso del Ensayo de Densidad de Campo



(3) Contenido de humedad en suelos método del carburo de calcio (speedy)

Materiales y/o equipos e insumos (MTC, 2016)

- Medidor de humedad de gas a presión con Carburo de Calcio
- Balanza, será conforme a M 231, Clase G 2
- Dos esferas de acero de 31.75 mm (1.25 pulg) de diámetro.
- Cepillo y trapo de limpieza.
- Cuchara para medir el reactivo de Carburo de Calcio
- Reactivo de Carburo de Calcio.

Procedimiento

- Pesar el peso exacto de la muestra según lo especificado por el fabricante del probador en la balanza proporcionada y colocar la muestra en la tapa del probador. Si el comprobador se va a utilizar en cantidades entre 20 y 26 gr, coloque dos bolas de acero de carburo de calcio de 31.75 mm (1 ¼") en el cuerpo del comprobador con el carburo de calcio.

Figura 37

Proceso del Ensayo de Speedy



3.6.1.6. Cantidad de materiales

El peso específico del suelo de la cantera Cangana es 2.625 g/cm³, por tanto, para 1 m³ se necesita 2625 kg de suelo, sin embargo, cuando se utilizan geoceldas, estas ocupan espacio dentro del volumen. Las geoceldas romboidales, tienen altura de 0.20 m, espesor de 0.01 m, diámetro de 0.10 m y 36 celdas, dando 0.072 m³ para 4 m², pero, para 1 m³ considerando altura de 20 cm, ocupan un volumen de 0.018 m³; así mismo, las geoceldas circulares, de altura 0.20 m, espesor de 0.01 m, diámetro de 0.15 m y 25 celdas, da 0.072 m³ para 4 m², por tanto, para 1 m³ considerando altura de 20 cm, ocupan un volumen de 0.019 m³; siendo así, el suelo para 1 m³ sería 2578 kg y 2576 kg respectivamente, cuando se utilizan geoceldas romboidales y circulares.

Tabla 18

Cantidad de Material para la Base Granular con Geoceldas

| Cantidad de material | Geoceldas romboidales | Geoceldas circulares |
|--|-----------------------|----------------------|
| Volumen que ocupan geoceldas de 2 m x 2 m (Altura 0.20 m, espesor 0.01 m, diámetro 0.1 m romboidales 36 celdas, 0.15 m circulares 25 celdas) | 0.0072 | 0.0075 |
| Volumen para 1 m ³ (tramo de 5 x 1 x 0.2 m) | 0.018 | 0.019 |
| Volumen de suelo | 0.982 | 0.981 |
| Suelo (kg) | 2578 | 2576 |

3.6.1.7. Costo de producción de geoceldas

Para el análisis económico la única variable que cambia, en la construcción de la base granular, es la cantidad y costo de los materiales, es decir el uso de la geocelda, por tanto, se ha estimado el costo de la misma, en base al proceso realizado para su fabricación por parte del tesista, siendo así, las geoceldas romboidales tienen un costo de 178.49 soles, mientras que, las geoceldas circulares tienen un costo de 128.78 soles.

Tabla 19*Costo Estimado para la Confección de Geoceldas Romboidales*

| Rendimiento | m2/día | 10 | | EQ | 10 |
|-------------------------------|--------|-----------|----------|------------|----------------|
| Descripción del recurso | Unidad | Cuadrilla | Cantidad | Precio S/. | Parcial S/. |
| Mano de obra | | | | | |
| Operario | hh | 1 | 0.8 | 20.19 | 16.152 |
| Peón | hh | 1 | 0.8 | 14.91 | 11.928 |
| | | | | | 28.080 |
| Materiales | | | | | |
| Neumáticos reciclados | Und | | 63 | 0.50 | 31.500 |
| Pernos de 2" | Und | | 864 | 0.10 | 86.400 |
| Tuercas 1/4" | Und | | 864 | 0.036 | 31.104 |
| | | | | | 149.004 |
| Equipos | | | | | |
| Herramientas manuales | %mo | | 5 | 28.08 | 1.404 |
| | | | | | 1.404 |
| Costo unitario directo | | | | | 178.49 |

Nota: para la elaboración de 10 m2 de geoceldas romboidales se ha utilizado 63 neumáticos, y cada 10 cm se ha colocado pernos y tuercas.

Tabla 20*Costo Estimado para la Confección de Geoceldas Circulares*

| Rendimiento | m2/día | 10 | | EQ | 10 |
|-------------------------------|--------|-----------|----------|------------|---------------|
| Descripción del recurso | Unidad | Cuadrilla | Cantidad | Precio S/. | Parcial S/. |
| Mano de obra | | | | | |
| Operario | hh | 1 | 0.8 | 20.19 | 16.152 |
| Peón | hh | 1 | 0.8 | 14.91 | 11.928 |
| | | | | | 28.080 |
| Materiales | | | | | |
| Neumáticos reciclados | Und | | 102 | 0.50 | 51.000 |
| Pernos de 2" | Und | | 355.11 | 0.10 | 35.511 |
| Tuercas 1/4" | Und | | 355.11 | 0.036 | 12.784 |
| | | | | | 99.295 |
| Equipos | | | | | |
| Herramientas manuales | %mo | | 5 | 28.08 | 1.404 |
| | | | | | 1.404 |
| Costo unitario directo | | | | | 128.78 |

Nota: para la elaboración de 10 m2 de geoceldas romboidales se ha utilizado 102 neumáticos, y cada 15 cm se ha colocado pernos y tuercas.

3.6.1.8. Diseño de pavimento rígido

Está formado por las capas de subrasante, base granular y losa de concreto. Para estimar los espesores de las capas del pavimento, se utiliza el método AASHTO 1993, descrito por el MTC (2014).

$$\log_{10} W_{8.2} = Z_R S_O + 7.35 \log_{10}(D + 25.4) - 10.39 + \frac{\log_{10}\left(\frac{\Delta PSI}{4.5-1.5}\right)}{1 + \frac{1.25 \times 10^7}{(D+25.4)^{8.46}}} + (4.22 - 0.32 \times P_t) \times \log_{10} \left[\frac{M_r C_d (0.09 D^{0.75} - 1.132)}{1.51 \times J \times \left[0.09 D^{0.75} - \frac{7.38}{(E_c/K)^{0.25}} \right]} \right] \quad (14)$$

Donde, D= espesor de pavimento de concreto, en milímetros.

- a) $W_{8.2}$ número previsto de ejes equivalentes (EE) de 8.2 tn, a lo largo del periodo de diseño

El MTC (2014) da valores para el número de repeticiones acumuladas de ejes equivalentes de 8.2 t, para un periodo de diseño de 20 años. Estos valores se utilizarán para el diseño del estudio tomando el rango máximo de ESAL'S.

Tabla 21

EE de 8.2 tn

| Tipo de tráfico | EE mín | EE máx. |
|-----------------|------------|------------|
| TP1 | 150,000 | 300,000 |
| TP2 | 300,000 | 500,000 |
| TP3 | 500,000 | 750,000 |
| TP4 | 750,000 | 1,000,000 |
| TP5 | 1,000,000 | 1,500,000 |
| TP6 | 1,500,000 | 3,000,000 |
| TP7 | 3,000,000 | 5,000,000 |
| TP8 | 5,000,000 | 7,500,000 |
| TP9 | 7,500,000 | 10,000,000 |
| TP10 | 10,000,000 | 12,500,000 |

Nota: (MTC, 2014).

b) Δ PSI contraste entre los índices de servicio inicial (Po) y final (P)

El índice de serviciabilidad varía según el tipo de tráfico (MTC, 2014).

Tabla 22

Índices de Serviciabilidad

| Tipo de tráfico | Pi | Pt | Δ PSI |
|-----------------|------|------|--------------|
| TP1 a TP4 | 4.10 | 2.00 | 2.10 |
| TP5 a TP10 | 4.30 | 2.50 | 1.80 |

Nota: (MTC, 2014).

c) Z_R desviación normal estándar

La desviación estándar varía según el tipo de tránsito (MTC, 2014).

Tabla 23

Z_R

| Tipo de tráfico | R (%) | Z_R |
|-----------------|-------|--------|
| TP1 | 70 | -0.524 |
| TP2 | 75 | -0.674 |
| TP3 a TP4 | 80 | -0.842 |
| TP5 a TP7 | 85 | -1.036 |
| TP8 a TP10 | 90 | -1.282 |

Nota: (MTC, 2014).

d) S_O error estándar

El error estándar varía entre 0.30 a 0.40, se recomienda 0.35 (MTC, 2014).

e) M_r resistencia media del concreto (en Mpa) a flexo tracción a los 28 días y E_c

módulo de elasticidad del concreto, en Mpa

Para tráfico menor a 5,000,000 EE se recomienda $f'c$ 280 kg/cm² (MTC, 2014).

$$M_r = a\sqrt{f'c} \left(\frac{kg}{cm^2} \right) \quad (15)$$

$$E = 57000 \times (f'c)^{0.5}; (f'c \text{ en PSI}) \quad (16)$$

Donde, a varía entre 1.99 y 3.18, por tanto, M_r es igual a 3.92 MPa, y E_c es igual a 24819.90 MPa.

f) Cd coeficiente de drenaje

Se establece la calidad de drenaje del material en función a sus dimensiones, gradación y permeabilidad. Para el material de afirmado se ha considerado un drenaje pobre (más de 10 horas en drenar el agua), y para las geoceldas un drenaje excelente (tarda dos horas en evacuar el agua), siendo el tiempo de exposición a humedad por saturación más del 25%, por tanto, el coeficiente de drenaje será respectivamente 0.80 y 1.10, según el MTC (2014).

g) J coeficiente de transmisión de carga en las juntas

Se ha asumido 3.20 (MTC, 2014).

h) K módulo de reacción, dado en Mpa/m de la superficie (base o sub rasante)

Para caso del estudio se ha considerado una subrasante con CBR 6%, donde, se utilizará el material de afirmado sin y con geoceldas, para incrementar el módulo de reacción, por medio de la ecuación dada por el MTC (2014). Para convertir el CBR ha módulo de reacción se usan las fórmulas de Guzmán y Patiño (2018).

$$K = 2.55 + 52.5 \times \log CBR \quad (17)$$

$$K = 46 + 9.08 \times (\log CBR)^{4.34} \quad (18)$$

Donde, la ecuación 17 se utiliza cuando el CBR es menor o igual a 10%, y la ecuación 18 cuando el CBR es mayor a 10%.

$$Kc = \left[1 + \left(\frac{h}{38} \right)^2 \times \left(\frac{k_1}{k_0} \right)^{2/3} \right]^{0.5} \times k_0 \quad (19)$$

Donde, K1 (kg/cm³) coeficiente de reacción de la subbase granular, K0

(kg/cm³) coeficiente de reacción de la subrasante, h (cm) espesor de la subbase granular (ver anexo).

3.6.2. *Procesamiento de datos*

Para procesar los datos, se ha usado el software Microsoft Excel 2021, que ha permitido presentar los resultados en tablas y gráficos de estadística descriptiva.

3.6.3. *Análisis de datos*

Para realizar el análisis estadístico se ha usado el software Minitab 19, a fin de la verificar si la hipótesis nula (H_0) o alternativa (H_1) se acepta.

3.7. Aspectos éticos

Se ha desarrollado estrictamente bajo los aspectos éticos descritos por González (2019), tales como:

Valor social o científico, la investigación debe aportar conocimiento, pero también debe resolver problemas actuales de la sociedad, tal como, en el caso del estudio, donde se busca generar un nuevo tipo de geoceldas en base a neumáticos fuera de uso para su uso con material de afirmado.

Validez científica, se ha utilizado las NTP para las pruebas en laboratorio e in situ, asegurando la confianza de los resultados.

Selección equitativa de la muestra, se han realizado tres repeticiones para cada tipo de prototipo de geocelda confeccionado.

Evaluación independiente, no existe conflicto de intereses.

Consentimiento informado, el propietario de la cantera Cangana, tuvo conocimiento acerca del estudio, y ha brindado su consentimiento para la toma de muestras y recolección de suelo.

CAPÍTULO IV.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Descripción de resultados

4.1.1. Características del suelo de la cantera Cangana

El suelo natural de la cantera Cangana, tiene 71.8% de gravas, 17.6% de arena y 10.60% de finos, cumple con la gradación de la EG-2013 (MTC, 2015) para base granular del huso A, tiene humedad 7.82%, límite líquido de 22.59%, cumpliendo con el máximo de 35% dado por el MTC (2014) para afirmado, y el 25% para subbase y base granular (MTC, 2015); el límite plástico es 17.74%, por tanto, su índice de plasticidad es 4.85%, valor que cumple los lineamientos para afirmado de 4% a 9% (MTC, 2014), y para subbase (como máximo 6%), pero sobrepasa el rango de plasticidad (4%) para base granular, no obstante, solo supera el porcentaje límite en 21.25%, por tanto, considerando que, según el MTC (2014) se clasifica como suelo porco arcilloso, es suficiente el confinamiento del mismo. El suelo se clasifica según SUCS como grava pobremente gradada con arcilla, arena y limo, estando dentro del grupo A-1-a (0) según AASHTO, lo que indica buena calidad del material para su uso en carreteras. El equivalente de arena es 26%, superando el mínimo de 25% dado en la EG-2013 para subbase (MTC, 2015), pero estando por debajo del porcentaje solicitado de 45%, para base granular, no obstante, según el MTC (2014), el suelo se clasifica como poco plástico no arcilloso, lo que es favorable en el material de afirmado para evitar la expansibilidad. El peso específico de masa (P_{em}), saturado superficialmente seco ($P_{e\ SSS}$) y aparente ($P_{e\ a}$) del suelo es respectivamente 2625 g/cm³, 2.661 g/cm³, 2.722 g/cm³, estando dentro del rango usual de suelos granulares. Al analizar el agregado grueso del material granular por separado, se ha verificado que su

porcentaje de desgaste está por debajo del 40% y 50% máximo dado para base granular y afirmado, respectivamente, siendo su desgaste 29.40%, por tanto, la grava del suelo tiene buenas características mecánicas de resistencia a la abrasión. Al compactar el suelo, la densidad seca máxima (DSM) es 2.085 gr/cm³, alcanzada con el óptimo contenido de humedad (OCH) de 6.20%. El CBR al 95% y 100% de MDS es 42.50% y 68.30%, respectivamente, superando el mínimo de 40% para afirmado y subbase (MTC, 2014), pero siendo insuficiente para base granular, donde se solicita como mínimo 80% de CBR (MTC, 2015).

Tabla 24

Características Físico – Mecánicas del Suelo de la Cantera Cangana

| Características físico mecánicas del suelo | Cantera Cangana | Requisitos según el MTC (2014) | | | |
|--|-----------------------------|--------------------------------|----------|---------------|----------|
| | | Afirmado | Subbase | Base granular | |
| Humedad (%) | 7.82 | | | | |
| Equivalente de arena (%) | 26 | | 25% mín. | 45% mín. | |
| Gradación | Gravas (%) | 71.8 | | | |
| | Arena (%) | 17.6 | | | |
| | Finos (%) | 10.6 | 20% máx. | 8% máx. | 8% máx. |
| Límites de consistencia | LL (%) | 22.59 | 35% máx. | 25% máx. | 25% máx. |
| | LP (%) | 17.74 | | | |
| | IP (%) | 4.85 | 4 a 9% | 6% máx. | 4% máx. |
| Clasificación | AASHTO | A-1-a (0) | | | |
| | SUCS | GP-GC-GM | | | |
| | Peso específico | Pem (g/cm ³) | 2.625 | | |
| Agregado grueso | Pe SSS (g/cm ³) | 2.661 | | | |
| | Pea (g/cm ³) | 2.722 | | | |
| | % absorción | 1.35 | | | |
| Compactación | % desgaste | 29.4 | 50% máx. | 50% máx. | 40% máx. |
| | DSM (g/cm ³) | 2.085 | | | |
| | OCH (%) | 6.2 | | | |
| CBR | CBR al 100% MDS | 68.3 | 40% mín. | 40% mín. | 80% mín. |
| | CBR al 95% MDS | 42.5 | | | |

Figura 38

Curva Granulométrica del Suelo de la Cantera Cangana

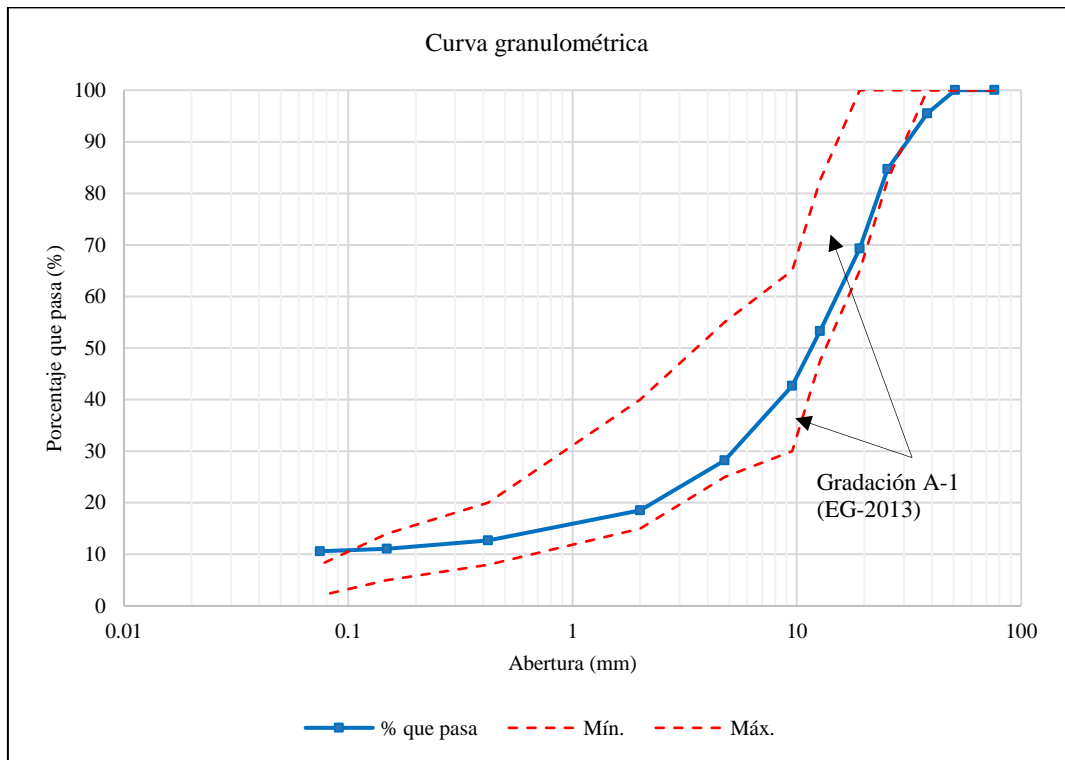


Figura 39

Diagrama de Fluidez del Suelo de la Cantera Cangana

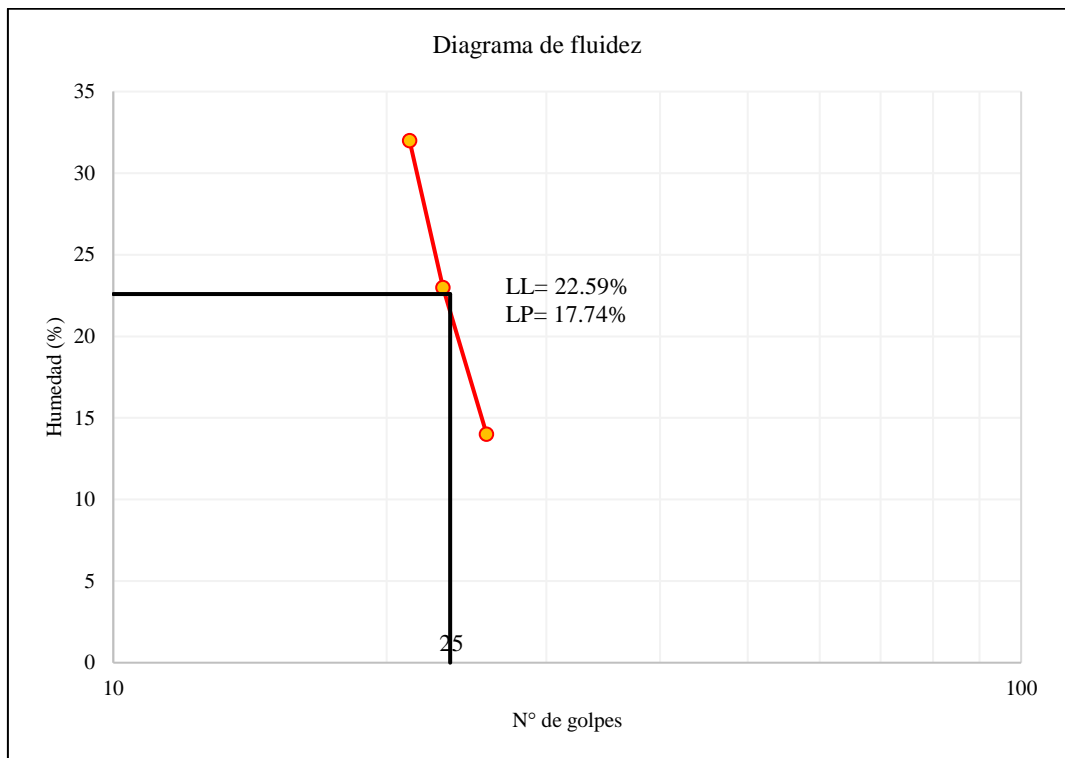


Figura 40

Curva de Compactación del Suelo de la Cantera Cangana

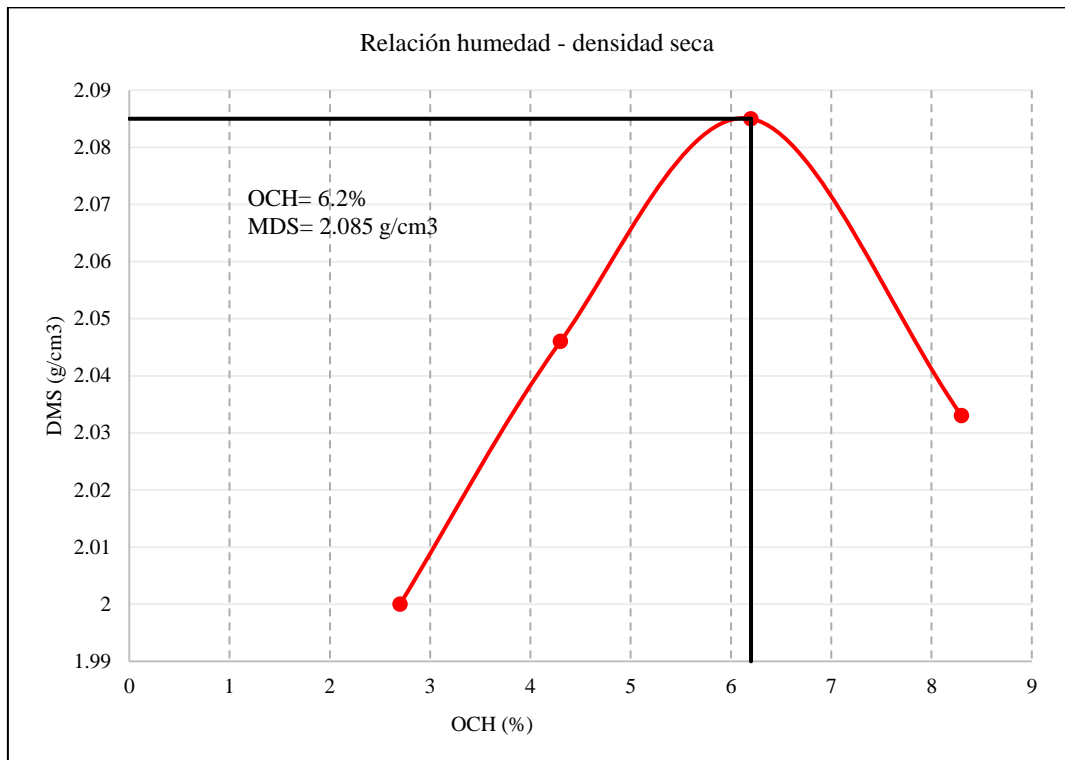
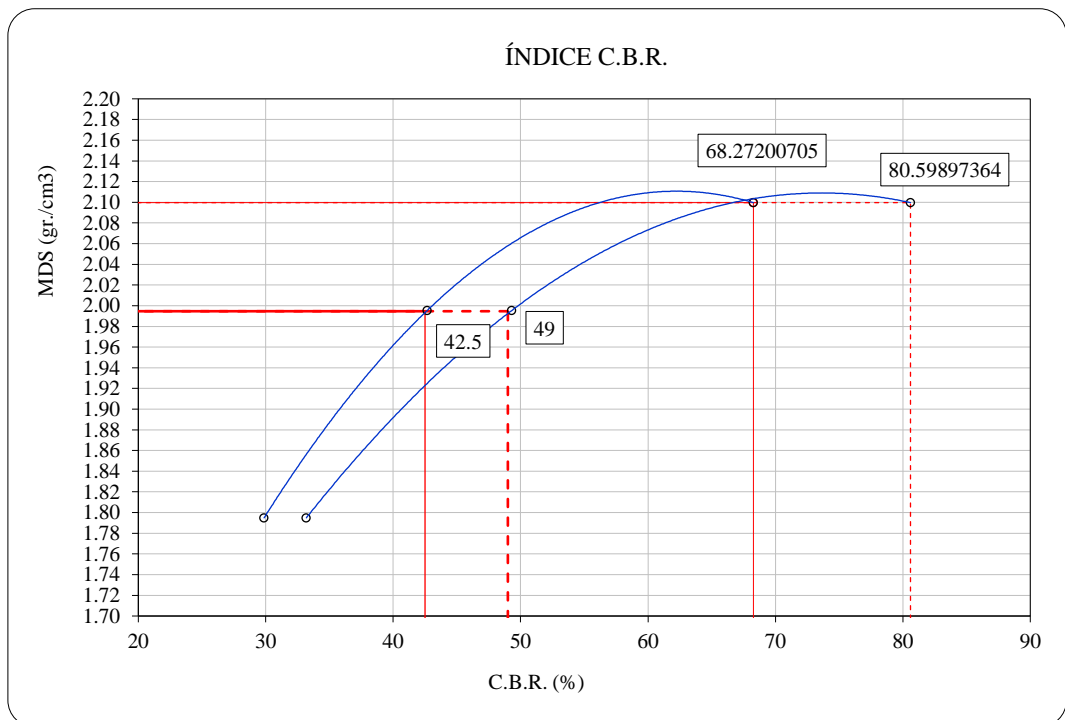


Figura 41

Curva CBR del Suelo de la Cantera Cangana



4.1.2. Características de las geoceldas confeccionadas

Las geoceladas están formadas por tiras de caucho, obtenidas de la banda central de rodamiento de los neumáticos fuera de uso, unidas con tuercas y pernos, con las cuales se logra la estructura alveolar o de varias celdas que, retienen y refuerzan el material de relleno contra fuerzas de compresión, empuje e hidrodinámicas. Este tipo de geoceldas difieren de las convencionales en el tipo de material utilizado para su fabricación, ya que generalmente se utiliza el HDPE, pero, en la investigación se ha propuesto el uso de caucho reciclado a partir de neumáticos fuera de uso (NFU), dando un aporte en el ámbito ecológico.

La capacidad de los neumáticos para ser reciclados es notable, según Pérez y Saiz (2018) los NFU no son solo residuos, sino, son fuente de recursos materiales y energéticos. Hay diversas opciones de reutilización y reciclaje de NFU (Zarini, 2010), pero, en este caso se están utilizando como materia prima para la producción de geoceldas. El proceso manual, que se ha seguido, consiste en la recolección de neumáticos, lavado y secado de los mismos, para luego pasar por corte separando la capa de metal de las bandas de rodamiento central (de caucho); estas últimas, por su facilidad de manejo, son cortadas y manipuladas para darle la forma de la geocelda uniéndola de forma manual con pernos y tuercas, no obstante, tal como, sugiere Zarini (2010) se puede realizar un proceso industrial mediante una fábrica de reciclaje de neumáticos que, facilitaría el cortado, separación de fibra metálica y caucho además de que, se obtendría fibra textil y fibra metálica como subproductos, mismos que, podrían aplicarse en otras industrias, dando así, un valor agregado al proceso de reciclaje para la producción de geoceldas.

Figura 42

Capacidad de los neumáticos para ser reciclados

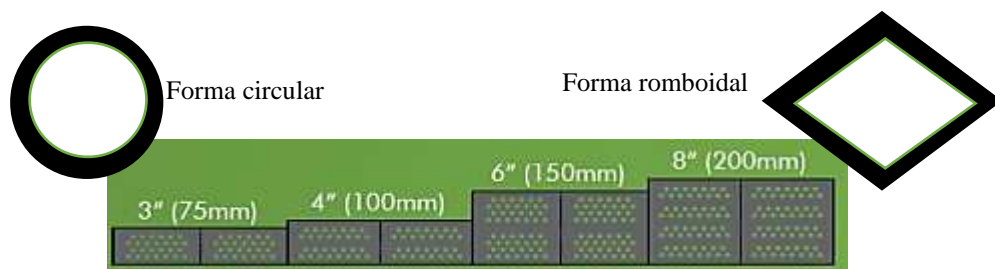


Nota: (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2022).

En el caso del estudio, se han confeccionado geoceldas romboidales y circulares, ambas de 200 mm de altura, con un área nominal expandida de 4 m², no obstante, las dimensiones se pueden adecuar a la necesidad del proyecto en cuanto a espesor y área nominal expandida, conservando las características propias de dimensiones de celda, determinando el número de celdas, forma, y número de uniones, para la superficie nominal expandida deseada.

Figura 43

Forma y tamaños de geoceldas



Las geoceldas romboidales, como su nombre lo dice están formadas por celdas en forma de rombo unidas a través de tuercas y pernos en cada intersección, se han confeccionado del ancho de 2 m, altura de 20 cm, con llantas de desecho, que presentan espesor de 1 cm, siendo las medidas internas de la diagonal del rombo 0.10 m, dando un total de 36 celdas, para 4 m² de área de geoceldas. Mientras que, las geoceldas circulares, vistas en planta están formadas por círculos continuos unidos en forma de ocho, pero vistos tridimensionalmente, están formadas por cilindros contiguos, estas celdas tienen un diámetro interno de 0.15 m, unidas a través de tuercas y pernos en cada intersección, se han confeccionado del ancho de 2 m, altura de 20 cm, con llantas de desecho de espesor de 1cm, dando un total de 25 celdas para 4 m² de área de geocelda.

Tabla 25

Características de las Geoceldas Confeccionadas

| Características | Geoceldas romboidales | Geoceldas circulares |
|---|------------------------------|-----------------------------|
| Dimensiones | | |
| Largo (m) | 2 | 2 |
| Ancho (m) | 2 | 2 |
| Altura (m) | 0.2 | 0.2 |
| Espesor (m) | 0.01 | 0.01 |
| Diámetro interno de la celda | 0.1 | 0.15 |
| Nº de celdas | 36 | 25 |
| Material | Neumáticos reciclados | Neumáticos reciclados |
| Nº de neumáticos para la fabricación de 10 m ² | 63 | 102 |
| Separación de pernos | 0.1 | 0.15 |
| Pernos | 2"x1/4" | 2"x1/4" |
| Tuercas | 1/4" | 1/4" |

Figura 44

Geoceldas Romboidales y Circulares

Geoceldas romboidales



Geoceldas circulares



4.1.3. Capacidad de soporte in situ con geoceldas

El grado de compactación del suelo de la cantera Cangana con geoceldas, supera el 100% de la máxima densidad seca, por tanto, cumple con los requerimientos técnicos. Para el suelo de la cantera Cangana con geoceldas circular y romboidal, se ha logrado alcanzar en promedio el 100.03% y 100.10% de la densidad seca máxima, al óptimo contenido de humedad.

Tabla 26

Densidad de Campo del Suelo con Geoceldas

| Densidad en campo | Geocelda circular | Geocelda romboidal |
|-------------------|-------------------|--------------------|
| 1 | 100 | 100.2 |
| 2 | 100.1 | 100.1 |
| 3 | 100 | 100 |
| Promedio | 100.03 | 100.10 |

El CBR in situ del suelo de la cantera Cangana con geoceldas circular y romboidal al 100% MDS, en promedio, alcanza valores de 100.13% y 99.53%, respectivamente, por tanto, supera el límite de 80% dado por la EG-2013 (MTC, 2015) para base granular utilizada en carreteras con una altura menor a 3000 msnm, y cumple con el mínimo de 100% para carreteras con altura mayor a 3000 msnm, así mismo, se observa que, las geoceldas circulares generan mayor resistencia en el suelo, que las geoceldas romboidales.

Tabla 27

CBR del Suelo con Geoceldas

| CBR al 100% MDS | Geocelda circular | Geocelda romboidal |
|-----------------|-------------------|--------------------|
| 1 | 101.1 | 99.7 |
| 2 | 99.3 | 99 |
| 3 | 100 | 99.9 |
| Promedio | 100.13 | 99.53 |

Figura 45

CBR del Suelo con Geoceldas Circulares

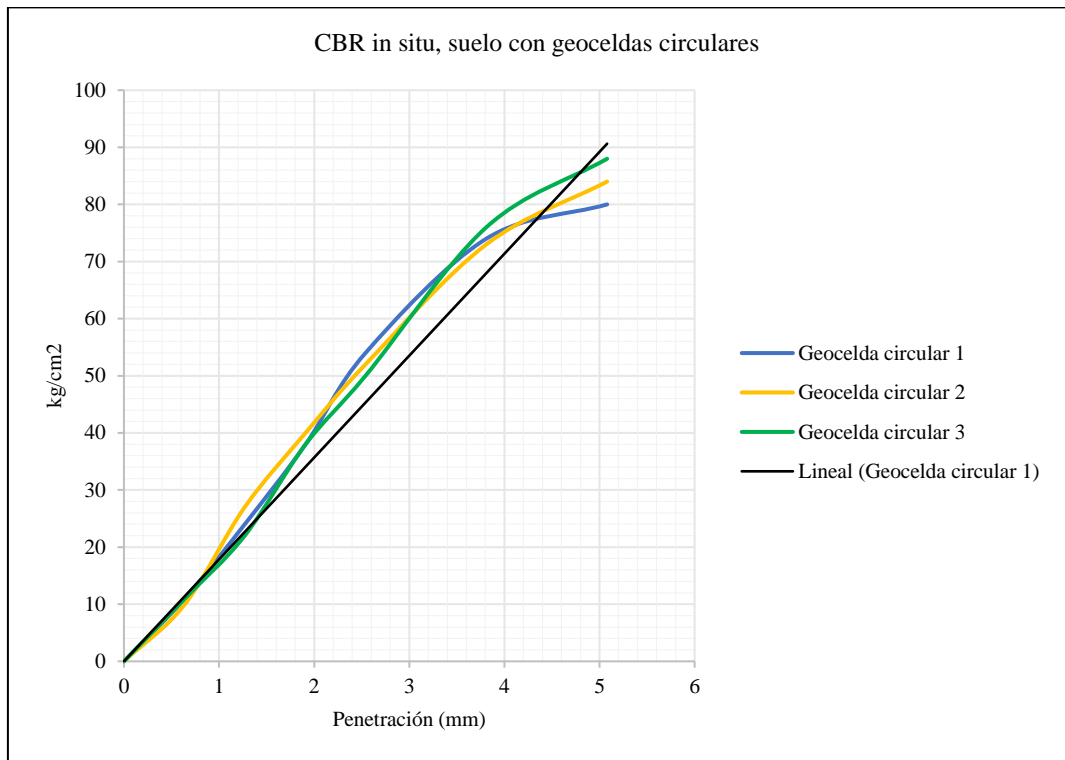
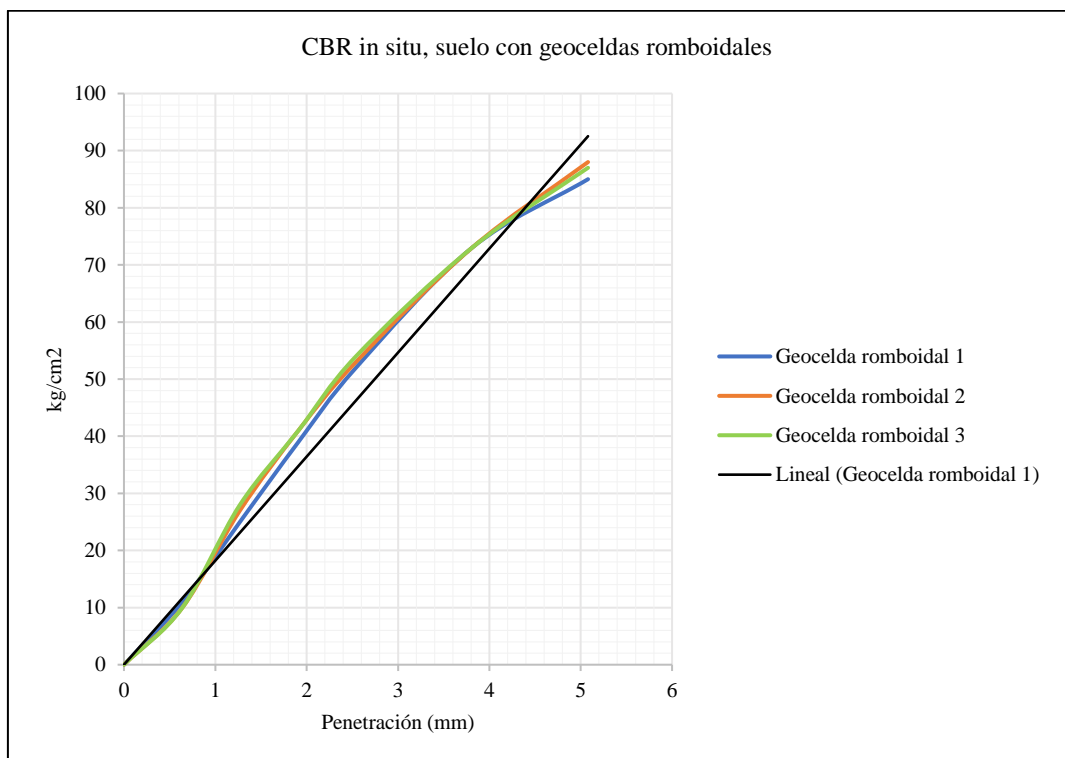


Figura 46

CBR del Suelo con Geoceldas Romboidales



4.1.4. Comparación técnico económica

4.1.4.1. Comparación técnica

Al comparar técnicamente el uso de geoceldas con el uso de solamente suelo de afirmado de la cantera Cangana, se ha determinado que, las geoceldas circular y romboidal, dan mayor resistencia o estabilidad al suelo, aumentando su CBR de 68.3% a 100.13% y 99.53%, respectivamente. Así mismo, se ha considerado, verificar cuanto se aumentaría el módulo de reacción del suelo de una subrasante con CBR de 6%, dando un Kc combinado de 59 MPa y 58.89 MPa para el suelo con geoceldas circular y romboidal de 20 cm de altura, mientras que, para el suelo natural de la cantera Cangana, sin geoceldas el valor Kc es 56 MPa, pero con un espesor de base granular de 30 cm, debido a que, no cumple con las características mecánicas de una base granular (Ver anexo “Diseño de pavimento”).

Tabla 28

Comparación Técnica del Material

| | CBR al 100% | Módulo del suelo (Kc) de 6% CBR, combinado por acción del material |
|--------------------|-------------|--|
| Geocelda circular | 100.13 | 59.00 |
| Geocelda romboidal | 99.53 | 58.86 |
| Sin geoceldas | 68.3 | 56.00 |

Con los datos de mecánica de suelos, y los diferentes parámetros dados por el MTC (2014) para el cálculo del espesor del pavimento rígido, para diferentes tipos de tráfico (TP1 a TP10), se ha determinado, las dimensiones de las capas de base granular y losa, para suelos sin y con geoceldas circulares y romboidales. Siendo las capas de base granular fijas, 20 cm para el suelo con geoceldas en ambos caso, y 40 cm para el suelo sin geoceldas. Solo se muestra la diferencia en el espesor de la losa de concreto $f'c$ 280 kg/cm² (para más detalle ver anexo “Diseño de

pavimento”). El espesor de losa, cuando se utiliza geoceldas es menor a cuando no se utiliza geoceldas, en 3 cm para el tráfico TP1, en 4 cm para el tráfico TP2, en 5 cm para el tráfico TP3, en 5 cm para el tráfico TP 4, en 7 cm para el tráfico TP5, en 5 cm para el tráfico TP6, TP7 y TP8. Siendo así, generalmente con el uso de geoceldas el espesor de losa se reduce en 5 cm para ambos prototipos de geocelda, además de que, se requiere menor cantidad de material de la cantera Cangana, debido a que, en todos los casos la base granular sin geoceldas es 40 cm, mientras que, la base granular con geoceldas es de 20 cm.

Tabla 29

Comparación Técnica de los Espesores de Capas para Pavimento Rígido

| Tipo de tránsito según el MTC (2014) | Espesor de losa (m) | | |
|--------------------------------------|---------------------|--------------------------------|---------------------------------|
| | Suelo sin geoceldas | Suelo con geoceldas circulares | Suelo con geoceldas romboidales |
| TP1 | 0.150 | 0.120 | 0.120 |
| TP2 | 0.175 | 0.140 | 0.140 |
| TP3 | 0.200 | 0.150 | 0.150 |
| TP4 | 0.210 | 0.160 | 0.160 |
| TP5 | 0.250 | 0.185 | 0.185 |
| TP6 | 0.250 | 0.200 | 0.200 |
| TP7 | 0.300 | 0.250 | 0.250 |
| TP8 | 0.300 | 0.250 | 0.250 |
| TP9 | 0.350 | 0.300 | 0.300 |
| TP10 | 0.350 | 0.300 | 0.300 |

Técnicamente se ha demostrado que el uso de geoceldas, logra un material más resistente al impacto de los vehículos además de que, en el diseño del pavimento rígido ayuda a disminuir el espesor del mismo, en comparación con el uso de suelo natural de la cantera Cangana. Así mismo, son las geoceldas circulares, las que proporcionan mejores características mecánicas que, las geoceldas romboidales, pero en el diseño sus espesores son iguales.

4.1.4.2.Comparación económica

Se ha realizado el cálculo del costo unitario de 1 m³ de aplicación de base granular con o sin geoceldas (ver anexo C “Costo unitario”), determinando que, el costo por m³ es 15.46 soles para el suelo sin geoceldas, 278.63 soles para el suelo con geoceldas circulares, y 328.42 soles para el suelo con geoceldas romboidales. No obstante, al momento de utilizar la base granular con o sin geoceldas la cantidad de materiales cambia, considerando que, se necesita 40 cm de altura de afirmado cuando no se utilizan geoceldas, pero solo 20 cm cuando se utilizan geoceldas (ver anexo D “Diseño de pavimento rígido”), siendo así, si se considera una carretera de 5 m de ancho, y 100 m de largo, cuando no se utilicen geoceldas se requerirá un volumen de $5 \times 100 \times 0.40 = 200$ m³, en cambio, cuando se utilizan geoceldas se requerirá un volumen de $5 \times 100 \times 0.20 = 100$ m³, que al multiplicar por el costo unitario de instalación da un costo total de 30,891.11 soles sin geoceldas, 27,863.33 soles con geoceldas circulares y 32,842.21 con geoceldas romboidales, por tanto económicamente, se ha demostrado que, el uso de geoceldas es viable, aún más, si se utilizan las geoceldas circulares siendo estas las que, tienen mayor beneficio económico. Además, se debe considerar que, el cálculo estimado se ha realizado solo para la base granular, pero, usar geoceldas también reduce el espesor de la losa, lo que se traduce en menores gastos en el vaciado de concreto.

Tabla 30

Comparación Económica con y sin Geoceldas

| Costo (soles) | Producto | Instalación m ³ /día | Para una carretera de 5 m x 100 m |
|--------------------|----------|---------------------------------|-----------------------------------|
| Sin geoceldas | 80 | 154.46 | 30891.11 |
| Geocelda circular | 128.78 | 278.63 | 27863.33 |
| Geocelda romboidal | 178.49 | 328.42 | 32842.21 |

4.2. Discusión de resultados

Las características del suelo natural de la cantera Cangana, cumplen con los lineamientos de un material de afirmado según el MTC (2014), pero no alcanzan a cumplir, los requerimientos de una base granular, dada en la EG-2013 (MTC, 2015), tal como, determinó Ticlla (2021), cuyas canteras chotanas analizadas presentaban características de material de afirmado, pero no de base granular, requiriendo combinación granulométrica, sin embargo, en el presente estudio se han utilizado geoceldas, además cabe recalcar que, si bien la cantera Cangana no cumple con los lineamientos de una base granular, presenta mejores características mecánicas que las canteras estudiadas por Ticlla (2021), que solo alcanzaban como máximo un CBR de 53.50%, mientras que, el suelo de la cantera Cangana alcanza CBR de 68.30%, siendo este el material que se ha utilizado para rellenar las geoceldas en los ensayos in situ. Venkatesh y Suluguru (2020) utilizaron como material de relleno de las geoceldas al suelo limoso de alta plasticidad con CBR de 0.90%, siendo muy bajo en comparación, con el CBR del suelo de la cantera Cangana, que ya se cataloga como de buena calidad, pero que, no alcanza la resistencia de una base granular según la EG-2013 (MTC, 2015), así mismo, Barrera y Franco (2019) también utilizaron suelo limoso de alta plasticidad; Salinas y Villao (2019) utilizaron suelos arcillosos de alta plasticidad con CBR de 2.19%, Pezo (2022) utilizaron suelo arcillosos de alta plasticidad con CBR 2.09%. En cambio, Guaje (2020) utilizó como material de relleno a grava GP-GC, clasificación similar a la del suelo del estudio, pero con CBR notablemente menor, siendo 7%, tal como, Mendoza y Torres (2022) cuyo CBR del material alcanzaba 19.2%, similar a Alarcón y Quispe (2021) que, a pesar de utilizar suelo arcillo limoso tenía CBR de 17.2%. Siendo así, en la mayor parte de

estudios utilizan suelos de bajo CBR con geoceldas, ya que, las mismas, permiten mejorar sus características mecánicas, siendo suelos de subrasante, mientras que, en el presente estudio se ha planteado utilizar las geoceldas con material de afirmado, mejorando sus propiedades para su uso como base granular en la construcción de carreteras Chotanas.

Tabla 31

Suelo de la Cantera Cangana según los Requerimientos del MTC (2014)

| Características físico mecánicas del suelo | Cantera Cangana | Requisitos según el MTC (2014) | | |
|---|--------------------|--------------------------------|----------|---------------|
| | | Afirmado | Subbase | Base granular |
| Equivalente de arena (%) | 26 | | 25% mín. | 45% mín. |
| LL (%) | 22.59 | 35% máx. | 25% máx. | 25% máx. |
| IP (%) | 4.85 | 4 a 9% | 6% máx. | 4% máx. |
| % desgaste | 29.4 | 50% máx. | 50% máx. | 40% máx. |
| CBR al 100% MDS | 68.3 | 40% mín. | 40% mín. | 80% mín. |
| CBR al 95% MDS | 42.5 | | | |
| DMS (g/cm ³) | 2.085 | | | |
| OCH (%) | 6.2 | | | |
| AASHTO | A-1-a (0) | | | |
| SUCS | GP-GC-GM | | | |

Se han utilizado geoceldas de forma romboidal y circular confeccionados con neumáticos reciclados, mientras que, en estudios realizados por Patazca (2019), Valentín y Valladares (2021), Tabatabaei et al. (2019), Baadiga et al. (2022), George et al. (2021), y Khan et al. (2022), han utilizado geoceldas comerciales elaboradas con HDPE, cuyas dimensiones en altura son iguales a las de las geoceldas recicladas, siendo 200 mm de altura. En cambio, Barrera y Franco (2019), Beltrán et al. (2020), Guaje (2020) y Enciso (2020), tal como en el presente estudio, han utilizado llantas de desecho para la fabricación de geoceldas. Mayormente usan geoceldas comerciales, pero en el estudio se da una nueva propuesta de valor, para el uso de neumáticos de deshecho.

La capacidad de soporte (CBR) in situ se ha determinado al 100% de la máxima densidad seca (MDS), determinado previo ensayo de densidad de campo, en cambio, Asha y Divya (2020) compactaron el suelo a tan solo el 85% de la MDS, pero obtuvieron resultados favorables, incrementando el CBR, gracias al confinamiento de las geoceldas. El CBR del suelo natural de la cantera La Cangana, aumenta al utilizar el sistema de geoceldas, cambiando de 68.30% a 100.13% y 99.53% para las geoceldas circular y romboidal, lo que representa, 46.61% y 45.73% de aumento, respecto al CBR del suelo natural, así mismo, Baadiga et al. (2022) logró incrementar el CBR de 30% a 55% con el uso de las geoceldas, Khan et al. (2022) también incremento el rendimiento del CBR en 48%; Sheikh et al. (2021) han determinado que, la capacidad de carga promedio se mejora en 50%; Enciso (2020) utilizó geoceldas elaboradas de neumáticos fuera de uso, como en el presente estudio, logrando aumentar el CBR del suelo natural de 45% a 75%. En cambio, Shafiee-Panah et al. (2022) solo logro un incremento del CBR de 23%, debido a que, no utilizaron suelo granular de cantera, sino utilizaron como material de relleno de las celdas, al agregado reciclado de concreto; además, Beltrán et al. (2020) no lograron aumentar las características del material lo suficiente para utilizarse como base granular, debido a que solo aumentaron de 20% a 50%, esto no se debe a que, haya usado geoceldas fabricadas de llantas de desecho, sino a que, el CBR del material de relleno era demasiado bajo; Venkatesh y Suluguru (2020), utilizaron neumáticos fuera de uso para elaborar geoceldas, que utilizaron para confinar el suelo, pero el CBR a pesar de tener un notable incremento continuo siendo bajo (3.94%), esto se debe a que el CBR del suelo natural era 0.90%. Por otro lado, Gallegos (2019) ha determinado que el uso de geoceldas puede incrementar hasta 72.3% el CBR, pero ellos

utilizaron productos comerciales; Salinas y Villao (2019) lograron incrementar el CBR del suelo en 82.39%, iniciando con CBR natural de 2.19%, esta proeza la alcanzaron no solo con el uso de geoceldas sino de otros estabilizantes como sal y cal, así mismo, Aguilar (2021) duplicó el valor CBR al usar geomalla, siendo 4.54% el CBR natural, ascendió a 8.53%, no obstante, cabe recalcar que, no ha usado el mismo sistema del estudio, geoceldas, y tampoco ha formado parte del reciclaje, sino ha utilizado un producto comercial, de allí, la diferencia. Las geoceldas tienen buenas características mecánicas mejorando el CBR del suelo, en mayor porcentaje que otros métodos de estabilización, como Fustamante (2021) quien utilizó plástico PET para estabilizar el suelo del jr. Camino Real en Chota, logrando un CBR de 8.40%.

Tabla 32

Características Técnicas y Económicas de las Geoceldas

| | CBR al 100% | Precio del producto (S/.) | Precio de instalación por m ³ (S/.) | Espesor requerido (m) | Costo en carretera de 5 m x 100 m |
|--------------------|-------------|---------------------------|--|-----------------------|-----------------------------------|
| Geocelda circular | 100.13 | 128.78 | 278.63 | 0.20 | 27863.33 |
| Geocelda romboidal | 99.53 | 178.49 | 328.42 | 0.20 | 32842.21 |
| Sin geoceldas | 68.3 | 80 | 154.46 | 0.40 | 30891.11 |

El uso de geoceldas reduce el espesor de la capa de concreto, en 5 cm, tal como Gamarra y Sandoval (2021) que determinaron que, se puede eludir el uso de 15 cm de base granular y 30 cm de subbase, sustituyéndolo por geoceldas con suelo granular de 10 cm, así mismo, Baadiga et al. (2021) determinaron que el espesor de las capas se puede reducir hasta en 29%, esto se debe a que incrementa el módulo resiliente, tal como afirma George et al. (2021), por tanto, no solo se reduce la capa de la losa de concreto, sino también, de la capa de base granular, en el diseño del pavimento, tal como Alarcón y Quispe (2021) quienes verificaron

que al usar geomalla triaxial el espesor de la base granular de 70 cm, variaba a 22 cm, así mismo, Huamaní (2022) que, determinó que, el uso de geomalla reducía el espesor de la base granular en 5% y los costos en 17%, tal como, se ha demostrado en el presente estudio, variando la capa de base granular de 40 cm sin geoceldas a 20 cm con geoceldas, y alcanzando un costo de aplicación para las geoceldas circulares menor al suelo sin geoceldas en 3,027.79, significando un ahorro del 9.80%, tal como, Valentín y Valladares (2021) quienes estimaron un ahorro de 5.6% respecto al pavimento convencional, al utilizar geoceldas, o Santisteban (2019) quien determinó que el costo de inversión se reduce en 8.23% al utilizar geoceldas, además de tener menos días de ejecución, por su facilidad constructiva. Siendo así, se puede utilizar para estabilizar subrasante de calidad baja, como en el caso del estudio que, se planteó una subrasante de 6% CBR, tal como, Inti et al. (2021) ha verificado en su tesis “Use of Geocell in Pavement Design”. Así mismo, fabricar geoceldas de materiales reciclados puede llegar a ser económicamente más rentable que adquirir las geoceldas comerciales, tal como, afirma Garzón-Florián y Henao-Alfonso (2019). Siendo así, se concluye que, las geoceldas son una opción viable para corregir dificultades técnicas y económicas de obras de ingeniería, aunque implementados en su mayoría de forma empírica como afirma Nolzco (2019), pero siendo una solución exitosa.

4.3. Contrastación de hipótesis

Debido a la ausencia de normalidad de los datos, no se pueden usar pruebas paramétricas de contraste, además de que, las mismas sugieren tamaños de muestra grandes, y en el caso del estudio la muestra es pequeña ($n < 80$), por lo que, se han empleado pruebas no paramétricas, que no precisan de ninguna, asunción sobre la distribución de la variable. Siendo así en el caso del estudio en el que, se ha buscado realizar la comparación de medias, se ha utilizado el test de Kruskal.Wallis, en el programa Minitab 19, para aceptar la hipótesis nula (H_0) o alternativa (H_1), se rechaza H_0 cuando el valor p (probabilidad) es menor al nivel de significancia 0.05, para un nivel de confianza del 95%, caso contrario se acepta H_0 .

- H_0 : Las geoceldas de neumáticos reciclados no influyen en la capacidad de soporte del afirmado para base, caso de estudio: cantera Cangana (no hay diferencia significativa).
- H_1 : Las geoceldas de neumáticos reciclados influyen en la capacidad de soporte del afirmado para base, caso de estudio: cantera Cangana (hay diferencia significativa).

Se han usado los datos de la Tabla 33, determinando en la Tabla 34, que, el valor p es 0.004, siendo menor que, 0.05, por tanto, se rechaza H_0 . Hay diferencia significativa entre los datos del CBR del suelo sin geoceldas y del suelo con geoceldas, siendo este último mayor que el primero, por tanto, el uso de geoceldas mejora el suelo de la cantera Cangana, influyendo positivamente. Así mismo, se concluye que, el material de afirmado de la cantera Cangana se puede utilizar como base granular, al aplicar geoceldas circulares o romboidales.

Tabla 33*Datos para el Análisis Estadístico*

| Tipo de sistema | Geoceldas | % MDS | CBR |
|-----------------|-----------|-------|-------|
| 1 | GC | 100 | 101.1 |
| 1 | GC | 100 | 99.3 |
| 1 | GC | 100 | 100 |
| 1 | GR | 100 | 99.7 |
| 1 | GR | 100 | 99 |
| 1 | GR | 100 | 99.9 |
| 2 | SG | 100 | 68.3 |
| 2 | SG | 95 | 42.5 |

Nota: (1) con geoceldas circulares (GC) y romboidales (GR), (2) sin geoceldas (GC).

Tabla 34*Prueba Estadística*

| Hipótesis nula | H ₀ : Todas las medianas son iguales | | |
|--------------------------|--|---------|---------|
| Hipótesis alterna | H ₁ : Al menos una mediana es diferente | | |
| Método | GL | Valor H | Valor p |
| No ajustado para empates | 1 | 8.31 | 0.004 |
| Ajustado para empates | 1 | 8.46 | 0.004 |

CAPÍTULO V.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

Al evaluar la influencia de las geoceldas de neumáticos reciclados en la capacidad de soporte del afirmado para base, caso de estudio: Cantera Cangana, con el fin de verificar si el material granular confinado con geoceldas cumple con la EG-2013 (MTC, 2015), se ha concluido:

- (1) El suelo natural de la cantera Cangana, tiene 71.8% de gravas, 17.6% de arena y 10.60% de finos, cumple con la gradación de la EG-2013 (MTC, 2015) para base granular del huso A, tiene límite líquido de 22.59% e índice de plasticidad de 4.85%, valor que cumple los lineamientos para afirmado y para subbase, pero sobrepasa el rango de plasticidad (4%) para base granular. El suelo se clasifica según SUCS como grava pobremente gradada con arcilla, arena y limo, estando dentro del grupo A-1-a (0) según AASHTO. Al compactar el suelo, la densidad seca máxima (DSM) es 2.085 gr/cm³, alcanzada con el óptimo contenido de humedad (OCH) de 6.20%. El CBR al 95% y 100% de MDS es 42.50% y 68.30%, superando el mínimo de 40% para afirmado y subbase (MTC, 2014), pero siendo insuficiente para base granular, donde se solicita como mínimo 80% de CBR (MTC, 2015).
- (2) Las geoceldas romboidales, como su nombre lo dice están formadas por celdas en forma de rombo unidas a través de tuercas y pernos cada 10 cm, se han confeccionado con llantas de desecho, con un total de 36 celdas, para 4 m² de área de geoceldas. Mientras que, las geoceldas circulares, vistas en planta están formadas por círculos continuos unidos en forma de ocho, pero vistos tridimensionalmente, están formadas por cilindros contiguos, estas celdas tienen

un diámetro interno de 0.15 m, unidas a través de tuercas y pernos en cada intersección, se han confeccionado del ancho de 2 m, altura de 20 cm, con llantas de desecho de espesor de 1 cm, dando un total de 25 celdas para 4 m² de área de geocelda.

- (3) El CBR in situ del suelo de la cantera Cangana con geoceldas circular y romboidal al 100% MDS, en promedio, alcanza valores de 100.13% y 99.53%, respectivamente, por tanto, supera el límite de 80% dado por la EG-2013 (MTC, 2015) para base granular utilizada en carreteras con una altura menor a 3000 msnm, y cumple con el mínimo de 100% para carreteras con altura mayor a 3000 msnm, así mismo, las geoceldas circulares generan mayor resistencia en el suelo, que las geoceldas romboidales.
- (4) Al comparar técnicamente el uso de geoceldas con el uso de solamente suelo de afirmado de la cantera Cangana, se ha determinado que, las geoceldas circular y romboidal, dan mayor resistencia o estabilidad al suelo, aumentando su CBR de 68.3% a 100.13% y 99.53%, respectivamente. Económicamente, las geoceldas romboidal y circular tienen un costo de confección de 178.49 soles y 128.78 soles, por tanto, implican un mayor costo de instalación por m³, que el suelo sin geoceldas, pero al compararlo con su aplicación en una carretera el costo del uso de geoceldas circular es 9.80% menor, considerando que, sin geoceldas la base granular tendrá un espesor de 40 cm, mientras que, con geoceldas la base granular tendrá un espesor de 20 cm, tal como, se ha demostrado en la Tabla 29 y Tabla 30.

5.2. Recomendaciones y/o sugerencias

- Se sugiere utilizar geoceldas circulares fabricadas a partir de neumáticos fuera de uso, como confinamiento, y afirmado de la cantera Cangana como material de relleno, para construir la capa de base granular en las carreteras Chotanas.
- Se recomienda, en un futuro análisis utilizar geoceldas comerciales de HDPE para poder contrastar la eficiencia del sistema de geoceldas reciclado.
- Se aconseja a la Municipalidad Provincial de Chota, plantear un plan de reutilización de residuos sólidos, que abarque a los neumáticos fuera de uso, considerando el prolongado tiempo de degradación que representan, por lo que, su desuso o incineración generan grandes impactos ambientales.
- Se exhorta a los alumnos, docentes e investigadores, realizar estudios con geoceldas recicladas de otros residuos, como, botellas PET, PEAD, entre otros; utilizando otras canteras del distrito de Chota que, cumplan con los requisitos generales del Manual de Carreteras EG-2013, o usando el suelo natural de la subrasante. Siendo así, el presente estudio, abre campo a nuevas investigaciones, que revolucionarán el campo de la ingeniería vial, y los modelos de estabilización convencionales.

CAPÍTULO VI.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abukhattala, M. (2016, May). Use of recycled materials in road construction. In *Proceedings of the 2nd international conference on civil, structural and transportation engineering, Ottawa, Canada* (pp. 138-1). http://avestia.com/ICCSTE2016_Proceedings/files/paper/138.pdf
- Aguilar, D.A. (2016). *Comparación técnica entre el uso de gaviones y geoceldas como estructuras de defensa ribereña*. [Tesis de grado, Pontificia Universidad Católica del Perú]. <http://hdl.handle.net/20.500.12404/6935>
- Aguilar, P. (2021). *Influencia de la geomalla triaxial en el módulo de resiliencia de la subrasante para pavimentos flexibles - Puno 2020*. [Tesis de grado, Universidad César Vallejo]. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/63924>
- Alarcón, R., y Quispe, D.A. (2021). *Implementación de geomalla triaxial para mejorar un suelo blando arcillo-limoso cruce Av. Canta Callao y Elmer Faucett, 2020*. [Tesis de grado, Universidad César Vallejo]. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/79557>
- Alarcón Álvarez, E. (1981). Revisión de las teorías modernas de plasticidad. *Ingenieros Industriales*, 8(6), 1-10. [https://oa.upm.es/22106/1/Revision de las teorias modernas de plasticidad.pdf](https://oa.upm.es/22106/1/Revision_de_las_teorias_modernas_de_plasticidad.pdf)
- Artaraz, M. (2002). Teoría de las tres dimensiones de desarrollo sostenible. *Ecosistemas*, 11(2), 1-6. <https://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/614>
- Asha, M. N., & Divya, V. (2020). Geocell Applications in Stabilizing Waste Materials for Sustainable Pavement Constructions. In *Geocells*, 1(1), 257-276. Springer, Singapore. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-15-6095-8_10
- Baadiga, R., Balunaini, U., Saride, S., & Madhav, M. R. (2022). Behavior of Geogrid and Geocell-Stabilized Unpaved Pavements Overlying Different Subgrade Conditions Under Monotonic Loading. *International Journal of Geosynthetics and Ground Engineering*, 8(3), 1-20. <https://link.springer.com/article/10.1007/s40891-022-00379-x>
- Baadiga, R., Balunaini, U., Saride, S., & Madhav, M. R. (2021). Effect of Geogrid Type and Subgrade Strength on the Traffic Benefit Ratio of Flexible

- Pavements. *Transportation Infrastructure Geotechnology*, 1-31.
<https://link.springer.com/article/10.1007/s40515-021-00203-5>
- Bañón, L. y Beviá, J. (2000). *Manual de carreteras*. Ortiz e Hijos, Contratista de Obras, S.A.
- Barrera León, D., & Franco Rodríguez, H.F. (2019). Estudio del comportamiento de geoceldas elaboradas a partir de llantas usadas, mediante pruebas de carga cíclicas en vías no pavimentadas. [Tesis de pregrado, Universidad de Ibagué].
<https://hdl.handle.net/20.500.12313/1821>
- Beltrán, G.I., Castaño, L.A., Enciso, C.O., Martínez, K.S., Mendoza, G.A. (2020). *Evaluación del comportamiento de llantas de desecho rellenas de materiales reciclados como alternativa sustentable en estructuras de pavimento de la red terciaria*. Congreso Internacional de Innovación en Ingeniería Civil, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.
<http://repositorio.uptc.edu.co/handle/001/4998>
- BOA. (2006, 3 de febrero). *Decreto 40/2006, Reglamento de NFU de Aragón*. Número 21.
- Braja, M. Das. (2001). *Fundamentos de Ingeniería geotécnica*. Thomson Editores, S.A.
- Cañón, S.M. (2018). *Beneficios técnicos y económicos en el uso de geoceldas en estructura de pavimentos frente a los sistemas tradicionales*. [Tesis de grado, Universidad Católica de Colombia].
<https://core.ac.uk/download/pdf/213560445.pdf>
- Cano Serrano, E., Cerezo García, L., & Urbina Fraile, M. (2007). *Valoración material y energética de neumáticos fuera de uso*. Universidad Carlos III de Madrid.
- Cardona, L. y Sanchez, L.M. (2011). *Aprovechamiento de llantas usadas para la fabricación de pisos decorativos*. [Tesis de especialización en PML, Universidad de Medellín].
- Castro, G. (2007). *Reutilización, Reciclado y Disposición Final de Neumáticos*. Departamento De Ingeniería Mecánica F.I.U.B.A.
[https://campus.fi.uba.ar/file.php/295/Material Complementario/Reutilizacion R eciclado y Disposicion final de Neumatico.pdf](https://campus.fi.uba.ar/file.php/295/Material%20Complementario/Reutilizacion%20Reciclado%20y%20Disposicion%20final%20de%20Neumatico.pdf)
- Criollo, A. X. (2014). *Caracterización de caucho reciclado proveniente de Scrap y de neumáticos fuera de uso para su potencial aplicación como materia prima*. [Tesis de grado, Universidad Politécnica Salesiana].

- Delarze, P.A. (2008). *Reciclaje de neumáticos y su aplicación en la construcción*. [Tesis para optar el título de Ingeniero Constructor, Universidad Austral de Chile]. <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2008/bmfci339r/doc/bmfci339r.pdf>
- Díaz, E.A. (2020). *Uso de Geomallas Multiaxiales Como Refuerzo en Vías sin Pavimentar con Suelos Blandos o Subrasantes Débiles*. [Tesis para optar el título de Ingeniero Civil, Universidad Antonio Nariño]. <http://repositorio.uan.edu.co/handle/123456789/2130>
- Dobrotă, D., & Dobrotă, G. (2018). An innovative method in the regeneration of waste rubber and the sustainable development. *Journal of Cleaner Production*, 172, 3591-3599. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.03.022>
- Duarte, M.C., 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 grado, Pontificia Universidad Javeriana]. <https://repository.javeriana.edu.co/handle/10554/7505>
- Enciso, C.O. (2020). *Aprovechamiento de llantas usadas e inclusión de pavimento asfáltico reciclado (RAP) para estructuras de pavimento en vías de bajo tránsito*. [Tesis de maestría en Ingeniería – Geotecnia, Universidad Nacional de Colombia]. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/78798>
- Fernández-Irigoín, R., & Ticlla-Rios, T. N. del R. (2020). Análisis de la condición de transitabilidad y nivel de intervención de las carreteras del distrito de Chota: Analysis of the passability condition and level of intervention of the roads of the Chota district. *Revista Ciencia Nor@ndina*, 3(1), 24–29. <https://doi.org/10.37518/2663-6360X2020v3n1p24>
- Fernández Muñoz, W. (2015). *Evaluación de la capacidad portante de los suelos de fundación de la Ciudad universitaria – Universidad Nacional de Cajamarca-2014*. [Tesis de doctorado en gestión ambiental y recursos naturales, Universidad Nacional de Cajamarca]. <http://hdl.handle.net/20.500.14074/1427>
- Flores Medina, D. D. (2013). *Diseño, Fabricación, Caracterización y Aplicaciones Constructivas de Hormigones de Consistencia Seca con Adiciones de Materiales de Procedencia Orgánica e Inorgánica en Neumáticos Fuera de Uso (NFUs)*. [Tesis Doctoral, E.T.S. Arquitectura (UPM)]. <https://oa.upm.es/21905/>
- Fustamante, N. (2021). *Evaluación de la capacidad de soporte del suelo adicionando polímeros reciclados (PET) en la sub rasante de la Calle Camino Real*,

- progresiva Km 0+000 - Km 0+750, Chota*. [Tesis de grado, Universidad Nacional Autónoma de Chota]. <http://repositorio.unach.edu.pe/handle/UNACH/182>
- Gallegos, R. (2019). *Relación entre el uso de geoceldas y la estabilización de suelos inestables en carreteras del Triunfo, provincia de Tambopata, Madre de Dios, 2017*. [Tesis de grado, Universidad Alas Peruanas]. <https://hdl.handle.net/20.500.12990/9575>
- Gamarra, A.C., y Sandoval, K.E. (2021). *Diseño del pavimento flexible utilizando geoceldas en la carretera Jancos - San Miguel de Pallaques – Cajamarca*. [Tesis de grado, Universidad César Vallejo]. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/75348>
- Garzón-Florián J. D. & Henao-Alfonso B. D. (2019). *Estudio de alternativa para la estabilidad de un suelo utilizando materiales reciclables vs geoceldas convencionales*. [Trabajo de Grado, Universidad Católica de Colombia]. <https://hdl.handle.net/10983/24273>
- Gavilanes, N.E. (2012). *Diseño de la estructura del pavimento con reforzamiento de geosintéticos aplicado a un tramo de la carretera Zumbahua-La Maná*. [Tesis de grado, Pontificia Universidad Católica del Ecuador]. <http://repositorio.puce.edu.ec/handle/22000/6427>
- George, A. M., Banerjee, A., Puppala, A. J., & Saladhi, M. (2021). Performance evaluation of geocell-reinforced reclaimed asphalt pavement (RAP) bases in flexible pavements. *International Journal of Pavement Engineering*, 22(2), 181-191. <https://doi.org/10.1080/10298436.2019.1587437>
- González, M. (2019). *Aspectos éticos de la investigación cualitativa*. Universidad de San Carlos Guatemala, Organización de los estados Iberoamericanos (OEI). <https://www.oei.es/historico/salactsi/mgonzalez5.htm>
- Guaje, J.A. (2020). *Estudio del agregado reciclado de residuos de construcción y demolición en celdas de confinamiento con llantas desechadas para la construcción de obras viales en Colombia*. [Tesis de maestría en Construcción, Universidad Nacional de Colombia]. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/78634>
- Guzmán, N.J. y Patiño, L.F. (2018). *Estimación del módulo de reacción combinado para diferentes estructuras de subbase de pavimento rígido*. [Tesis de grado, Universidad Santo Tomás de Bogotá D.C.].
- Hereña, P.E. (2022). *Función de Geosintéticos (Geotextil) en el Mejoramiento de Pistas y Veredas del Jirón Alfonso Ugarte, Localidad de Huayllay – Pasco*. [Tesis de

- grado para optar el título profesional de Ingeniero Civil, Universidad Peruana Los Andes]. <https://hdl.handle.net/20.500.12848/3380>
- Huamaní, O.A. (2022). *Estabilización de base granular con refuerzo de geomallas en el Distrito de Chilca – Huancayo, 2019*. [Tesis de grado, Universidad Peruana Los Andes]. <https://hdl.handle.net/20.500.12848/3591>
- Inti, S., Tirado, C., Sharma, M., & Tandon, V. (2021). *Use of Geocell in Pavement Design* (No. FHWA/TX-21/0-6833-1). University of Texas at El Paso. Center for Transportation Infrastructure Systems. <https://rosap.nrl.bts.gov/view/dot/60457>
- Instituto Mexicano del cemento y el concreto, Imcyc. (2010). *Muestreo de agregados – segunda parte*. Construcción y tecnología.
- Instituto Nacional de Calidad. (2019, 24 de octubre). *NTP 339.128. Suelos. Método de ensayo para el análisis granulométrico. 1ª Ed.* INACAL.
- INACAL. (2019, 24 de octubre). *NTP 339.129. Suelos. Método de ensayo para determinar el límite líquido, límite plástico, e índice de plasticidad de suelos, 1ª ed.* INACAL.
- INACAL. (2019, 23 de octubre). *NTP 339.141. Suelos. Método de ensayo para la compactación del suelo en laboratorio utilizando una energía modificada (2 700 kN-m/m³ (56 000 pie-lbf/pie³)), 1ª ed.* INACAL.
- INACAL. (2019, 23 de octubre). *NTP 339.145. Suelos. Método de ensayo de CBR (Relación de Soporte de California) de suelos compactados en el laboratorio, 1ª ed.* INACAL.
- INACAL. (2019, 23 de octubre). *NTP 339.146. Suelos. Método de ensayo normalizado para el valor equivalente de arena de suelos y agregado fino, 1ª ed.* INACAL.
- INACAL. (2020, 26 de noviembre). *NTP 400.019. Agregados. Determinación de la resistencia al desgaste en agregados gruesos de tamaños menores por abrasión e impacto en la máquina de Los Ángeles. Método de ensayo.* INACAL.
- INACAL. (2019, 23 de octubre). *NTP 339.143. Suelos. Método de ensayo estándar para la densidad y peso unitario del suelo in-situ mediante el método del cono de arena. 1ª Ed.* INACAL.
- INACAL. (2015, 26 de noviembre). *NTP 339.175. Método de ensayo normalizado in situ para CBR (California Bearing Ratio - Relación Valor Soporte) de suelos.* INACAL.
- Jayanthi, V., Soundara, B., Sanjaikumar, S. M., Siddharth, M. A., Shree, S. D., & Ragavi, S. P. (2022). Influencing Parameters on experimental and theoretical analysis of

- geocell reinforced soil. *Materials Today: Proceedings*.
<https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.04.951>
- Khan, M., Biswas, N., Banerjee, A., Congress, S. S. C., & Puppala, A. J. (2022). Effectiveness of Double-Layer HDPE Geocell System to Reinforce Reclaimed Asphalt Pavement (RAP)-Base Layer. In *Advances in Transportation Geotechnics IV* (1), 593-604. Springer, Cham.
https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-77230-7_45
- Lázaro, M. E., & Telles, L. S. (2018). *Influencia del sistema diamond grid en el mejoramiento de la resistencia a la compresión en un pavimento en la ciudad de Trujillo 2018*. [Tesis de licenciatura, Universidad Privada del Norte].
<http://hdl.handle.net/11537/22193>
- Li, W., Han, S., Han, X., & Yao, Y. (2021). Experimental and numerical analysis of mechanical properties of geocell reinforced reclaimed construction waste composite base layer. *Construction and Building Materials*, 304, 124587.
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.124587>
- Liu, H. S., Mead, J. L., & Stacer, R. G. (2000). Environmental effects of recycled rubber in light-fill applications. *Rubber Chemistry and Technology*, 73(3), 551-564.
<https://doi.org/10.5254/1.3547605>
- Llique, R.H. (2003). *Manual de laboratorio de mecánica de suelos*. Universidad Nacional de Cajamarca.
- Malicki, K., Górszczyk, J., & Dimitrovová, Z. (2021). Recycled Polyester Geosynthetic Influence on Improvement of Road and Railway Subgrade Bearing Capacity—Laboratory Investigations. *Materials*, 14(23), 1-11.
<https://doi.org/10.3390/ma14237264>
- Mendoza, M.O., y Torres, M.A. (2022). *Propuesta de diseño de pavimento flexible reforzado con geoceldas según la metodología mecanicista para reemplazo del pavimento deteriorado de la avenida Defensores del Morro, tramo: Pantanos de Villa, Chorrillos, 2019-2022*. [Tesis de grado, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas]. <http://hdl.handle.net/10757/660503>
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones, MTC. (2018). *1. Infraestructura. 1.1. Infraestructura vial. Red Vial Existente y Proyectada del Sistema Nacional de Carreteras por jerarquía, según Departamento: 2018*. MTC.
<https://portal.mtc.gob.pe/estadisticas/transportes.html>

- Ministerio de Transportes y Comunicaciones, MTC. (2014). *Manual de carreteras Suelos, geología, geotecnia y pavimentos, sección suelos y pavimentos R.D. N° 10-2014-MTC/14*. MTC.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones, MTC. (2015). *Manual de carreteras Especificaciones técnicas generales para construcción EG-2013*. MTC.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones, MTC. (2016). *Manual de ensayos de materiales*. MTC.
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, MVCS. (2010). *Reglamento Nacional de Edificaciones 2020. CE.010 Pavimentos urbanos*. Megabyte.
- Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. (2022). *Neumáticos ¿Cuál es su ciclo de gestión?* Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico España. <https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/prevencion-y-gestion-residuos/flujos/neumaticos/Cual-es-su-ciclo-gestion.aspx>
- Municipalidad Provincial de Chota, MPCH. (2018). *Plan de desarrollo urbano - Chota, PDU Chota 2017 – 2027*. MPCH.
- Murillas, G. (2021, 27 de enero). *Esto es lo que tarda un neumático en degradarse*. Última Hora. <https://ultimahoracol.com/esto-es-lo-que-tarda-un-neumatico-en-degradarse/>
- Nolazco, E. A. (2019). *Uso de geoceldas en pavimentos flexibles usadas en los últimos 10 años: una revisión de la literatura científica*. [Trabajo de investigación, Universidad Privada del Norte]. <http://hdl.handle.net/11537/24164>
- Palli, E.E. (2015) *Guía básica para estabilización de suelos con cal en caminos de baja intensidad vehicular en la provincia de San Román*. [Tesis de grado, Universidad Nacional del Altiplano] <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/2444>
- Parazca, M.A. (2019). *Estabilización de la subrasante utilizando geoceldas para mejorar la transitabilidad en el tramo de la cuadra 18 de la Av. Morales Duárez – Callao*. [Tesis de grado, Universidad César Vallejo]. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/73259>
- Pastor, C.F. (2013). *Evaluación de canteras para realizar la construcción de trocha carrozable a nivel de afirmado Campo Alegre - Peña Blanca, Distrito de Namora, Provincia De Cajamarca*. [Tesis de grado, Universidad Nacional de Cajamarca].
- Pérez, J. (2006). *El plan Gira; El Problema de Neumáticos fuera de uso*. ARPIrelieve, S.A.

- Pérez, R., y Saiz, L. (2018). Reciclado de neumáticos: transformación de un residuo en un recurso. *Revista de Plásticos Modernos*, 115(730). <https://www.signus.es/wp-content/uploads/2018/04/reciclado-de-neumaticos-transformacion-de-un-residuo-en-un-recurso.pdf>
- Pezo, F.G.P. (2022). *Uso Combinado de Geomalla y Geotextil como Refuerzo para Pavimentos Flexibles en Suelos Expansivos*. [Tesis de maestría en Ingeniería Vial con mención en Carreteras, Puentes y Túneles, Universidad Ricardo Palma]. <https://hdl.handle.net/20.500.14138/5352>
- Ramesh, A., Rao, N., & Kumar, M. (2019). Experimental study on geocell and of fibre reinforced soil sub-grade under static and repetitive load. In *Geotechnics for transportation infrastructure*, 29(1). 139-149. Springer, Singapore. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-13-6713-7_11
- Salinas Suárez, J.E.; Villao Carvajal, R.A. (2019). *Estudio comparativo de estabilización de suelos de subrasante suelos expansivos, utilizando cal, sal y geoceldas, para implementación en una nueva vía en la comuna Bajadita de Colonche de la parroquia Colonche*. [Tesis de grado, Universidad Estatal Península de Santa Elena, Ecuador]. <https://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/5223>
- Santisteban, E. (2019). *Evaluación de la estructura de pavimento flexible con la aplicación de geoceldas en Huaura – Huaura – Lima, 2019*. [Tesis de grado, Universidad César Vallejo]. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/45690>
- Segre, N. y Joekes, I. (2000). Use of tire rubber particles as addition to cement paste. *Cement and Concrete Research*. 30(9), 15-20. [https://doi.org/10.1016/S0008-8846\(00\)00373-2](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(00)00373-2)
- Shafiee-Panah, A., Ghanbari, A., & Tavakoli Mehrjardi, G. (2022). Evaluation of Geocell-Reinforced Pavement Constructed with Recycled Concrete Aggregate Subjected to Wheel Loads. *Indian Geotechnical Journal*, 1-19. <https://link.springer.com/article/10.1007/s40098-022-00632-0>
- Sheikh, I. R., Mandhaniya, P., & Shah, M. Y. (2021). A parametric study on pavement with geocell reinforced rock quarry waste base on dredged soil subgrade. *International Journal of Geosynthetics and Ground Engineering*, 7(2), 1-11.
- Sicha, G.G. (2018). *Diseño con geosintéticos para la función de separación, filtración y refuerzo en pavimentos flexibles*. [Tesis de grado, Pontificia Universidad Católica del Perú]. <https://hdl.handle.net/20.500.12404/11730>

- Tabatabaei Aghda, S. T., Ghanbari, A., & Tavakoli Mehrjardi, G. (2019). Evaluating the applicability of geocell-reinforced dredged sand using plate and wheel load testing. *Transportation Infrastructure Geotechnology*, 6(1), 21-38.
- Téllez, J.S., y Moldonado, C.C. (2021). *Simulación numérica de una estructura de pavimento flexible reforzada con geo celdas, apoyada sobre subrasantes continuas y discontinuas*. [Tesis de grado, Universidad Distrital Francisco José de Caldas]. <http://hdl.handle.net/11349/28720>
- Ticlla, T.N.R. (2021). *Evaluación de las características geotécnicas del suelo de las principales canteras para afirmado de carreteras del distrito de Chota*. [Tesis de grado, Universidad Nacional Autónoma de Chota]. <http://repositorio.unach.edu.pe/handle/UNACH/162>
- Valentín, E.P. y Valladares, M.H. (2021). *Análisis comparativo de refuerzo estructural entre la geomalla triaxial y la geocelda para la optimización del diseño de pavimento flexible, del tramo II de la carretera departamental hu- 108, Distrito de Churubamba-Huánuco*. [Tesis de grado, Universidad Nacional Hermilio Valdizaán de Huánuco]. <https://hdl.handle.net/20.500.13080/7092>
- Venkatesh, G., & Suluguru, A. K. (2020). Effective study of Geocell, Geogrid and Geo textile as Geo-Reinforcement on CBR and Resilient modulus value of subgrade. *Solid State Technology*, 63(2s), 2557-2573. https://www.researchgate.net/profile/Ashok-Suluguru/publication/346085100_Effective_study_of_Geocell_Geogrid_and_Geo_textile_as_Geo_Reinforcement_on_CBR_and_Resilient_modulus_value_of_subgrade/links/6005d30f45851553a053ad46/Effective-study-of-Geocell-Geogrid-and-Geo-textile-as-Geo-Reinforcement-on-CBR-and-Resilient-modulus-value-of-subgrade.pdf
- Vignart, J. M. (2010). *Problemática del neumático fuera de uso reciclado y posterior aplicación industrial y comercial*. [Tesis de Grado, Instituto Tecnológico de Buenos Aires].
- Wik, A., & Dave, G. (2009). Occurrence and effects of tire wear particles in the environment—A critical review and an initial risk assessment. *Environmental pollution*, 157(1), 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2008.09.028>
- Zarini, A. (2010). *Alternativas de reutilización y reciclaje de neumáticos en desuso*. [Tesis de grado, Instituto Tecnológico de Buenos Aires]. <http://ri.itba.edu.ar/handle/123456789/507>

CAPÍTULO VII. ANEXOS

Anexo A. Matriz de consistencia

Tesis: Influencia de las geoceldas de neumáticos reciclados en la capacidad de soporte del afirmado para base, Chota, 2021

Tesista: Rosmel Yover Chávez Mejía

| Formulación del problema | Objetivos | Hipótesis | Variables | Dimensiones | Indicadores | Metodología | | | |
|--|--|--|--------------------------------------|------------------------------|---|---|---------------------------------|----------------|-------------------------------------|
| ¿Cómo influyen las geoceldas de neumáticos reciclados en la capacidad de soporte del afirmado para base, caso de estudio: cantera Cangana? | Objetivo general | H1: Las geoceldas de neumáticos reciclados influyen en la capacidad de soporte del afirmado para base, caso de estudio: cantera Cangana. | VI | Geoceldas de forma romboidal | Dimensiones | Enfoque: cuantitativo | | | |
| | Objetivos específicos – Determinar las características físico mecánicas del suelo natural de la cantera Cangana, Chota. – Describir las características de los tipos de geoceldas romboidal y circular elaborados con los neumáticos reciclados. Determinar la capacidad de soporte in situ de los prototipos de afirmado de la cantera Cangana, confinado con geoceldas de forma romboidal y circular, para su uso como base granular. – Comparar técnica y económica el uso de afirmado sin y con confinamiento por geoceldas, para su uso como base granular. | | | | Espesor | | Tipo de investigación: aplicada | | |
| | | | | | Forma | | | Dimensiones | Nivel de investigación: descriptivo |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | Forma | | | Humedad | |
| | | | Propiedades físicas del suelo | Granulometría | Población: suelo de la cantera La Cangana | | | | |
| | | | | VD | | LL | | | |
| | | | | | | Capacidad de soporte del afirmado para base | | LP | |
| | | | Propiedades mecánicas en laboratorio | | | | | IP | |
| | | | | | | Propiedades mecánicas in situ | | Pe y absorción | |
| | | | Costo económico | EA | | | | | |
| | Resistencia al desgaste | | | Equipos y/o herramientas | | | | | |
| | DMS | | | | | | | | |
| | OCH | | | | | | | | |
| | CBR de laboratorio | | | | | | | | |
| CBR in situ | | | | | | | | | |
| Densidad de campo | | | | | | | | | |
| Mano de obra | | | | | | | | | |
| Materiales | | | | | | | | | |

Anexo B. Panel fotográfico

B.1 Ensayos de laboratorio

B.1.1 Extracción de muestra de afirmado.

Fotografía 1. El tesista extrayendo la muestra de afirmado para ensayos de laboratorio



Fotografía 2. El tesista extrayendo la muestra de afirmado para ensayos de laboratorio



B.1.2 Ensayo de Granulometría.

Fotografía 3. Muestra de afirmado y tamices para ensayo de granulometría



Fotografía 4. El tesista realizando el ensayo de granulometría



Fotografía 5. Peso retenido en el tamiz 1 1/2”



Fotografía 6. Peso retenido en el tamiz 1/2”



Fotografía 7. El tesista realizando el pesaje retenido para el ensayo de granulometría



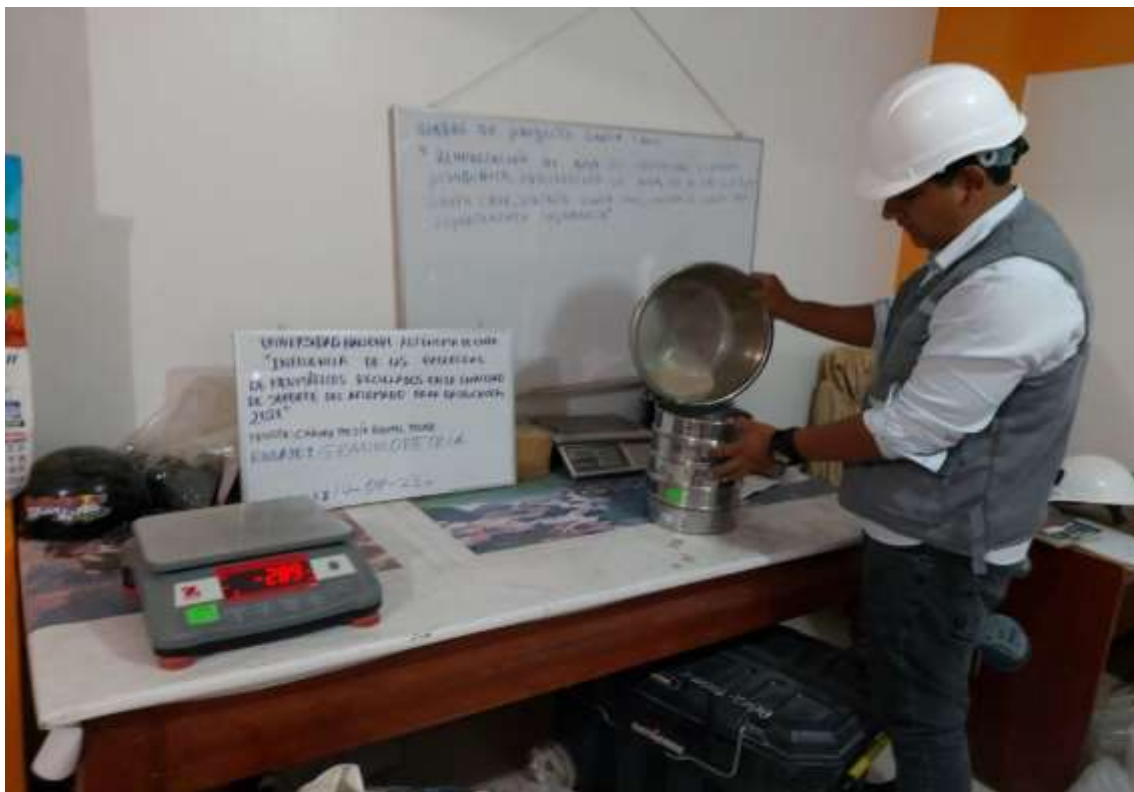
Fotografía 8. Peso que pasa por el tamiz N° 04



Fotografía 9. Lavado de muestra para análisis granulométrico de la fracción fina.



Fotografía 10. Análisis granulométrico de la fracción fina.



Nota: Después de secado en la estufa se pasó por los tamices No. 10, No. 40, No. 100 y No. 200.

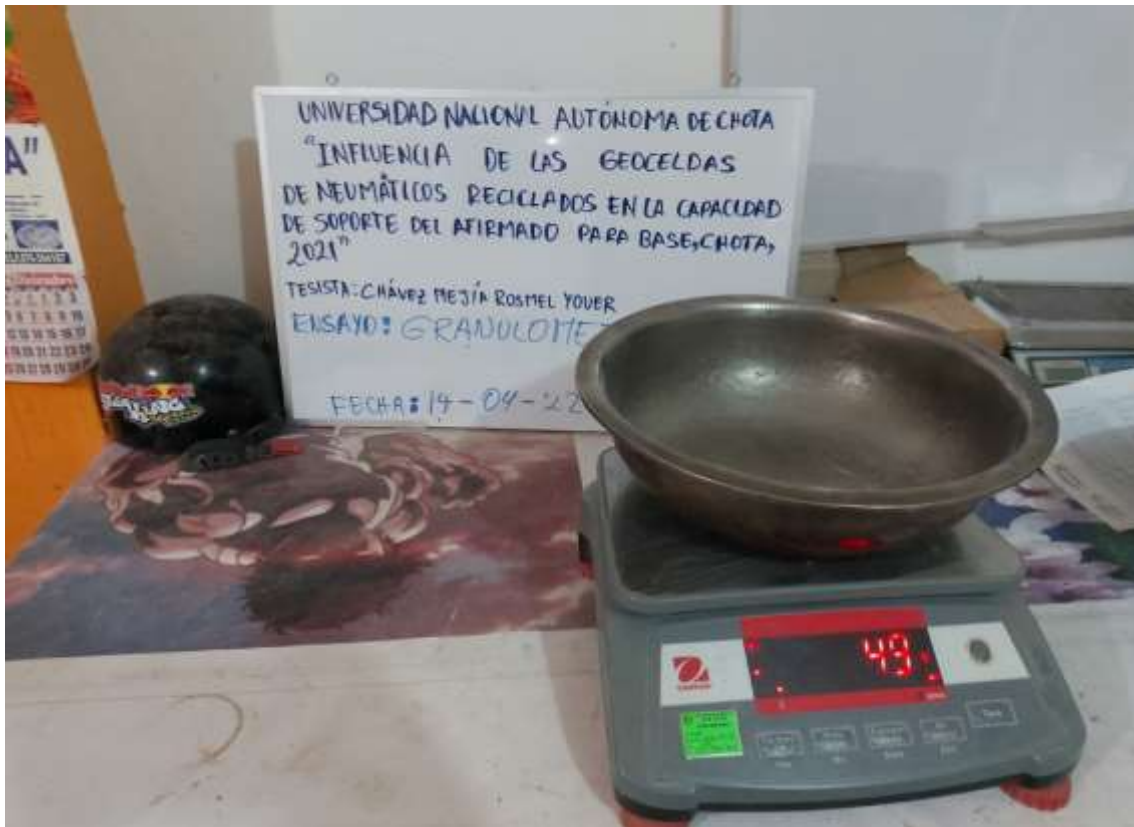
Fotografía 11. El tesista realizando el tamizaje de la fracción fina



Fotografía 12. Peso retenido en el tamiz No. 10



Fotografía 13. Peso retenido en el tamiz No. 100



Nota: Después de secado en la estufa se pasó por los tamices No. 10, No. 40, No. 100 y No. 200.

B.1.3 Ensayo de Límite Líquido

Fotografía 14. Ensayo de límite líquido - Copa de Casagrande



Nota: Se observa los equipos y herramientas a utilizar, tales como la Copa de Casagrande, ranurador, espátula, balanza y taras.

Fotografía 15. Ensayo de límite líquido.



Fotografía 16. El tesista realizando el ensayo de límite líquido.



Nota: La muestra húmeda se coloca en una copa de bronce llamada Copa de Casagrande

Fotografía 17. El tesista realizando el enraza de la muestra



Nota: Con una espátula se enraza hasta que quede la superficie lo más lisa posible.

Fotografía 18. Muestra en la Copa de Casagrande

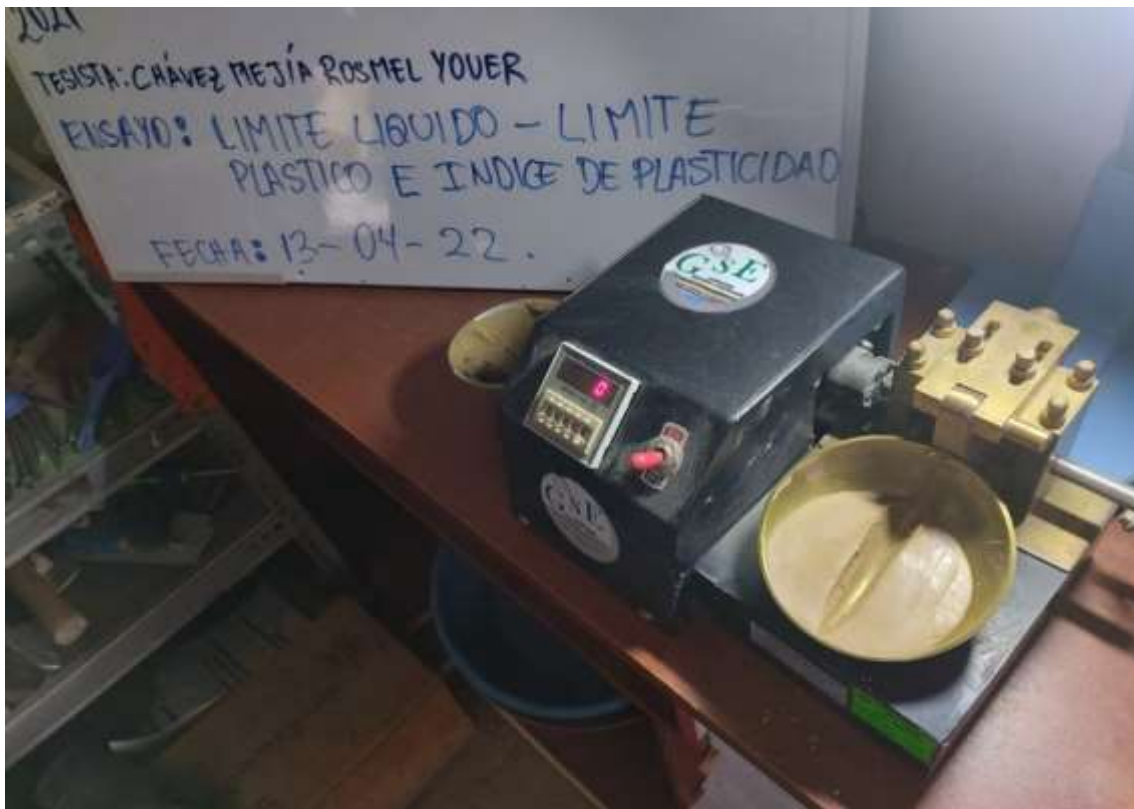


Fotografía 19. Muestra en la Copa de Casagrande



Nota: Con un ranurador se divide la muestra en dos partes

Fotografía 20. Muestra dividida por el ranurador



Fotografía 21. Inicio de giro de manivela



Nota: Se procede a girar la manivela de la copa y se registra el número de golpes necesario para que la ranura se cierre en una longitud de $\frac{1}{2}$ pulgada.

Fotografía 22. Muestra cerrada en la Copa de Casagrande



Nota: El conteo se hizo aparte a causa de que el contador analógico de la Copa de Casagrande estaba descompuesto.

Fotografía 23. El tesista extrayendo la muestra No. 02



Nota: Con la espátula corte el suelo de la zona de cierre de la ranura y coloque la muestra en un recipiente de masa conocida

Fotografía 24. Peso de tara 07 + muestra húmeda, primera muestra

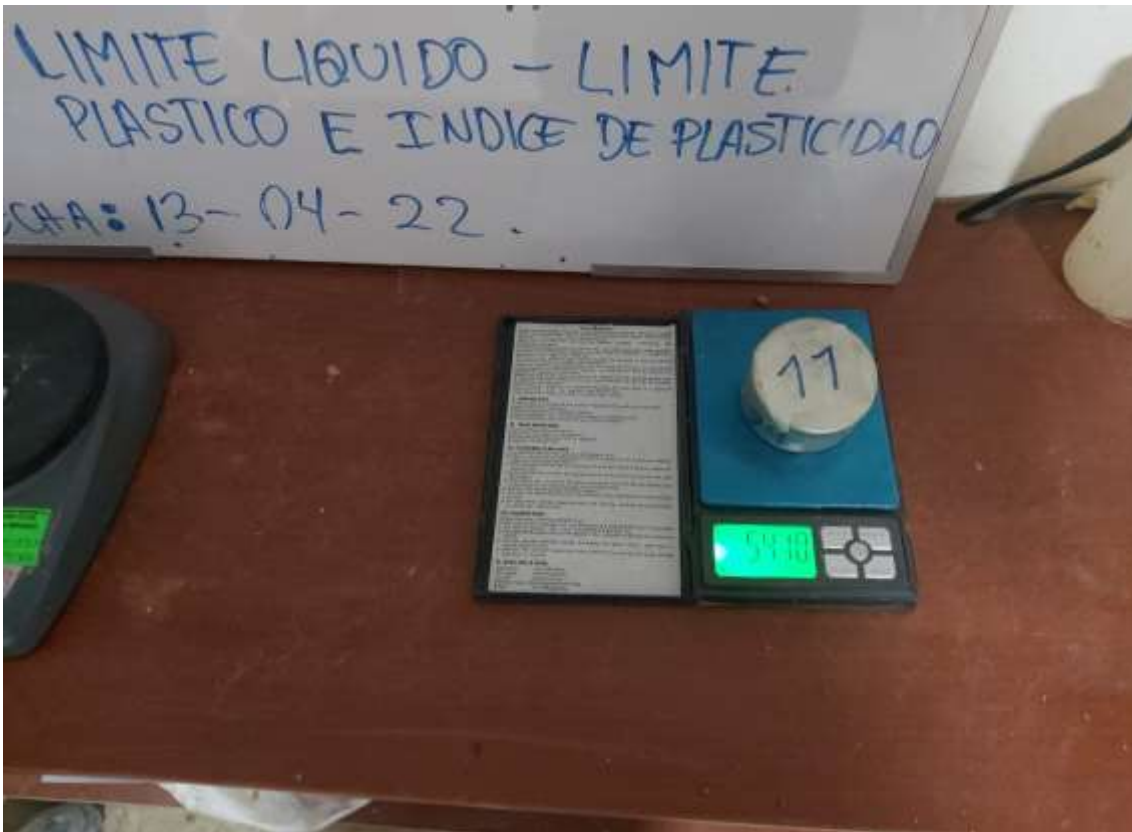


Nota: Pesar y llevar las muestras de cada ensayo al horno para la determinar el contenido de humedad correspondiente

Fotografía 25. Peso de tara 08 + muestra húmeda, Segunda muestra



Fotografía 26. Peso de tara 11 + muestra húmeda, tercera muestra

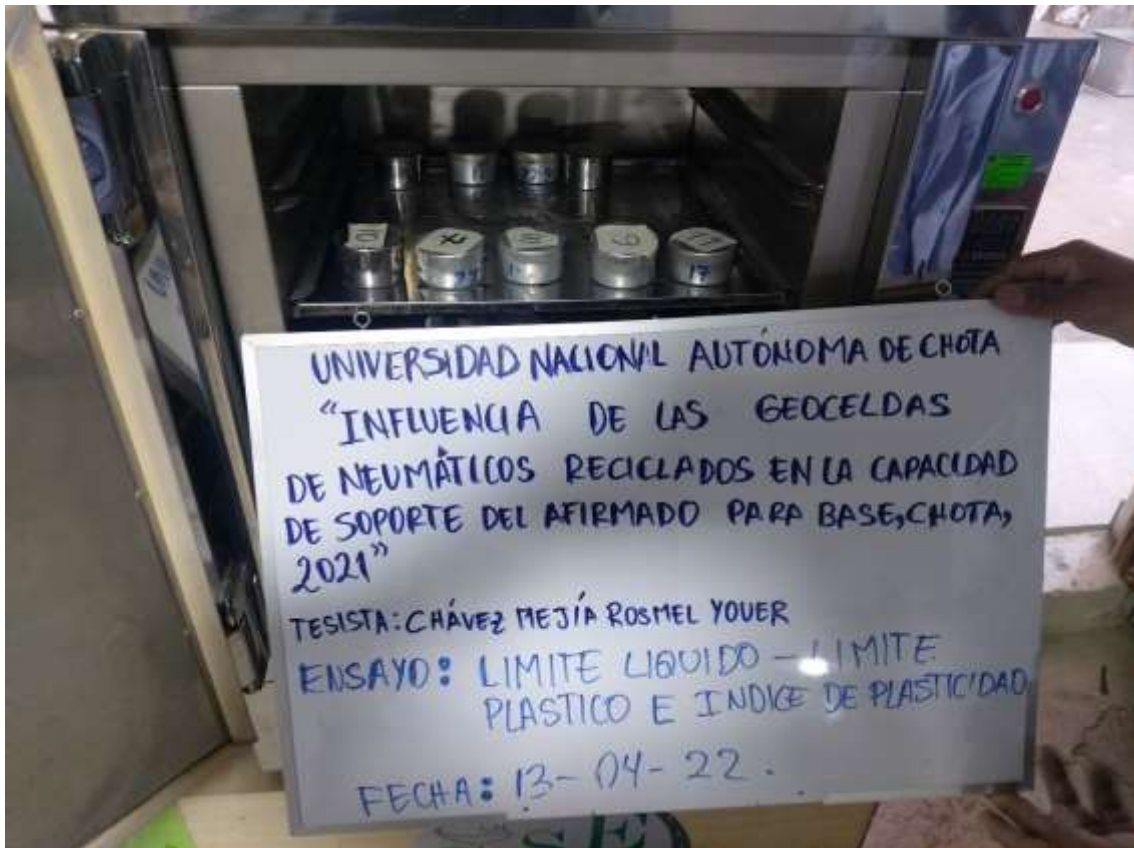


Fotografía 27. Peso de las taras 08, 07, 11 + muestra



Nota: Muestras pesadas para llevar al horno y determinar el contenido de humedad correspondiente

Fotografía 28. Muestra de las taras 08, 07, 11 en el horno



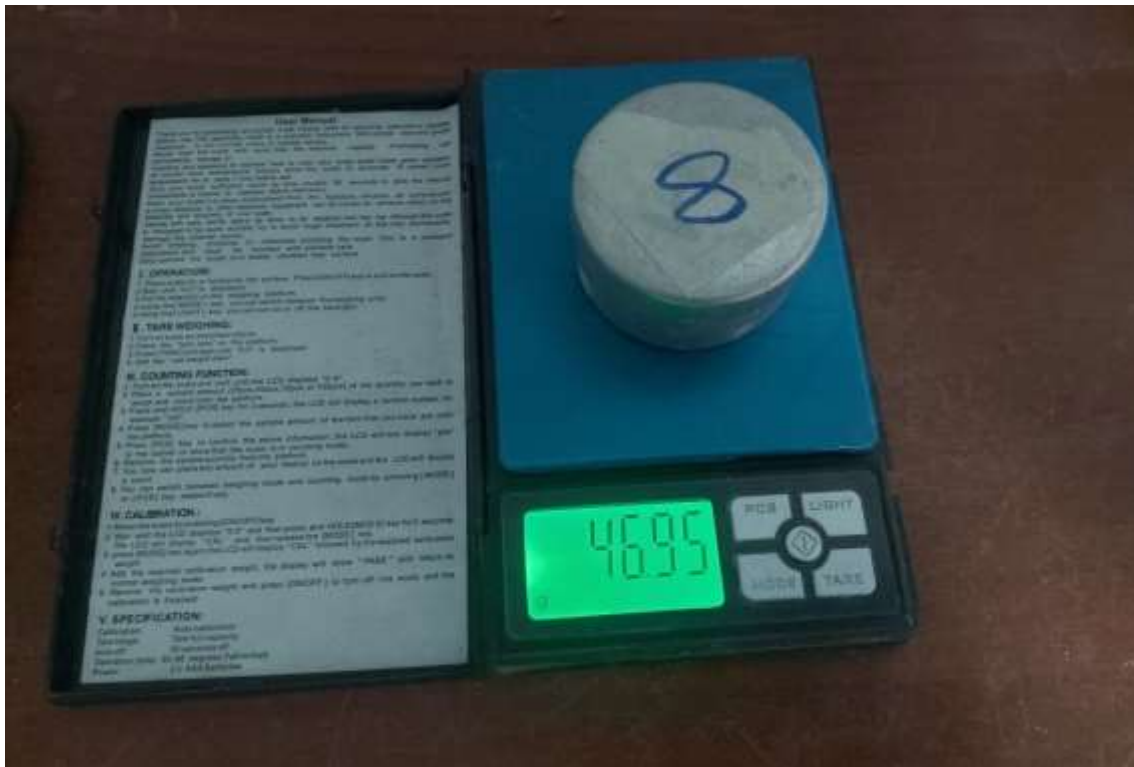
Nota: La muestra se seca al ambiente o al horno a temperatura no mayor de 60°C

Fotografía 29. Muestra seca la tara 07



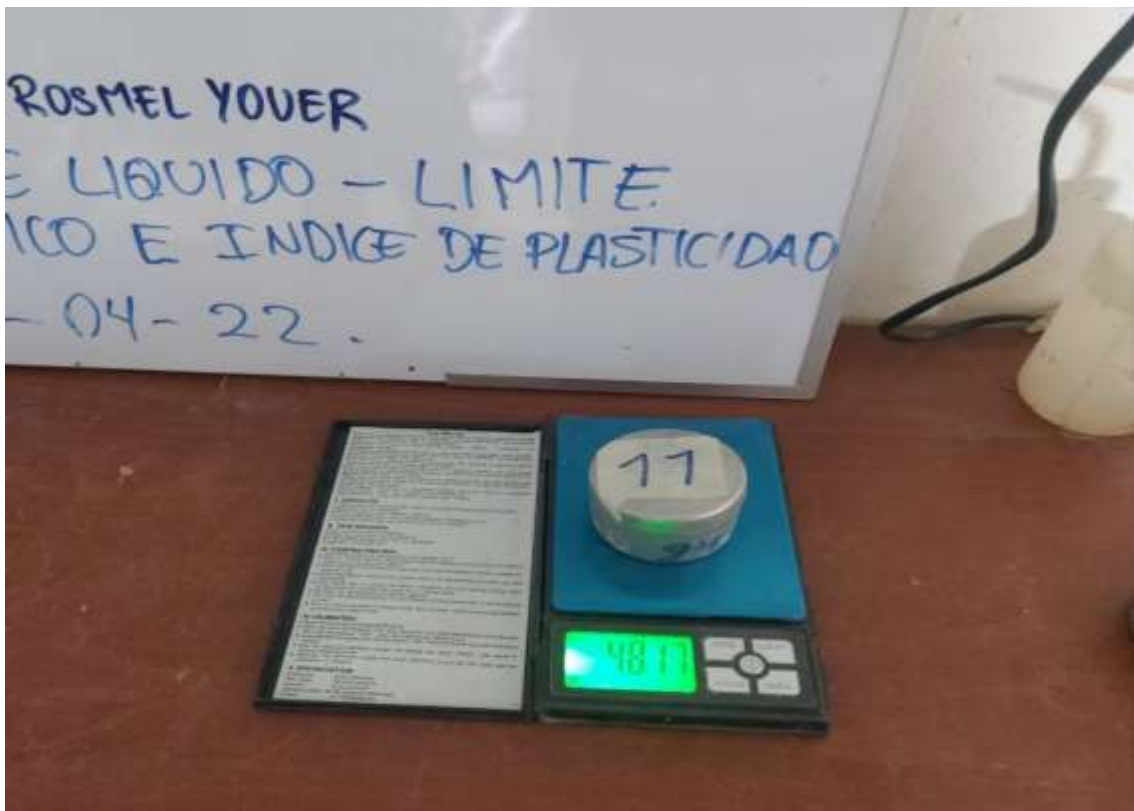
Nota: Se pesa la muestra seca y se procede a calcular el contenido de humedad.

Fotografía 30. Muestra seca de la tara 08



Nota: Se pesa la muestra seca y se procede a calcular el contenido de humedad.

Fotografía 31. Muestra seca de la tara 11



Nota: Se pesa la muestra seca y se procede a calcular el contenido de humedad.

B.1.4 Ensayo Límite Plástico

Fotografía 32. El tesista realizando el ensayo de límite líquido



Nota: Ruede la masa de suelo entre los dedos y la placa de vidrio de vidrio y darle forma de cilindro con diámetro uniforme de 3.2mm. en un tiempo máximo de 2 minutos

Fotografía 33. Rollos agrietados



Nota: Una vez que se empieza agrietar el rollito de 3.2 mm. se coloca en un recipiente de masa conocida y se tapa para conservar la humedad

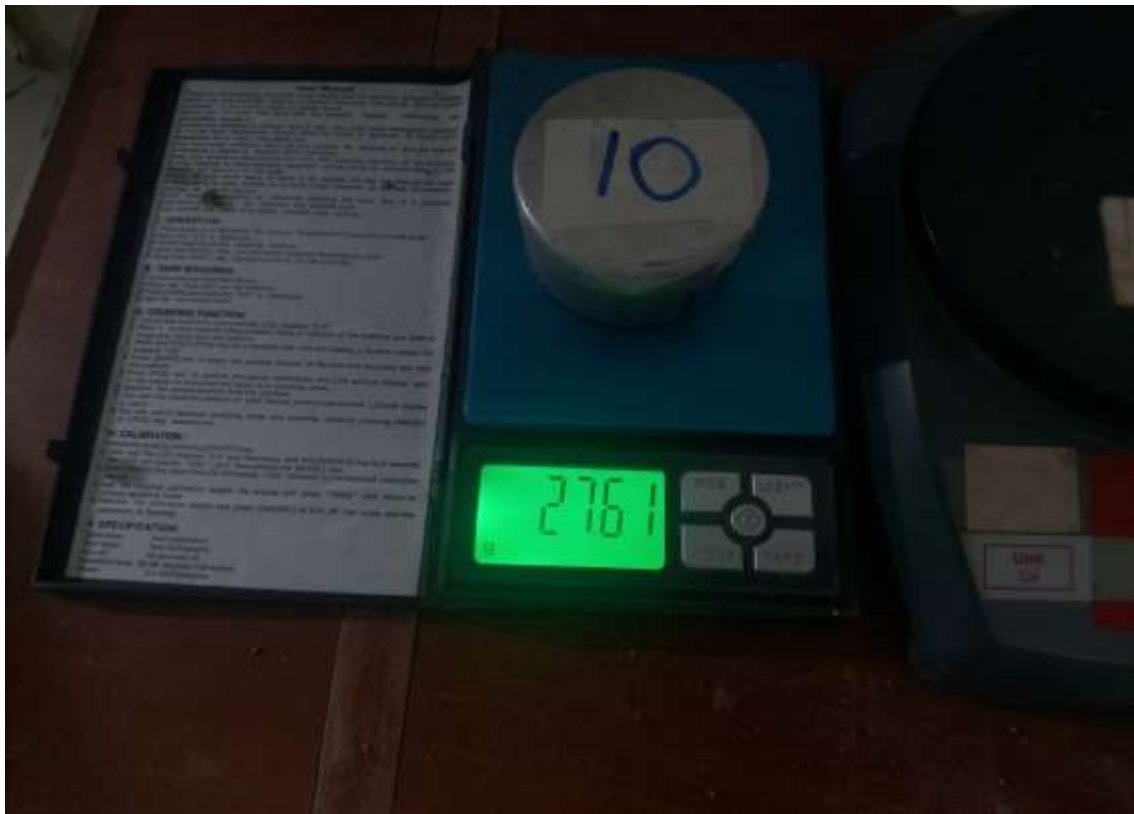
Fotografía 34. El tesista extrayendo la muestra para límite plástico



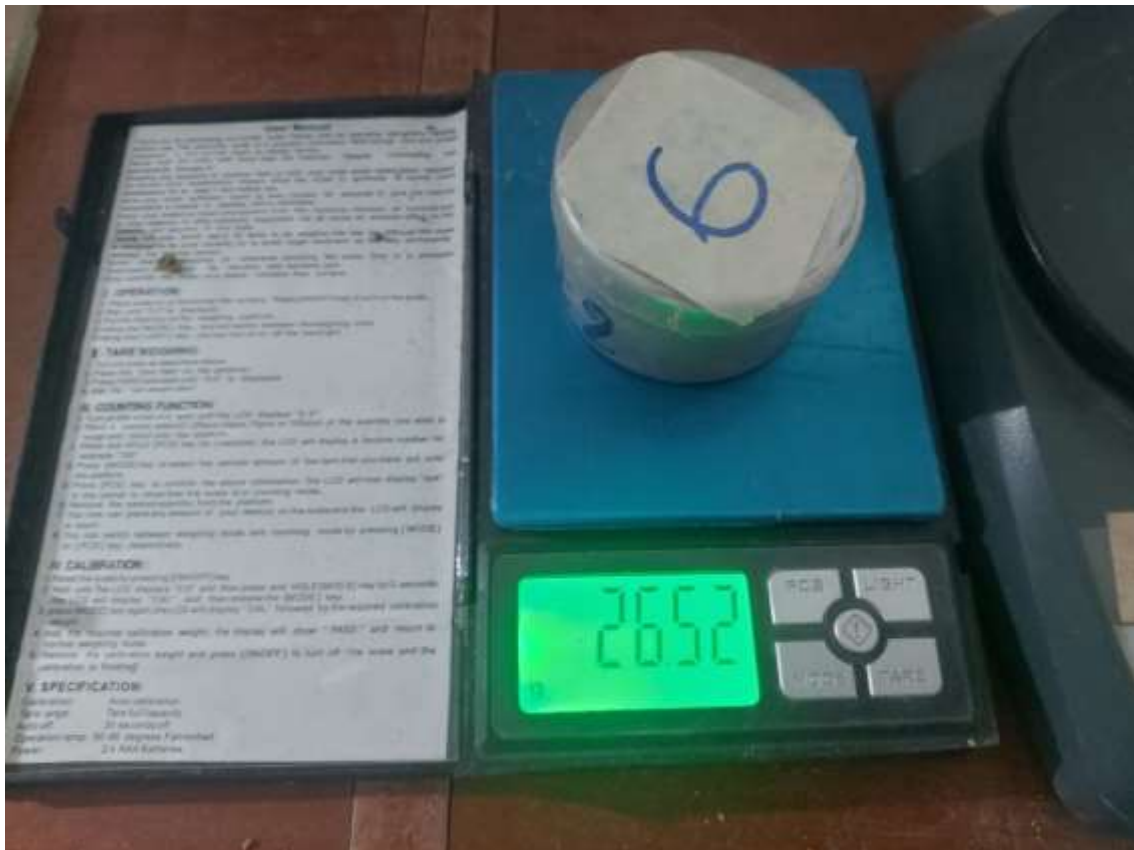
Fotografía 35. El tesista extrayendo la muestra para límite plástico



Fotografía 36. Peso de recipiente + muestra húmeda No. 10



Fotografía 37. Peso de recipiente + muestra húmeda No. 6



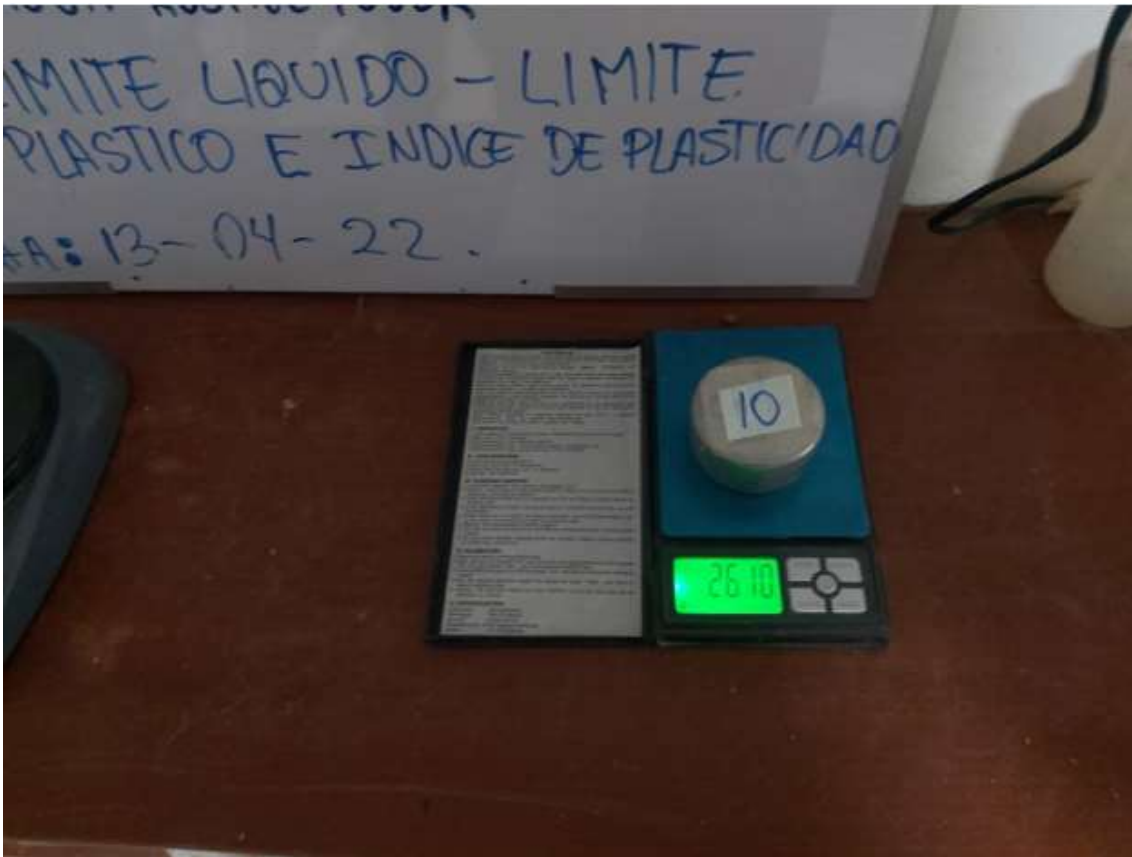
Fotografía 38. Muestra ranurada húmeda



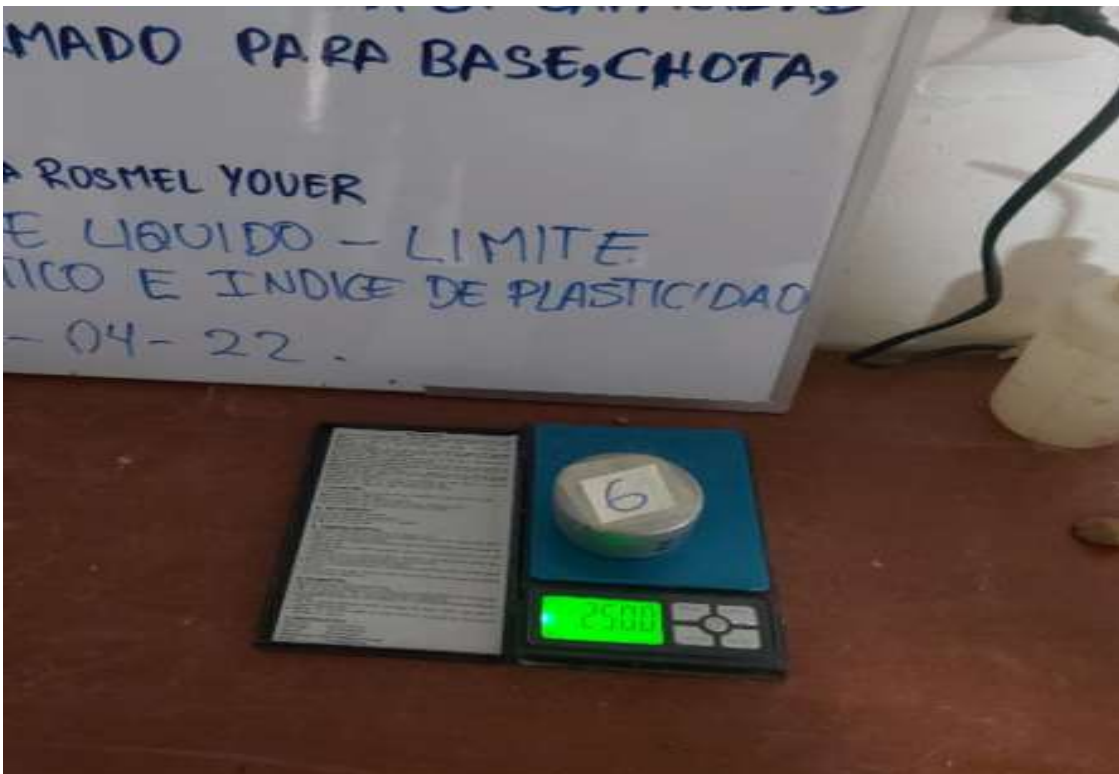
Fotografía 39. Muestras húmedas en el horno para ser secadas



Fotografía 40. Peso de la muestra seca recipiente No. 10



Fotografía 41. Peso de la muestra seca recipiente No. 6



B.1.5 Ensayo de Proctor modificado

Fotografía 42. Cuarteo de muestra



Nota: Muestra húmeda y cuarteada por adiciones de agua y mezcla.

Fotografía 43. Compactación



Nota: Primera capa de material para proceder a dar los primeros 56 golpes

Fotografía 44. Compactación



Nota: Compactar el espécimen en cinco capas. Después de la compactación, cada capa deberá tener aproximadamente el mismo espesor

Fotografía 45. Compactación



Fotografía 46. Compactación



Fotografía 47. Enrase de muestra



Nota: Después de la compactación de la última capa, remover el collar y plato base del molde y enrasar cuidadosamente el espécimen compactado

Fotografía 48. Peso volumétrico húmedo molde 01



Nota: Determine y registre la masa del espécimen y molde con aproximación al gramo

Fotografía 49. Peso volumétrico húmedo molde 03



Nota: Determine y registre la masa del espécimen y molde con aproximación al gramo

B.1.6 Ensayo de CBR (California Bearing Ratio) – Laboratorio

Fotografía 50. Elaboración de especímenes



Nota: Se determina la humedad óptima y la densidad máxima por medio del ensayo de compactación (Proctor) y se procede a compactar, la prueba se efectúa dando 56, 25 y 10 golpes

Fotografía 51. Elaboración de especímenes



Nota: Terminada la compactación, se quita el collar y se enrasa el espécimen por medio de un enrasador o cuchillo de hoja resistente y bien recta

Fotografía 52. Desmontaje de especímenes

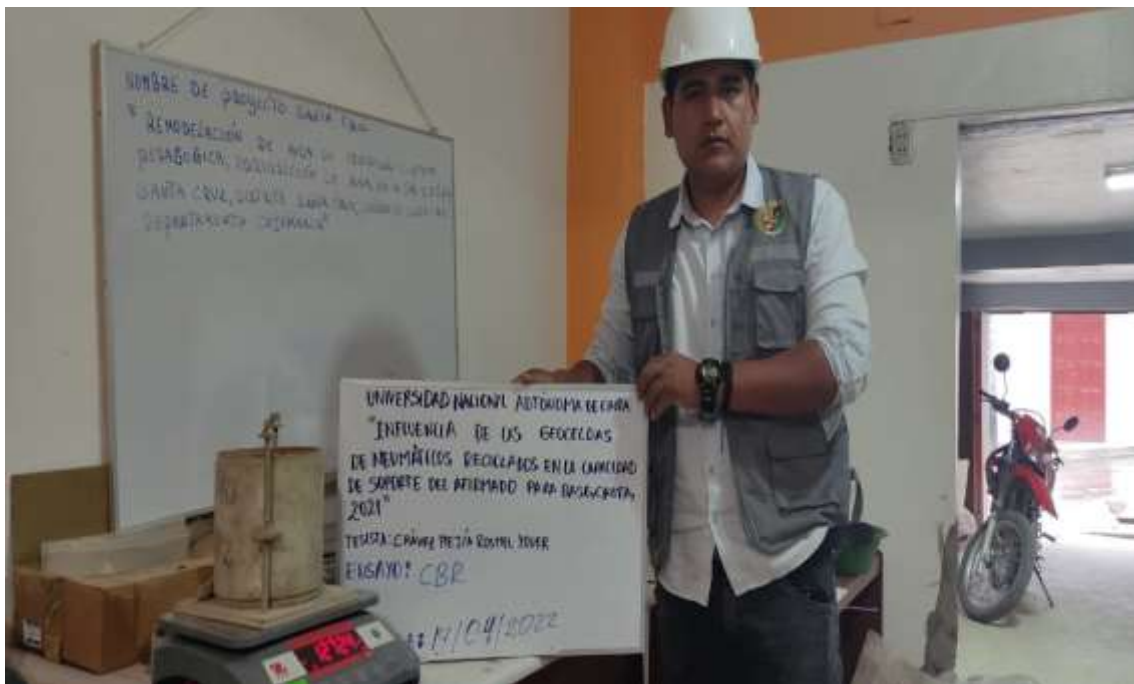


Nota: Se desmonta el molde y se vuelve a montar invertido, sin disco espaciador, colocando un papel filtro entre el molde y la base. Se pesa

Fotografía 53. Peso de espécimen No. 03



Fotografía 54. El tesista pesando el espécimen No. 03



Fotografía 55. El tesista realizando el pesaje de los especímenes



Fotografía 56. Inmersión ensayo CBR



Nota: Se toma la primera lectura para medir el hinchamiento colocando el trípode de medida con sus patas sobre los bordes del molde.

Fotografía 57. Inmersión ensayo CBR



Nota: Se sumergen los moldes en agua

Fotografía 58. Penetración ensayo CBR



Fotografía 59. inmersión ensayo CBR



Nota: Colocar el trípode de medida sobre el borde del molde, coincidiendo el vástago del micro comparador y tomar las medidas diarias durante 4 días

Fotografía 60. Penetración ensayo CBR



Fotografía 61. Penetración ensayo CBR



Nota: Aplicar la carga sobre el pistón de penetración mediante la prensa CBR y tomar las lecturas de la curva presión penetración

B.2 Elaboración de geoceldas

B.2.1 Recolección de neumáticos

Fotografía 62. Recolección de neumáticos desechos



Fotografía 63. Recolección de neumáticos desechos



Fotografía 64. Recolección de neumáticos desechos



Fotografía 65. Acopio de neumáticos desechos



Fotografía 66. Acopio de neumáticos desechos



Fotografía 67. Acopio de neumáticos desechos



Fotografía 68. Obtención de fajas de neumáticos reciclados



Nota: Se corto la partes superior e inferior del neumático solo dejando la parte central (faja)

Fotografía 69. Fajas de neumáticos reciclados



B.2.2 Geoceldas circulares

Fotografía 70. Confección de geoceldas



Nota: Se perforo una fila de 3 hoyos de $\frac{1}{4}$ " cada 0.30 m

Fotografía 71. Confección de geoceldas



Nota: Unión de geoceldas con pernos y tuercas de $\frac{1}{4}$ "

Fotografía 72. Geoceldas circulares



B.2.3 Geoceldas Romboidales

Fotografía 73. Confección de geoceldas romboidales



Nota: Perforar una fila de 3 hoyos separados a 5cm entre si con taladro y broca de 1/4" cada 10 cm por una longitud de 2.90 m

Fotografía 74. Unión de fajas para geoceldas romboidales



Nota: Unir una faja sobre la otra y unir con pernos y tuercas de 1/4"

Fotografía 75. Unión de fajas para geoceldas romboidales



Nota: Unir una faja sobre la otra y unir con pernos y tuercas de ¼"

Fotografía 76. Unión de fajas para geoceldas romboidales



Fotografía 77. Formación de espacios romboidales para geocelda



Nota: Se forman rombos de 10 cm de lado unidos entre sí, los cuales generan las geoceldas

Fotografía 78. Geoceldas romboidales



B.2.4 Prototipos para geoceldas en campo

Fotografía 79. Trazo para prototipos en campo



Nota: Se trazo un rectángulo de 2.10 de ancho por 12.50 m de largo

Fotografía 80. Excavación para prototipos



Nota: Se excavo una profundidad de 20 cm

Fotografía 81. Excavación para prototipos



Fotografía 82. Nivelación de subrasante



Fotografía 83. Nivelación de subrasante



Fotografía 84. Compactación de subrasante



Fotografía 85. Compactación de subrasante



Fotografía 86. Compactación de subrasante



Fotografía 87. Instalación de geoceldas circulares



Fotografía 88. Instalación de geoceldas circulares



Nota: Se instala sobre la subrasante una al lado de otra con separación de 10 cm

Fotografía 89. Instalación de geoceldas romboidales



Nota: Se utilizo aceros corrugados de 3/8" en los extremos para extender la geoceldas romboidales

Fotografía 90. Instalación de geoceldas romboidales



Fotografía 91. Instalación de geoceldas romboidales



Fotografía 92. Descarga de afirmado para prototipos de campo



Nota: Se traslado una cantidad de 6 m³ de afirmado de la cantera la Cangana.

Fotografía 93. Descarga de afirmado para prototipos de campo



Fotografía 94. Afirmando de la cantera la Cangana para prototipos de campo



Fotografía 95. Colocación de afirmado en geoceldas romboidales



Nota: Se colocó el afirmado dentro de los espacios romboidales y se procede a compactar

Fotografía 96. Colocación de afirmado en geoceldas romboidales



Fotografía 97. Compactación de base de prototipo con geoceldas romboidales



Fotografía 98. Compactación de base de prototipo con geoceldas romboidales



Fotografía 99. Vista de las geoceldas romboidales con el afirmado



Fotografía 100. Colocación de afirmado en las geoceldas circulares



Fotografía 101. Colocación de afirmado en las geoceldas circulares



Fotografía 102. Compactación de la base con geoceladas circulares



Fotografía 103. Compactación de la base con geoceladas circulares



Fotografía 104. Compactación de la base con rodillo vibratorio



Fotografía 105. Compactación de la base con rodillo vibratorio



Fotografía 106. Compactación de la base con rodillo vibratorio



Fotografía 107. Compactación de la base con rodillo vibratorio



Fotografía 108. Base compactada



Nota: Base compactada lista para realizar los ensayos in si tu

B.3 Ensayos In Situ

B.3.1 Contenido de humedad en suelos método del carburo de calcio (Speedy)

Fotografía 109. Muestra



Nota: Preparar el material para obtener el contenido de humedad

Fotografía 110. Base compactada



Nota: Se adicionan cuidadosamente dos cucharadas de carburo de calcio

Fotografía 111. Base compactada



Nota: Poner dos pulverizadores de bolas de acero junto con la muestra

Fotografía 112. Base compactada



Nota: Cerrar perfectamente y mezclar

Fotografía 113. Agitado de muestra



Fotografía 114. Lectura de contenido de humedad



B.3.2 Densidad del suelo in situ mediante el método del cono de arena

B.3.2.1 Densidad del suelo in situ geoceldas circulares

Fotografía 115. Perforación (cavado con cincel)



Nota: Excavar una profundidad de 12 a 15 cm y extraer todo el material suelto

Fotografía 116. Extracción de material suelto del agujero



Fotografía 117. Peso de material extraído



Fotografía 118. Peso de cono de arena



Nota: Determinar el peso del cono de arena más la arena de Ottawa

Fotografía 119. Peso retenido en el tamiz $\frac{3}{4}$ "



Nota: Del material extraído se tamiza y se anota el peso retenido en el tamiz $\frac{3}{4}$ "

Fotografía 120. Peso de material retenido en el tamiz $\frac{3}{4}$ "



Fotografía 121. Vertido de arena de Ottawa geocelda circular 01



Nota: Se vierte la arena de Ottawa en el hoyo y se calcula el peso del recipiente con la arena restante

Fotografía 122. El tesista vertiendo a arena de Ottawa en el prototipo de a geocelda 02



Nota: Verter la arena dentro del hoyo excavado

Fotografía 123. El tesista vertiendo a arena de Ottawa en el prototipo de a geocelda 03



Fotografía 124. Peso de arena sobrante



Nota: Verter la arena dentro del hoyo excavado y pesar la arena sobrante

B.3.2.2 Densidad del suelo in situ geoceldas romboidales

Fotografía 125. Perforación (cavado con cincel)



Nota: Perforación de agujero con cincel geocelda romboidal 01

Fotografía 126. Perforación (cavado con cincel)



Nota: Perforación de agujero con cincel geocelda romboidal 02

Fotografía 127. Extracción de material suelto



Fotografía 128. Peso de cono de arena y arena de Ottawa



Nota: Pesar el envase con la arena y verter en el agujero

Fotografía 129. Peso de material extraído y vertido de arena de Ottawa



Nota: Se vierte la arena en el agujero hasta llenar por completo - geocelda romboidal 02

Fotografía 130. Peso de material extraído y vertido de arena de Ottawa



Nota: Se vierte la arena en el agujero hasta llenar por completo - geocelda romboidal 03

Fotografía 131. Peso retenido en el tamiz 3/4"



Nota: se pesa el material extraído y el material retenido en el tamiz 3/4" – geocelda romboidal 01

Fotografía 132. Peso retenido en el tamiz 3/4"



Nota: Se pesa el material extraído y el material retenido en el tamiz 3/4" – geocelda romboidal 01

Fotografía 133. Peso retenido en el tamiz $\frac{3}{4}$ "



B.3.3 CBR in situ

B.3.3.1 CBR in situ – Geoceldas circulares

Fotografía 134. Instalación de equipos



Fotografía 135. Ensayo CBR in situ geocelda circular 01



Nota: Se prepara la superficie que va a ser ensayada, retirando el material suelto y superficial que no sea representativo del suelo que se va a ensayar. Se sitúa el vehículo en tal forma que el centro del sistema de reacción quede directamente sobre la superficie por ensayar.

Fotografía 136. Aplicación de la carga al pistón de penetración



Nota: Se aplica la carga al pistón de penetración de tal manera que la velocidad aproximada de penetración sea de 1.3 mm (0.05") por minuto

Fotografía 137. Registro de lecturas de anillo de carga



Nota: Se deben registrar las lecturas del anillo de carga para cada 0.64 mm (0.025") de incremento de penetración hasta una profundidad final de 12.70 mm (0.500").

Fotografía 1. Ensayo CBR in situ geocelda circular 02



Fotografía 138. Adición de pesos de sobrecarga



Fotografía 139. Aplicación de la carga al pistón de penetración



Fotografía 140. Registro de lecturas de anillo de carga



Fotografía 141. Ensayo CBR in situ geocelda circular 03



Fotografía 142. Aplicación de la carga al pistón de penetración



Fotografía 143. Registro de lecturas de anillo de carga



B.3.3.2 CBR in situ – Geoceldas Romboidales

Fotografía 144. Instalación de equipo CBR in situ geocelda romboidal 01



Fotografía 145. Aplicación de la carga al pistón de penetración



Fotografía 146. Aplicación de la carga al pistón de penetración



Fotografía 147. Registro de lecturas de anillo de carga



Fotografía 148. Instalación del equipo de CBR in situ geocelda romboidal 02



Fotografía 149. Aplicación de la carga al pistón de penetración



Fotografía 150. Registro de lecturas de anillo de carga



Fotografía 151. Registro de lecturas de anillo de carga



Fotografía 152. Instalación del equipo de CBR in situ geocelda romboidal 03



Fotografía 153. Aplicación de la carga al pistón de penetración



Fotografía 154. Registro de lecturas de anillo de carga



Fotografía 155. Registro de lecturas de anillo de carga



Anexo C. Costo unitario

Para el análisis económico la única variable que cambia, en el proceso constructivo de la base granular, es la cantidad y costo de los materiales, es decir la aplicación de la geocelda, por tanto, se ha estimado el costo de la misma, en base al proceso realizado para su fabricación por parte del tesista:

- Para las geoceldas romboidales se han recolectado neumáticos desechos (63) para los tres prototipos. Se ha cortado la parte superior e inferior solo dejando la parte central. Se ha perforado una fila de 3 hoyos separados a 5 cm entre si con taladro y broca de $\frac{1}{4}$ " cada 10 cm por una longitud de 2.90 m. Finalmente, se ha unido las fajas de neumáticos con pernos de $D=\frac{1}{4}$ " y $L=2$ " y tuercas de $\frac{1}{4}$ " en cada hoyo.
- Para las geoceldas circulares se han recolectado neumáticos desechos (102) para los tres prototipos. Se ha cortado la parte superior e inferior solo dejando la parte central. Se ha perforado una fila de 3 hoyos separados a 5 cm entre sí en los lados que, intersecan con las otras geoceldas circulares, y se han unido las franjas una con otra en forma de círculos haciendo una forma de 8. Finalmente, se ha fijado entre sí con pernos de $D=\frac{1}{4}$ " y $L=2$ " y tuercas de $\frac{1}{4}$ " en cada unión.

Siendo así, las geoceldas romboidales tienen un costo de 178.49 soles, mientras que, las geoceldas circulares tienen un costo de 128.78 soles.

Costo Estimado para la Producción de Geoceldas Romboidales

| Rendimiento | m2/día | 10 | | EQ | 10 |
|-------------------------------|--------|-----------|----------|------------|----------------|
| Descripción del recurso | Unidad | Cuadrilla | Cantidad | Precio S/. | Parcial S/. |
| Mano de obra | | | | | |
| Operario | hh | 1 | 0.8 | 20.19 | 16.152 |
| Peón | hh | 1 | 0.8 | 14.91 | 11.928 |
| | | | | | 28.080 |
| Materiales | | | | | |
| Neumáticos reciclados | Und | | 63 | 0.50 | 31.500 |
| Pernos de 2" | Und | | 864 | 0.10 | 86.400 |
| Tuercas 1/4" | Und | | 864 | 0.036 | 31.104 |
| | | | | | 149.004 |
| Equipos | | | | | |
| Herramientas manuales | %mo | | 5 | 28.08 | 1.404 |
| | | | | | 1.404 |
| Costo unitario directo | | | | | 178.49 |

Nota: para la elaboración de 10 m2 de geoceldas romboidales se ha utilizado 63 neumáticos, y cada 10 cm se ha colocado pernos y tuercas.

Costo Estimado para la Producción de Geoceldas Circulares

| Rendimiento | m2/día | 10 | | EQ | 10 |
|-------------------------------|--------|-----------|----------|------------|---------------|
| Descripción del recurso | Unidad | Cuadrilla | Cantidad | Precio S/. | Parcial S/. |
| Mano de obra | | | | | |
| Operario | hh | 1 | 0.8 | 20.19 | 16.152 |
| Peón | hh | 1 | 0.8 | 14.91 | 11.928 |
| | | | | | 28.080 |
| Materiales | | | | | |
| Neumáticos reciclados | Und | | 102 | 0.50 | 51.000 |
| Pernos de 2" | Und | | 355.11 | 0.10 | 35.511 |
| Tuercas 1/4" | Und | | 355.11 | 0.036 | 12.784 |
| | | | | | 99.295 |
| Equipos | | | | | |
| Herramientas manuales | %mo | | 5 | 28.08 | 1.404 |
| | | | | | 1.404 |
| Costo unitario directo | | | | | 128.78 |

Nota: para la elaboración de 10 m2 de geoceldas romboidales se ha utilizado 102 neumáticos, y cada 15 cm se ha colocado pernos y tuercas.

Se ha realizado el cálculo del costo unitario de 1 m³ de aplicación de base granular con y sin geoceldas, determinando que, el costo por m³ es 154.46 soles para el suelo sin geoceldas, 278.63 soles para el suelo con geoceldas circulares, y 328.42 soles para el suelo con geoceldas romboidales.

Se ha considerado la variación del suelo por la presencia de las geoceldas para el cálculo de aplicación:

El peso específico del suelo de la cantera Cangana es 2.625 g/cm³, por tanto, para 1 m³ se necesita 2625 kg de suelo, sin embargo, cuando se utilizan geoceldas, estas ocupan espacio dentro del volumen. Las geoceldas romboidales, tienen altura de 0.20 m, espesor de 0.01 m, diámetro de 0.10 m y 36 celdas, dando 0.072 m³ para 4 m², pero, para 1 m³ considerando altura de 20 cm, ocupan un volumen de 0.018 m³; así mismo, las geoceldas circulares, de altura 0.20 m, espesor de 0.01 m, diámetro de 0.15 m y 25 celdas, da 0.072 m³ para 4 m², por tanto, para 1 m³ considerando altura de 20 cm, ocupan un volumen de 0.019 m³; siendo así, el suelo para 1 m³ sería 2578 kg y 2576 kg respectivamente, cuando se utilizan geoceldas romboidales y circulares.

Sin geoceldas se ha considerado que el suelo necesario en volumen es 1 m³.

Cantidad de Material para la Base Granular con Geoceldas

| Cantidad de material | Geoceldas romboidales | Geoceldas circulares |
|--|--------------------------|-------------------------|
| Volumen que ocupan geoceldas de 2 m x 2 m (Altura 0.20 m, espesor 0.01 m, diámetro 0.1 m romboidales 36 celdas, 0.15 m circulares 25 celdas) | 0.0072 | 0.0075 |
| Volumen para 1 m ³ (tramo de 5 x 1 x 0.2 m) | 0.018 | 0.019 |
| Volumen de suelo | 0.982 | 0.981 |
| Suelo (kg) | 2578 | 2576 |

Costo de Aplicación de Base granular sin Geoceldas

| Rendimiento | m3/día | 30 | | EQ | 30 |
|-------------------------------------|--------|-----------|----------|------------|---------------|
| Descripción del recurso | Unidad | Cuadrilla | Cantidad | Precio S/. | Parcial S/. |
| Mano de obra | | | | | |
| Capataz | hh | 0.01 | 0.0027 | 20.19 | 0.001 |
| Oficial | hh | 0.25 | 0.0667 | 20.19 | 0.337 |
| Operario de equipo pesado | hh | 1 | 0.2667 | 20.19 | 5.384 |
| Peón | hh | 4 | 1.0667 | 14.91 | 63.616 |
| | | | | | 69.337 |
| Materiales | | | | | |
| Geocelda | m2 | | 0.00 | 128.78 | 0.000 |
| Suelo de afirmado | m3 | | 1.00 | 80.00 | 80.000 |
| Petróleo Diesel #2 | gal | | 0.14 | 10.84 | 1.496 |
| | | | | | 81.496 |
| Equipos | | | | | |
| Herramientas manuales | %mo | | 5 | 69.34 | 3.467 |
| Compactador vibratorio tipo plancha | hm | 2 | 0.5333 | 26.12 | 0.139 |
| Rodillo liso vibratorio | hm | 1 | 0.2667 | 6.17 | 0.016 |
| | | | | | 3.623 |
| Costo unitario directo | | | | | 154.46 |

Costo de Aplicación de Base granular con Geoceldas Circulares

| Rendimiento | m3/día | 60 | | EQ | 60 |
|-------------------------------------|--------|-----------|----------|------------|----------------|
| Descripción del recurso | Unidad | Cuadrilla | Cantidad | Precio S/. | Parcial S/. |
| Mano de obra | | | | | |
| Capataz | hh | 0.01 | 0.0013 | 20.19 | 0.000 |
| Oficial | hh | 0.25 | 0.0333 | 20.19 | 0.168 |
| Operario de equipo pesado | hh | 1 | 0.1333 | 20.19 | 2.692 |
| Peón | hh | 4 | 1.0667 | 14.91 | 63.616 |
| | | | | | 66.477 |
| Materiales | | | | | |
| Geocelda | m2 | | 1.00 | 128.78 | 128.779 |
| Suelo de afirmado | m3 | | 0.981 | 80.00 | 78.480 |
| Petróleo Diesel #2 | gal | | 0.14 | 10.84 | 1.496 |
| | | | | | 208.755 |
| Equipos | | | | | |
| Herramientas manuales | %mo | | 5 | 66.48 | 3.324 |
| Compactador vibratorio tipo plancha | hm | 2 | 0.2667 | 26.12 | 0.070 |
| Rodillo liso vibratorio | hm | 1 | 0.1333 | 6.17 | 0.008 |
| | | | | | 3.402 |
| Costo unitario directo | | | | | 278.63 |

Costo de Aplicación de Base granular con Geoceldas Romboidales

| Rendimiento | m3/día | 50 | | EQ | 50 |
|-------------------------------------|--------|-----------|----------|------------|----------------|
| Descripción del recurso | Unidad | Cuadrilla | Cantidad | Precio S/. | Parcial S/. |
| Mano de obra | | | | | |
| Capataz | hh | 0.01 | 0.0013 | 20.19 | 0.000 |
| Oficial | hh | 0.25 | 0.0333 | 20.19 | 0.168 |
| Operario de equipo pesado | hh | 1 | 0.1333 | 20.19 | 2.692 |
| Peón | hh | 4 | 1.0667 | 14.91 | 63.616 |
| | | | | | 66.477 |
| Materiales | | | | | |
| Geocelda | m2 | | 1.00 | 178.49 | 178.488 |
| Suelo de afirmado | m3 | | 0.982 | 80.00 | 78.560 |
| Petróleo Diesel #2 | gal | | 0.14 | 10.84 | 1.496 |
| | | | | | 258.544 |
| Equipos | | | | | |
| Herramientas manuales | %mo | | 5 | 66.48 | 3.324 |
| Compactador vibratorio tipo plancha | hm | 2 | 0.2667 | 26.12 | 0.070 |
| Rodillo liso vibratorio | hm | 1 | 0.1333 | 6.17 | 0.008 |
| | | | | | 3.402 |
| Costo unitario directo | | | | | 328.42 |

Costo de Concreto f'c 280 kg/cm2 para vaciado de losa de pavimento rígido

| Rendimiento | m3/día | 180 | | EQ | 180 |
|-------------------------------|--------|-----------|----------|------------|----------------|
| Descripción del recurso | Unidad | Cuadrilla | Cantidad | Precio S/. | Parcial S/. |
| Mano de obra | | | | | |
| Capataz | hh | 0.1 | 0.0044 | 20.19 | 0.009 |
| Oficial | hh | 1 | 0.2667 | 20.19 | 5.384 |
| Operario | hh | 3 | 0.8000 | 20.19 | 48.456 |
| Peón | hh | 6 | 1.6000 | 14.91 | 143.136 |
| | | | | | 196.985 |
| Materiales | | | | | |
| Lubricantes, grasas y filtros | %eq | | 5.00 | 6.91 | 34.550 |
| Cemento portland tipo I | bol | | 9.00 | 25.82 | 232.380 |
| Arena | m3 | | 0.50 | 80.00 | 40.000 |
| Piedra chancada | m3 | | 0.75 | 80.00 | 60.000 |
| Agua puesta en obra | m3 | | 0.18 | 49.72 | 8.950 |
| Aditivo curador | gal | | 0.19 | 13.33 | 2.533 |
| | | | | | 378.412 |
| Equipos | | | | | |
| Herramientas manuales | %mo | | 5 | 196.98 | 9.849 |
| Vibrador de concreto | hm | 1 | 0.0444 | 5.52 | 0.002 |
| Mezcladora de concreto | hm | 1 | 0.0444 | 10.04 | 0.004 |
| | | | | | 9.856 |
| Costo unitario directo | | | | | 585.25 |

No obstante, al momento de utilizar la base granular con o sin geoceldas la cantidad de materiales cambia, considerando que, se necesita 40 cm de altura de afirmado cuando no se utilizan geoceldas pero solo 20 cm cuando se utilizan geoceldas, siendo así, si se considera una carretera de 5 m de ancho, y 100 m de largo, cuando no se utilicen geoceldas se requerirá un volumen de $5 \times 100 \times 0.40 = 200 \text{ m}^3$, en cambio, cuando se utilizan geoceldas se requerirá un volumen de $5 \times 100 \times 0.20 = 100 \text{ m}^3$, que al multiplicar por el costo unitario de instalación da un costo total de 30,891.11 soles sin geoceldas, 27,863.33 soles con geoceldas circulares y 32,842.21 con geoceldas romboidales, por tanto económicamente, se ha demostrado que, el uso de geoceldas es viable, aún más, si se utilizan las geoceldas circulares siendo estas las que, tienen mayor beneficio económico. Además, se debe considerar que, el cálculo estimado se ha realizado solo para la base granular, pero, usar geoceldas también reduce el espesor de la losa, lo que se traduce en menores gastos en el vaciado de concreto

Costo de instalación de Geoceldas en una carretera de 5 x 100 m

| | CBR al 100% | Precio del producto (S/.) | Precio de instalación por m3 (S/.) | Espesor requerido (m) | Costo en carretera de 5 m x 100 m | Porcentaje de ahorro o incremento respecto al suelo sin geoceldas |
|--------------------|-------------------|---------------------------------|--|-----------------------------|---|--|
| Geocelda circular | 100.13 | 128.78 | 278.63 | 0.20 | 27863.33 | -9.80% |
| Geocelda romboidal | 99.53 | 178.49 | 328.42 | 0.20 | 32842.21 | +6.32% |
| Sin geoceldas | 68.3 | 80 | 154.46 | 0.40 | 30891.11 | 0.00% |

Anexo D. Diseño de pavimento rígido



1) METODO AASHTO

DATOS DEL SUELO DE FUNDACION: CBR = **6.00** %

Si CBR <= 10 K = 2.55 + 52.5 LOG (CBR) (Guzmán y Patiño, 2018, p.30)

Si CBR > 10 K = 46 + 9.08 (LOG (CBR))^4.34 (Guzmán y Patiño, 2018, p.30)

K = 43.40 Mpa/m

MODULO DE REACCION DE LA SUBRASANTE (K) = **43.40 Mpa/m**

1.1.- Módulo de Reacción de la Subrasante (K)

Conocido también con el nombre de COEFICIENTE DE BALASTRO, expresa la resistencia del suelo de la subrasante a ser penetrado por efecto de la penetración de las losas.

Del ábaco: RELACION ENTRE EL VALOR DE SOPORTE DE CALIFORNIA C.B.R. Y EL MODULO DE REACCION DE LA SUBRASANTE K, tenemos que para un:

C.B.R. = 6.00 → K = 4.35 kg/cm³

Base sin geoceldas

Por efecto de la Subbase y Base Granular, el Coefeciente de Balastro, sufrirá una variación, la que será determinada en la Tabla siguiente:

| VALOR K (Kg/cm ³) | VALOR DE K DE SUBRASANTE INCREMENTADA | | | |
|----------------------------------|---------------------------------------|-------|-------|-------|
| | 10 cm | 15 cm | 20 cm | 30 cm |
| 1.4 | 1.82 | 2.1 | 2.29 | 3.08 |
| 2.8 | 3.64 | 3.92 | 4.29 | 5.32 |
| 5.6 | 6.16 | 6.47 | 7.20 | 8.96 |
| 8.4 | 8.96 | 9.24 | 9.99 | 12.04 |

Considerando: e = 20 cm

Extrapolando tenemos

| | | | |
|-------------------------|---|---|----------|
| K (kg/cm ³) | e | = | 0.2 |
| 2.80 | | | 4.29 |
| 4.35 | | | K |
| 5.60 | | | 7.2 |

$$K = ((7.2 * (2.8 - 4.35) - 4.29 * (5.6 - 4.35)) / (2.8 - 5.6))$$

$$K = 5.9 \text{ Kg/cm}^3 \longrightarrow 58.86 \text{ Mpa/m}$$

$$K_c = \left[1 + (h/38)^2 \times (k_1/k_0)^{2/3} \right]^{0.5} \times k_0$$

Kc (kg/cm³) = 5.90 ≅ 5.66 NO CUMPLE → 56.00 Mpa/m

| | | |
|---------------------------|--|--------|
| CBR (kg/cm ²) | Capacidad de soporte de la base granular sin geoceldas | 68.30 |
| KI (Mpa/m): | Coeficiente de reacción de la base granular | 172.38 |
| KI (kg/cm ³): | Coeficiente de reacción de la base granular | 17.28 |
| Kc (Mpa/m): | Coeficiente de reacción combinado | 58.86 |
| Kc (kg/cm ³): | Coeficiente de reacción combinado | 5.9 |
| K0 (Mpa/m): | Coeficiente de reacción de la subrasante | 43.40 |
| K0 (kg/cm ³): | Coeficiente de reacción de la subrasante | 4.35 |
| h (cm): | Espesor de la base granular | 20 |

Como no cumple significa que el material de afirmado no tiene suficiente CBR para base granular, pero para objeto del estudio se considerará el valor Kc calculado de 56.50 Mpa/m para el cálculo del espesor del pavimento, simplemente se incrementará el espesor de la base granular considerando una capa de subbase previa, siendo 40 cm, y ya no 20 cm.



Base con geoceldas circulares

| VALOR K (Kg/cm ³) | VALOR DE K DE SUBRASANTE INCREMENTADA | | | |
|----------------------------------|---------------------------------------|-------|-------|-------|
| | 10 cm | 15 cm | 20 cm | 30 cm |
| 1.4 | 1.82 | 2.1 | 2.29 | 3.08 |
| 2.8 | 3.64 | 3.92 | 4.29 | 5.32 |
| 5.6 | 6.16 | 6.47 | 7.2 | 8.96 |
| 8.4 | 8.96 | 9.24 | 9.99 | 12.04 |

Considerando:

Base con geoceldas

$$e = 20 \text{ cm}$$

Interpolando tenemos

$$K(\text{kg/cm}^3) \quad e = 0.20$$

$$2.8 \quad 4.29$$

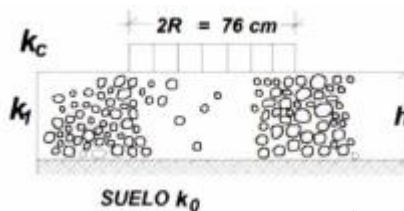
$$4.35 \quad K$$

$$5.6 \quad 7.2$$

$$K = ((7.2 * (2.8 - 4.35) - 4.29 * (5.6 - 4.35)) / (2.8 - 5.6))$$

$$K = 5.9 \text{ Kg/cm}^3$$

$$K = 5.90 \text{ kg/cm}^3 \quad \rightarrow \quad K = 58.86 \text{ Mpa/m}$$



Manual de carreteras. Suelos, geología y geotecnia. Sección Suelos y pavimentos

$$Kc = \left[1 + \left(\frac{h}{38} \right)^2 \times \left(\frac{k_1}{k_0} \right)^{2/3} \right]^{0.5} \times k_0$$

Fuente: (MTC, 2014)

$$Kc (\text{kg/cm}^3) = 5.90 \cong 5.90 \text{ CUMPLE} \rightarrow 59.00 \text{ Mpa/m}$$

| | | |
|---------------------------|--|--------|
| CBR (kg/cm ²) | Capacidad de soporte de la base granular sin geoceldas | 100.13 |
| KI (Mpa/m): | Coeficiente de reacción de la base granular | 230.11 |
| KI (kg/cm ³): | Coeficiente de reacción de la base granular | 23.06 |
| Kc (Mpa/m): | Coeficiente de reacción combinado | 58.86 |
| Kc (kg/cm ³): | Coeficiente de reacción combinado | 5.9 |
| K0 (Mpa/m): | Coeficiente de reacción de la subrasante | 43.40 |
| K0 (kg/cm ³): | Coeficiente de reacción de la subrasante | 4.35 |
| h (cm): | Espesor de la base granular | 20 |



Base con geoceldas romboidales

| VALOR K (Kg/cm ³) | VALOR DE K DE SUBRASANTE INCREMENTADA | | | |
|----------------------------------|---------------------------------------|-------|-------|-------|
| | 10 cm | 15 cm | 20 cm | 30 cm |
| 1.4 | 1.82 | 2.1 | 2.29 | 3.08 |
| 2.8 | 3.64 | 3.92 | 4.29 | 5.32 |
| 5.6 | 6.16 | 6.47 | 7.2 | 8.96 |
| 8.4 | 8.96 | 9.24 | 9.99 | 12.04 |

Considerando:

Base con geoceldas

$$e = 20 \text{ cm}$$

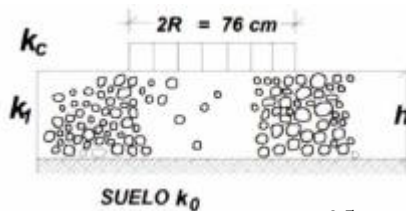
Interpolando tenemos

| | | | |
|-----------------------------|----------|----------|-------------|
| K(kg/cm³) | e | = | 0.20 |
| 2.8 | 4.29 | | |
| 9.99 | K | | |
| 5.6 | 7.2 | | |

$$K = ((7.2 * (2.8 - 9.99) - 4.29 * (5.6 - 9.99)) / (2.8 - 5.6))$$

$$K = 5.9 \text{ Kg/cm}^3$$

$$K = 5.90 \text{ kg/cm}^3 \rightarrow K = 58.86 \text{ Mpa/m}$$



Manual de carreteras. Suelos, geología y geotecnia. Sección Suelos y pavimentos

$$Kc = \left[1 + \left(\frac{h}{38} \right)^2 \times \left(\frac{K1}{k0} \right)^{2/3} \right]^{0.5} \times k0$$

Fuente: (MTC, 2014)

$$Kc \text{ (kg/cm}^3\text{)} = 5.90 \cong 5.90 \text{ CUMPLE} \rightarrow 58.90 \text{ Mpa/m}$$

| | | |
|---------------------------|--|--------|
| CBR (kg/cm ²) | Capacidad de soporte de la base granular sin geoceldas | 99.53 |
| KI (Mpa/m): | Coeficiente de reacción de la base granular | 229.07 |
| KI (kg/cm ³): | Coeficiente de reacción de la base granular | 22.96 |
| Kc (Mpa/m): | Coeficiente de reacción combinado | 58.86 |
| Kc (kg/cm ³): | Coeficiente de reacción combinado | 5.9 |
| K0 (Mpa/m): | Coeficiente de reacción de la subrasante | 43.40 |
| K0 (kg/cm ³): | Coeficiente de reacción de la subrasante | 4.35 |
| h (cm): | Espesor de la base granular | 20 |



Es uno de los metodos mas utilizados y de mayor satisfaccion a nivel internacional para el diseño de pavimentos rígidos. Dado que investigación de la autopista AASHTO en diferentes circuitos.es desarrollado en función a un método experimental, con una profunda

FORMULA GENERAL AASHTO

$$\log_{10} W_{8.2} = Z_R S_o + 7.35 \log_{10}(D + 25.4) - 10.39 + \frac{\log_{10} \left(\frac{\Delta PSI}{4.5 - 1.5} \right) + (4.22 - 0.32 \times P_t) \times \log_{10} \left[\frac{M_r C_d (0.09 D^{0.75} - 1.132)}{1.51 \times J \times \left[0.09 D^{0.75} - \frac{7.38}{(E_c / K)^{0.25}} \right]} \right]}{1 + \frac{1.25 \times 10^7}{(D + 25.4)^{8.46}}}$$

Donde:

- D = Espesor de la losa del pavimento en (mm)
- W8.2 = Tráfico (Número de ESAL's)
- Zr = Desviación Estándar Normal
- So = Error Estándar Combinado de la predicción del Tráfico
- ΔPSI = Diferencia de Serviciabilidad (Po-Pt)
- Po = Serviciabilidad Inicial
- Pt = Serviciabilidad Final
- S'c = Módulo de Rotura del concreto en (psi).
- Cd = Coeficiente de Drenaje
- J = Coeficiente de Transferencia de Carga
- Ec = Módulo de Elasticidad de concreto
- K = Módulo de Reacción de la Sub Rasante en (psi).

1. CÁLCULO DE ESPESORES DE PAVIMENTO PARA BASE GRANULAR SIN GEOCELDAS

| TP | W8.2 | Po | Pt | ΔPSI | Mr (Mpa) | Ec (Mpa) | K (Mpa/m) | J | Cd | R | ZR | So | D (tanteo) | LogW8.2 | Cálculo | Cumple | Losa (m) | Base (m) |
|------|----------|-----|-----|------|----------|----------|-----------|------|------|----|--------|------|------------|---------|---------|--------|----------|----------|
| TP1 | 300000 | 4.1 | 2 | 2.1 | 3.92 | 24820 | 56.00 | 3.20 | 0.80 | 70 | -0.524 | 0.35 | 150.00 | 5.48 | 5.48 | Sí | 0.150 | 0.40 |
| TP2 | 500000 | 4.1 | 2 | 2.1 | 3.92 | 24820 | 56.00 | 3.20 | 0.80 | 75 | -0.674 | 0.35 | 175.00 | 5.70 | 5.77 | Sí | 0.175 | 0.40 |
| TP3 | 750000 | 4.1 | 2 | 2.1 | 3.92 | 24820 | 56.00 | 3.20 | 0.80 | 80 | -0.842 | 0.35 | 200.00 | 5.88 | 6.03 | Sí | 0.200 | 0.40 |
| TP4 | 1000000 | 4.1 | 2 | 2.1 | 3.92 | 24820 | 56.00 | 3.20 | 0.80 | 80 | -0.842 | 0.35 | 200.00 | 6.00 | 6.03 | Sí | 0.200 | 0.40 |
| TP5 | 1500000 | 4.3 | 2.5 | 1.8 | 3.92 | 24820 | 56.00 | 3.20 | 0.80 | 85 | -1.036 | 0.35 | 200.00 | 6.18 | 5.92 | No | 0.250 | 0.40 |
| TP6 | 3000000 | 4.3 | 2.5 | 1.8 | 3.92 | 24820 | 56.00 | 3.20 | 0.80 | 85 | -1.036 | 0.35 | 200.00 | 6.48 | 5.92 | No | 0.250 | 0.40 |
| TP7 | 5000000 | 4.3 | 2.5 | 1.8 | 3.92 | 24820 | 56.00 | 3.20 | 0.80 | 85 | -1.036 | 0.35 | 200.00 | 6.70 | 5.92 | No | 0.300 | 0.40 |
| TP8 | 7500000 | 4.3 | 2.5 | 1.8 | 3.92 | 24820 | 56.00 | 3.20 | 0.80 | 90 | -1.282 | 0.35 | 200.00 | 6.88 | 5.83 | No | 0.300 | 0.40 |
| TP9 | 10000000 | 4.3 | 2.5 | 1.8 | 3.92 | 24820 | 56.00 | 3.20 | 0.80 | 90 | -1.282 | 0.35 | 200.00 | 7.00 | 5.83 | No | 0.350 | 0.40 |
| TP10 | 12500000 | 4.3 | 2.5 | 1.8 | 3.92 | 24820 | 56.00 | 3.20 | 0.80 | 90 | -1.282 | 0.35 | 200.00 | 7.10 | 5.83 | No | 0.350 | 0.40 |

2. CÁLCULO DE ESPESORES DE PAVIMENTO PARA BASE GRANULAR CON GEOCELDAS CIRCULARES

| TP | W8.2 | Po | Pt | ΔPSI | Mr (Mpa) | Ec (Mpa) | K (Mpa/m) | J | Cd | R | ZR | So | D (tanteo) | LogW8.2 | Cálculo | Cumple | Losa (m) | Base (m) |
|------|----------|-----|-----|------|----------|----------|-----------|------|------|----|--------|------|------------|---------|---------|--------|----------|----------|
| TP1 | 300000 | 4.1 | 2 | 2.1 | 3.92 | 24820 | 59.00 | 3.20 | 1.10 | 70 | -0.524 | 0.35 | 120.00 | 5.48 | 5.54 | Sí | 0.120 | 0.20 |
| TP2 | 500000 | 4.1 | 2 | 2.1 | 3.92 | 24820 | 59.00 | 3.20 | 1.10 | 75 | -0.674 | 0.35 | 140.00 | 5.70 | 5.80 | Sí | 0.140 | 0.20 |
| TP3 | 750000 | 4.1 | 2 | 2.1 | 3.92 | 24820 | 59.00 | 3.20 | 1.10 | 80 | -0.842 | 0.35 | 150.00 | 5.88 | 5.88 | Sí | 0.150 | 0.20 |
| TP4 | 1000000 | 4.1 | 2 | 2.1 | 3.92 | 24820 | 59.00 | 3.20 | 1.10 | 80 | -0.842 | 0.35 | 160.00 | 6.00 | 6.02 | Sí | 0.160 | 0.20 |
| TP5 | 1500000 | 4.3 | 2.5 | 1.8 | 3.92 | 24820 | 59.00 | 3.20 | 1.10 | 85 | -1.036 | 0.35 | 185.00 | 6.18 | 6.22 | Sí | 0.185 | 0.20 |
| TP6 | 3000000 | 4.3 | 2.5 | 1.8 | 3.92 | 24820 | 59.00 | 3.20 | 1.10 | 85 | -1.036 | 0.35 | 200.00 | 6.48 | 6.40 | Sí | 0.200 | 0.20 |
| TP7 | 5000000 | 4.3 | 2.5 | 1.8 | 3.92 | 24820 | 59.00 | 3.20 | 1.10 | 85 | -1.036 | 0.35 | 200.00 | 6.70 | 6.40 | No | 0.250 | 0.20 |
| TP8 | 7500000 | 4.3 | 2.5 | 1.8 | 3.92 | 24820 | 59.00 | 3.20 | 1.10 | 90 | -1.282 | 0.35 | 200.00 | 6.88 | 6.32 | No | 0.250 | 0.20 |
| TP9 | 10000000 | 4.3 | 2.5 | 1.8 | 3.92 | 24820 | 59.00 | 3.20 | 1.10 | 90 | -1.282 | 0.35 | 200.00 | 7.00 | 6.32 | No | 0.300 | 0.20 |
| TP10 | 12500000 | 4.3 | 2.5 | 1.8 | 3.92 | 24820 | 59.00 | 3.20 | 1.10 | 90 | -1.282 | 0.35 | 200.00 | 7.10 | 6.32 | No | 0.300 | 0.20 |

3. CÁLCULO DE ESPESORES DE PAVIMENTO PARA BASE GRANULAR CON GEOCELDAS ROMBOIDALES

| TP | W8.2 | Po | Pt | ΔPSI | Mr (Mpa) | Ec (Mpa) | K (Mpa/m) | J | Cd | R | ZR | So | D (tanteo) | LogW8.2 | Cálculo | Cumple | Losa (m) | Base (m) |
|------|----------|-----|-----|------|----------|----------|-----------|------|------|----|--------|------|------------|---------|---------|--------|----------|----------|
| TP1 | 300000 | 4.1 | 2 | 2.1 | 3.92 | 24820 | 58.90 | 3.20 | 1.10 | 70 | -0.524 | 0.35 | 120.00 | 5.48 | 5.54 | Sí | 0.120 | 0.20 |
| TP2 | 500000 | 4.1 | 2 | 2.1 | 3.92 | 24820 | 58.90 | 3.20 | 1.10 | 75 | -0.674 | 0.35 | 140.00 | 5.70 | 5.80 | Sí | 0.140 | 0.20 |
| TP3 | 750000 | 4.1 | 2 | 2.1 | 3.92 | 24820 | 58.90 | 3.20 | 1.10 | 80 | -0.842 | 0.35 | 150.00 | 5.88 | 5.88 | Sí | 0.150 | 0.20 |
| TP4 | 1000000 | 4.1 | 2 | 2.1 | 3.92 | 24820 | 58.90 | 3.20 | 1.10 | 80 | -0.842 | 0.35 | 160.00 | 6.00 | 6.02 | Sí | 0.160 | 0.20 |
| TP5 | 1500000 | 4.3 | 2.5 | 1.8 | 3.92 | 24820 | 58.90 | 3.20 | 1.10 | 85 | -1.036 | 0.35 | 185.00 | 6.18 | 6.22 | Sí | 0.185 | 0.20 |
| TP6 | 3000000 | 4.3 | 2.5 | 1.8 | 3.92 | 24820 | 58.90 | 3.20 | 1.10 | 85 | -1.036 | 0.35 | 200.00 | 6.48 | 6.40 | Sí | 0.200 | 0.20 |
| TP7 | 5000000 | 4.3 | 2.5 | 1.8 | 3.92 | 24820 | 58.90 | 3.20 | 1.10 | 85 | -1.036 | 0.35 | 200.00 | 6.70 | 6.40 | No | 0.250 | 0.20 |
| TP8 | 7500000 | 4.3 | 2.5 | 1.8 | 3.92 | 24820 | 58.90 | 3.20 | 1.10 | 90 | -1.282 | 0.35 | 200.00 | 6.88 | 6.32 | No | 0.250 | 0.20 |
| TP9 | 10000000 | 4.3 | 2.5 | 1.8 | 3.92 | 24820 | 58.90 | 3.20 | 1.10 | 90 | -1.282 | 0.35 | 200.00 | 7.00 | 6.32 | No | 0.300 | 0.20 |
| TP10 | 12500000 | 4.3 | 2.5 | 1.8 | 3.92 | 24820 | 58.90 | 3.20 | 1.10 | 90 | -1.282 | 0.35 | 200.00 | 7.10 | 6.32 | No | 0.300 | 0.20 |

DATOS PARA EL DISEÑO DE ESPESORES DEL PAVIMENTO RÍGIDO

1. Periodo de diseño PERIODO DE DISEÑO n= 20 años

| TIPO DE CARRETERA | PERIODO DE DISEÑO |
|---|-------------------|
| Urbana con altos volúmenes de tránsito | 30 - 50 años |
| Interurbana con altos volúmenes de tránsito | 20 - 50 años |
| Pavimentada con bajos volúmenes de tránsito | 15 - 25 años |
| Revestidas con bajos volúmenes de tránsito | 10 - 20 años |

2. Tránsito ESALS 1000000.00 EE

3. Serviciabilidad

Según MTC (2014)

Pi= 4.10 Seviabilidad inicial
Pt = 2.00 seviabilidad final

| INDICE DE SERVICIABILIDAD INICIAL |
|------------------------------------|
| Po = 4.5 para pavimentos rígidos |
| Po = 4.2 para pavimentos flexibles |

| INDICE DE SERVICIABILIDAD FINAL |
|---|
| Pt = 2.5 o más para caminos muy importantes |
| Pt = 2.0 para caminos de tránsito menor |

$\Delta PSI = P_o - P_t =$ 2.10

4. La confiabilidad "R" y la desviación estándar (So)

DETERMINACION DE LA CONFIABILIDAD Y DESVIACION ESTÁNDAR

4.1) CONFIABILIDAD

| TIPO DE CARRETERA | NIVELES DE CONFIABILIDAD R | |
|-----------------------------|----------------------------|-----------|
| | Urbanas | Rurales |
| Interestatales y autopistas | 85 - 99.9 | 80 - 99.9 |
| Arterias principales | 80 - 99 | 75 - 99 |
| Colectoras | 80 - 95 | 75 - 95 |
| Locales | 50 - 80 | 50 - 80 |

R = 80

4.2) DESVIACION ESTANDAR NORMAL

| DESVIACION ESTANDAR NORMAL , VALORES QUE A LOS NIVELES SELECCIONADOS DE | |
|---|--------|
| CONFIABILIDAD R (%) | (ZR) |
| 50 | 0.000 |
| 60 | -0.253 |
| 70 | -0.524 |
| 75 | -0.674 |
| 80 | -0.841 |
| 85 | -1.036 |
| 90 | -1.282 |
| 91 | -1.340 |
| 92 | -1.405 |
| 93 | -1.476 |
| 94 | -1.555 |
| 95 | -1.645 |
| 96 | -1.751 |
| 97 | -1.881 |
| 98 | -2.054 |
| 99 | -2.327 |
| 99.9 | -3.090 |
| 99.99 | -3.750 |

Zr = -0.841

4.3) ERROR ESTANDAR COMBINADO So

| TIPO | (So) |
|------|--------|
|------|--------|

DATOS PARA EL DISEÑO DE ESPESORES DEL PAVIMENTO RÍGIDO

| | |
|--------------------|-------------|
| Pavimentos Rígidos | 0.30 - 0.40 |
| Construcción Nueva | 0.35 |
| En Sobre Capas | 0.40 |
| So = | 0.35 |

5. Módulo de ruptura (MR)

5.1) MODULO DE ELASTICIDAD DEL CONCRETO

Concreto $f_c =$ **280.00** kg/cm²
 $E_c = 57000 (f_c)^{0.5}$
 $E_c =$ 3597088.02 psi = 24819.9 Mpa

5.2) MODULO DE ROTURA DEL CONCRETO

Concreto $f_c =$ **280.00** kg/cm²
 $S'_c = a(f_c)^{0.5}$
 $S'_c =$ 568.0 psi = 3.92 Mpa

6. Drenaje (Cd)

| CALIDAD DEL DRENAJE | TIEMPO QUE TARDA EL AGUA EN SER EVACUADA |
|---------------------|--|
| Exelente | 2 horas |
| Bueno | 1 día |
| Mediano | 1 semana |
| Malo | 1 mes |
| Muy malo | el agua no evacua |

| Calidad del drenaje | Porcentaje del tiempo en que la estructura del pavimento esta expuesta a niveles de humedad proximos a la saturación | | | |
|---------------------|--|-------------|-------------|-------------|
| | Menos de 1% | 1 % - 5 % | 5 % - 25 % | más del 25% |
| Exelente | 1.25 - 1.20 | 1.20 - 1.15 | 1.15 - 1.10 | 1.10 |
| Bueno | 1.20 - 1.15 | 1.15 - 1.10 | 1.10 - 1.00 | 1.00 |
| Mediano | 1.15 - 1.10 | 1.10 - 1.00 | 1.00 - 0.90 | 0.90 |
| Malo | 1.10 - 1.00 | 1.00 - 0.90 | 0.90 - 0.80 | 0.80 |
| Muy malo | 1.00 - 0.90 | 0.90 - 0.80 | 0.80 - 0.70 | 0.70 |

Cd = 0.90

7. Coeficiente de transferencia de carga (J)

Valores de coeficiente de transmisión de carga

| Tipo de Pavimento | Hombro | | | |
|-------------------------------------|----------------------------------|-----------|-----------------|-----------|
| | Elemento de transmisión de carga | | | |
| | Con. Asfáltico | | Con. Hidráulico | |
| | SI | NO | SI | NO |
| No reforzado o reforzado con juntas | 3.2 | 3.8 - 4.4 | 2.5 - 3.1 | 3.6 - 4.2 |
| Reforzado continuo | 2.9 - 3.2 | ---- | 2.3 - 2.9 | ---- |

J = 3.20

Anexo E. Resultado de ensayos de laboratorio



GSE LABORATORIO, INGENIERIA Y CONSTRUCCION
"LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS"

CANTERA

CANGANA

 LABORATORIO
INGENIERIA & CONSTRUCCION SAC

Erlin Clavo Rimarachin
LABORATORISTA SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO

 LABORATORIO
INGENIERIA & CONSTRUCCION SAC

Geremias Rimarachin Rimarachin
GERENTE GENERAL

 LABORATORIO
INGENIERIA & CONSTRUCCION SAC

HENRY DAVID CLAVO RIMARACHIN
INGENIERO CIVIL
Reg. COP N° 77267

DIRECCIÓN: Jr. CAJAMARCA N° 792 – 1ER. PISO.
TELF.: 930866995 – 939225167 – CHOTA – CAJAMARCA
RUC: 20605442235 INDECOPI N° 824970 – 2019/OSD



INFORME DE ENSAYO

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO MTC E - 204 - ASTM D 422 - AASHTO T 88

| | |
|---------|------------|
| Código | - |
| Versión | 1 |
| Fecha | 20/04/2018 |
| Página | 1 de 1 |

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS

Obra: "INFLUENCIA DE LAS GEOCELDAS DE NEUMÁTICOS RECICLADOS EN LA CAPACIDAD DE SOPORTE DEL AFIRMADO PARA BASE, CHOTA, 2021."

Solicitante: ROSMEL YOVER CHÁVEZ MEJÍA

Ensayado por: E.C.R

Cantera: LA CANGANA

Revisado por: G.R.R

Material: PARA AFIRMADO

Fecha: 14/04/2022

Muestra: TOMADA DE CANTERA POR EL SOLICITANTE

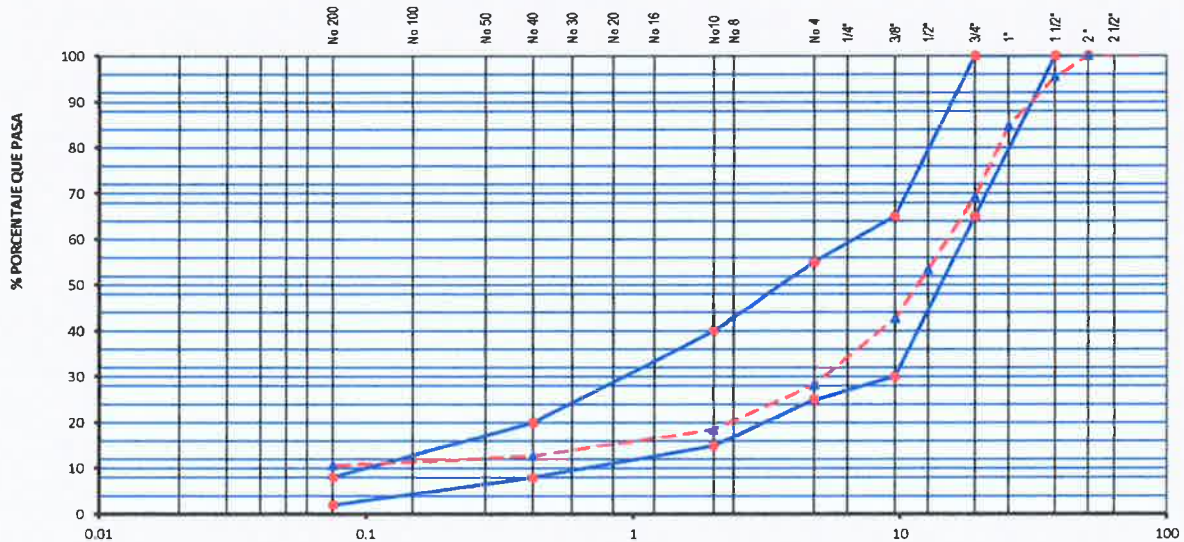
Tamaño Max: 2"

Ubicación: CARRETERA A TACABAMBA

MUESTRA:

| Tamiz ASTM | Abertura (mm.) | Peso Retenido | % Retenido | | % que Pasa | Especificaciones | | Descripción de Muestra |
|---------------|-------------------|------------------|------------|-----------|---------------|--------------------------|-----|--|
| | | | Parcial | Acumulado | | EG-2013 GRADACION A-1 | | |
| 3" | 76.200 | | | | 100.0 | A | | Limite Liquido (LL) : 22.59 (%) |
| 2 1/2" | 63.500 | | | | | | | Limite Plastico (LP) : 17.74 (%) |
| 2" | 50.800 | | | | 100.0 | 100 | 100 | Indice de Plasticidad (IP) : 4.84 (%) |
| 1 1/2" | 38.100 | 1151.0 | 4.5 | 4.5 | 95.5 | 100 | 100 | Grava 3" - N° 4 : 71.8 (%) |
| 1" | 25.400 | 2756.0 | 10.8 | 15.3 | 84.7 | | | Arena N°4 - N° 200 : 17.6 (%) |
| 3/4" | 19.050 | 3954.0 | 15.4 | 30.7 | 69.3 | 65 | 100 | Finos < N° 200 : 10.6 (%) |
| 1/2" | 12.700 | 4089.0 | 16.0 | 46.7 | 53.3 | | | Determinación del Suelo : Suelo Sanguil |
| 3/8" | 9.525 | 2706.0 | 10.6 | 57.3 | 42.7 | 30 | 65 | |
| 1/4" | 6.350 | | | | | | | CLASIFICACION AASHTO : A-1-a(0) |
| No. 4 | 4.760 | 3713.0 | 14.5 | 71.8 | 28.2 | 25 | 55 | CLASIFICACION SUCS : GP-GC-GM |
| No. 8 | 2.360 | | | | | | | Descripción (SUCS) : - Grava pobremente graduada con arcilla, arena y limo |
| No. 10 | 2.000 | 302.0 | 9.7 | 81.5 | 18.5 | 15 | 40 | Peso Inicial (gr) : 25611.0 |
| No. 16 | 1.190 | | | | | | | Peso Fracción (gr) : 880.0 |
| No. 20 | 0.834 | | | | | | | |
| No. 30 | 0.600 | | | | | | | |
| No. 40 | 0.420 | 180.0 | 5.8 | 87.3 | 12.7 | 8 | 20 | |
| No. 50 | 0.300 | | | | | | | |
| No. 60 | 0.250 | | | | | | | |
| No. 80 | 0.177 | | | | | | | |
| No. 100 | 0.149 | 49.0 | 1.6 | 88.9 | 11.1 | | | |
| No. 200 | 0.075 | 16.0 | 0.5 | 89.4 | 10.6 | 2 | 8 | |
| <200 | | 333.0 | 10.6 | 100.0 | | | | |

REPRESENTACION GRAFICA




OBSERVACIONES:

LABORATORIO INGENIERIA & CONSTRUCCION SAC
Erlin Clavo Rimarachin
 LABORATORISTA SUELOS CONCRETO Y ASFALTO

LABORATORIO INGENIERIA & CONSTRUCCION SAC
Ceremias Rimarachin Rimarachin
 GERENTE GENERAL

LABORATORIO INGENIERIA & CONSTRUCCION SAC
HENRY DAVILA CLAVO RIMARACHIN
 INGENIERO CIVIL
 R.G. CIP N° 77267

| | | | |
|---|--|--|--|
|  | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |

HUMEDAD NATURAL

(ASTM D 2216, MTC E 108-2000)

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS

| | | | |
|--------------------|---|----------------------------|----------|
| Obra: | "INFLUENCIA DE LAS GEOCELAS DE NEUMÁTICOS RECILCADOS EN LA CAPACIDAD DE SOPORTE DEL AFIRMADO PARA BASE, CHOTA, 2021." | | |
| Solicitante | ROSMEL YOVER CHÁVEZ MEJÍA | Técnico responsable | E.C.R |
| Cantera: | LA CANGANA | Ing.Responsable: | G.R.R |
| Material: | PARA AFIRMADO | Fecha: | 14/04/22 |
| Muestra: | TOMADA DE CANTERA POR EL SOLICITANTE | | |
| Tamaño Max: | 2" | | |
| Ubicación: | CARRETERA A TACABAMBA | | |

HUMEDAD NATURAL

| | | | | |
|----------------------|--|--------|--|-----------------|
| TARRO | | | | PROMEDIO |
| TARRO + SUELO HUMEDO | | 2234.0 | | |
| TARRO + SUELO SECO | | 2072.0 | | |
| AGUA | | 162.00 | | |
| PESO DEL TARRO | | | | |
| PESO DEL SUELO SECO | | 2072.0 | | |
| CONTENIDO DE HUMEDAD | | 7.82 % | | 7.82 % |


LABORATORIO INGENIERIA & CONSTRUCCION SAC

Erlin Clavo Rimarachin
 LABORATORISTA SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO


LABORATORIO INGENIERIA & CONSTRUCCION SAC

Geremias Rimarachin Rimarachin
 GERENTE GENERAL


LABORATORIO INGENIERIA & CONSTRUCCION SAC

Henry David Clavo Rimarachin
 INGENIERO CIVIL
 Reg. CIP N° 77267



LÍMITE LÍQUIDO - LÍMITE PLÁSTICO E INDICE DE PLASTICIDAD

MTC E 110 - MTC E - 111 - ASTM D 4318 - AASHTO T 90

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS

Obra: "INFLUENCIA DE LAS GEOCELAS DE NEUMÁTICOS RECILCADOS EN LA CAPACIDAD DE SOPORTE DEL AFIRMADO PARA BASE, CHOTA, 2021."

Cantera: LA CANGANA

Material: PARA AFIRMADO

Muestra: TOMADA DE CANTERA POR EL SOLICITANTE

Tamaño Max: 2"

Ubicación: CARRETERA A TACABAMBA

Técnico Responsable: E.C.R

Ing.Responsable: G.R.R

Fecha: 14/04/22

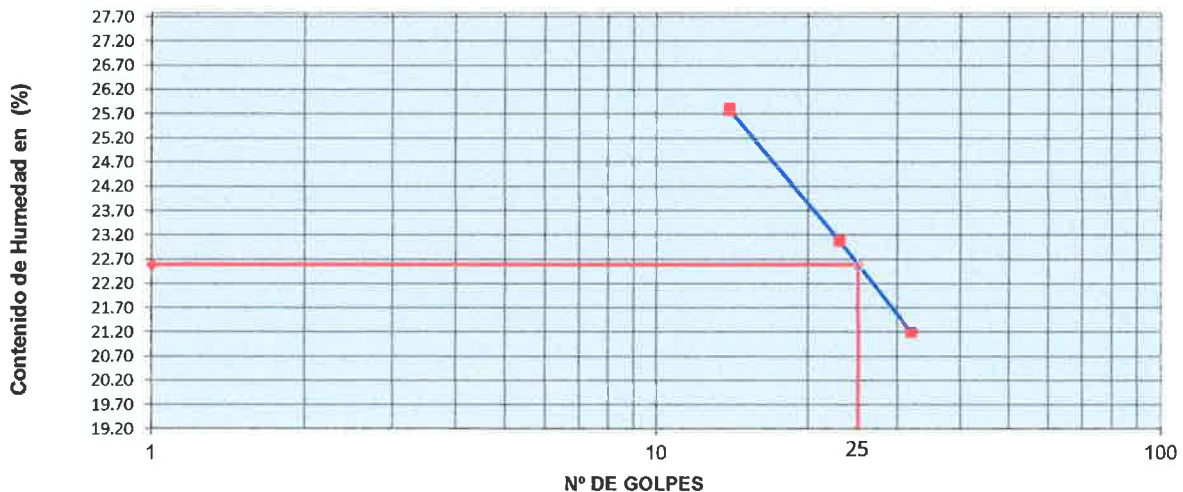
| DESCRIPCION | UNIDAD |
|---|--------|
| Nro. de Recipiente | |
| Peso Recipiente + Suelo Humedo (A) | gr. |
| Peso Recipiente + Suelo Seco (B) | gr. |
| Peso de Recipiente (C) | gr. |
| Peso del Agua (A-B) | gr. |
| Peso del Suelo Seco (B-C) | gr. |
| Contenido Humedad $[W=(A-B)/(B-C)*100]$ | % |
| Nº De Golpes | |

| Material Pasante Tamiz Nº 40 | | | | | |
|------------------------------|-------|-------|-----------------|-------|-------|
| LIMITE LIQUIDO | | | LIMITE PLASTICO | | |
| 7 | 8 | 11 | 10 | 6 | |
| 52.30 | 53.10 | 54.10 | 27.61 | 26.52 | |
| 45.70 | 46.95 | 48.17 | 26.10 | 25.00 | |
| 20.10 | 20.30 | 20.20 | 17.52 | 16.50 | |
| 6.60 | 6.15 | 5.93 | 1.51 | 1.52 | |
| 25.60 | 26.65 | 27.97 | 8.58 | 8.50 | |
| 25.78 | 23.08 | 21.20 | 17.60 | 17.88 | 17.74 |
| 14 | 23 | 32 | | | |

| RESULTADOS OBTENIDOS | LIMITES DE CONSISTENCIA | | INDICE PLASTICO |
|----------------------|-------------------------|----------|-----------------|
| | LIQUIDO | PLASTICO | |
| | | 22.59 | 17.74 |

RELACION HUMEDAD - NUMERO DE GOLPES

Diagrama de Fluidez



OBSERVACIONES :



LABORATORIO
INGENIERIA & CONSTRUCCION SAC
Erlin Clavo Rimarachin
LABORATORISTA SUELOS CONCRETO Y ASFALTO



LABORATORIO
INGENIERIA & CONSTRUCCION SAC
Geremias Rimarachin Rimarachin
GERENTE GENERAL



LABORATORIO
INGENIERIA & CONSTRUCCION SAC
HENRY DAVID CLAVO RIMARACHIN
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP Nº 77267



EQUIVALENTE DE ARENA

MTC E 114 - ASTM D 2419 - AASHTO T 176

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS

Obra: "INFLUENCIA DE LAS GEOCELAS DE NEUMÁTICOS RECILCADOS EN LA CAPACIDAD DE SOPORTE DEL AFIRMADO PARA BASE, CHOTA, 2021."

Tramo : _____

Cantera: LA CANGANA

Material: PARA AFIRMADO

Muestra: TOMADA DE CANTERA POR EL SOLICITANTE

Tamaño Max: 2"

Ubicación: CARRETERA A TACABAMBA

Realizado Por : E.C.R

Ing.Responsible: G.R.R

Fecha: 14/04/22

| ITEM | DESCRIPCION | ENSAYOS | | |
|------|---|-------------|-------------|-------------|
| | | | | |
| 1 | Tamaño Maximo (mm) | 4.76 | 4.76 | 4.76 |
| 2 | Muestra N° | 1 | 2 | 3 |
| 3 | Hora de Entrada | 03:35 | 03:37 | 03:39 |
| 4 | Hora de Salida | 03:45 | 03:47 | 03:49 |
| 5 | Hora de Entrada | 03:47 | 03:49 | 03:51 |
| 6 | Hora de Salida | 04:07 | 04:09 | 04:11 |
| 7 | Altura Maxima de Material Fino (Pulgadas) | 9.30 | 9.20 | 9.20 |
| 8 | Altura Maxima de la Arena (Pulgadas) | 2.40 | 2.32 | 2.30 |
| 9 | Equivalente de Arena (%) | 25.8 | 25.2 | 25.0 |
| 10 | Equivalente de Arena Promedio (%) | 26.0 | | |

OBSERVACIONES :

 LABORATORIO INGENIERÍA & CONSTRUCCIÓN SAC
Erlin Clavo Rimarachin
 LABORATORISTA SUELOS CONCRETO Y ASFALTO

 LABORATORIO INGENIERÍA & CONSTRUCCIÓN SAC
Geremias Rimarachin Rimarachi
 GERENTE GENERAL

 LABORATORIO INGENIERÍA & CONSTRUCCIÓN SAC
Henry David Clavo Rimarachin
 INGENIERO CIVIL
 Reg. CIP N° 77267



PROYECTO: "MEJORAMIENTO DEL CAMINO VECINAL TRAMO CRUCE SANTA ROSA HASTA CRUCE OXAPAMPA, DISTRITOS DE BAMBAMARCA Y LA LIBERTAD DE PALLAN - PROVINCIAS DE HUALGAYOC Y CELENDIN - CAJAMARCA"

GRAVEDAD ESPECIFICA Y ABSORCION DE LOS AGREGADOS

MTC E 206

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS

Obra : "INFLUENCIA DE LAS GEOCELAS DE NEUMÁTICOS RECILCADOS EN LA CAPACIDAD DE SOPORTE DEL AFIRMADO PARA BASE, CHOTA, 2021."
Tramo : "
Cantera : LA CANGANA **Técnico responsable:** E.C.R
Material : PARA AFIRMADO **Ing. Responsable :** G.R.R
Muestra : TOMADA DE CANTERA POR EL SOLICITANTE **Fecha :** 14/04/22
Tamaño Max : 2"
Ubicación : CARRETERA A TACABAMBA

DATOS DE LA MUESTRA

Muestra: 0

AGREGADO GRUESO (MTC E206)

| ITEM | DESCRIPCION | UND | 1 | 2 | PROMEDIO |
|------|--|--------|--------|--------|----------|
| A | Peso Mat.Sat. Sup. Seca (En Aire) | qr | 2549.0 | 2552.0 | |
| B | Peso Mat.Sat. Sup. Seca (En Agua) | qr | 1591.0 | 1593.0 | |
| C | Vol. de masa + vol de vacíos = A-B | qr | 958.0 | 959.0 | |
| D | Peso material seco en estufa (105°C) | qr | 2512.0 | 2521.0 | |
| E | Vol. de masa = C - (A - D) | qr | 921.0 | 928.0 | |
| | Pe bulk (Base seca) = D/C | qr/cm3 | 2.622 | 2.629 | 2.625 |
| | Pe bulk (Base saturada) = A/C | qr/cm3 | 2.661 | 2.661 | 2.661 |
| | Pe Aparente (Base Seca) = D/E | qr/cm3 | 2.727 | 2.717 | 2.722 |
| | % de absorción = ((A - D)/D * 100) | % | 1.473 | 1.230 | 1.35 % |

OBSERVACIONES:

LABORATORIO INGENIERÍA & CONSTRUCCIÓN SAC
Erlin Clavo Rimarachin
 LABORATORISTA SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO

LABORATORIO INGENIERÍA & CONSTRUCCIÓN SAC
Gerencias Rimarachin Rimarachin
 GERENTE GENERAL

LABORATORIO INGENIERÍA & CONSTRUCCIÓN SAC
HENRY DAVID CLAYTON RIMARACHIN
 INGENIERO CIVIL
 Reg. CIP N° 77267



MEDIANTE LA MAQUINA DE LOS ANGELES
(MTC E207 - ASTM C131)

| | |
|---------|-----------------|
| Código | - |
| Versión | 2 |
| Fecha | FECHA: 20/04/18 |
| Página | 1 de 1 |

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS

RESISTENCIA AL DESGASTE DE LOS AGREGADOS CON TAMAÑOS MENORES A 37.5 mm

MEDIANTE LA MAQUINA DE LOS ANGELES

(MTC E207 - ASTM C131)

Obra: "INFLUENCIA DE LAS GEOCELAS DE NEUMÁTICOS RECICLADOS EN LA CAPACIDAD DE SOPORTE DEL AFIRMADO PARA BASE, CHOTA, 2021."

Tramo: -

Técnico Responsable: E.C.R

Cantera: LA CANGANA

Ing. Responsable: G.R.R

Material: PARA AFIRMADO

Fecha: 14/04/22

Muestra: TOMADA DE CANTERA POR EL SOLICITANTE

Tamaño Max: 2"

Ubicación: CARRETERA A TACABAMBA

| METODO | | PESOS Y GRANULOMETRIAS | | | | PESOS Y GRANULOMETRIAS | | | |
|---------------------|---------------|---------------------------------------|-----------|-----------|-----------|------------------------|--|--|--|
| | | REQUERIDOS | | | | EMPLEADOS | | | |
| PASA TAMIZ | RETIENE TAMIZ | A | B | C | D | A | | | |
| 1 1/2" | 1" | 1250 ± 25 | | | | 1255 ± 25 | | | |
| 1" | 3/4" | 1250 ± 25 | | | | 1258 ± 25 | | | |
| 3/4" | 1/2" | 1250 ± 10 | 2500 ± 10 | | | 1254 ± 10 | | | |
| 1/2" | 3/8" | 1250 ± 10 | 2500 ± 10 | | | 1254 ± 10 | | | |
| 3/8" | 1/4" | | | 2500 ± 10 | | | | | |
| 1/4" | Nº 4 | | | 2500 ± 10 | | | | | |
| Nº 4 | Nº 8 | | | | 5000 ± 10 | | | | |
| PESO TOTAL | | 5000 ± 10 | 5000 ± 10 | 5000 ± 10 | 5000 ± 10 | 5021 ± 25 | | | |
| Nº de Esferas | | 12 | 11 | 8 | 6 | 12 | | | |
| Peso de las Esferas | | 390 - 445 | 391 - 445 | 392 - 445 | 393 - 445 | 390 - 445 | | | |
| | | Peso Retenido en la malla Nº 12 (gr.) | | | | 3,522 | | | |
| | | Peso que pasa en la malla Nº 12 (gr.) | | | | 1,478 | | | |
| | | % Desgate | | | | 29.4% | | | |

OBSERVACIONES :

LABORATORIO INGENIERÍA & CONSTRUCCIÓN SAC
Erlin Clavo Rimarachin
 LABORATORISTA SUELOS CONCRETO Y ASFALTO

LABORATORIO INGENIERÍA & CONSTRUCCIÓN SAC
Rimarachin Rimarachin
 VTE GENERAL

LABORATORIO INGENIERÍA & CONSTRUCCIÓN SAC
HENRY DAVID C. RIMARACHIN
 INGENIERO CIVIL
 Reg. CIP Nº 77267



INFORME

ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO PARA CBR

| | | | |
|-----------------------|---|------------------|------------|
| Proyecto | "INFLUENCIA DE LAS GEOCELAS DE NEUMÁTICOS RECILCADOS EN LA CAPACIDAD DE SOPORTE DEL AFIRMADO PARA BASE, CHOTA, 2021." | | |
| Solicitante | ROSMELO YOVER CHÁVEZ MEJÍA | Ensayado por : | E.C.R |
| Ubicación de Proyecto | | Revizado por : | G.R.R |
| Material | AFIRMADO | Fecha de Ensayo: | 14/04/2022 |
| Identificación | AFIRMADO | Turno: | Diurno |
| Sondaje / Calicata | C-1 | Profundidad: | - m |
| Cantera | LA CANGANA | Norte: | --- |
| | | Este: | --- |
| | | Cota: | --- |

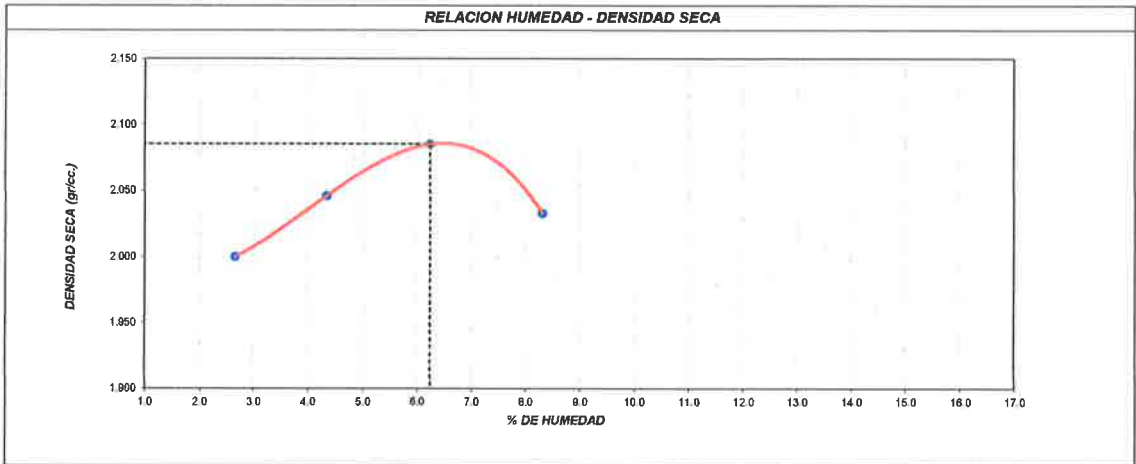
ENSAYO DE COMPACTACIÓN - PROCTOR MODIFICADO PARA CBR
ASTM D1557 / ASTM D1883

| | | |
|---------------|------|-----------------|
| Volumen Molde | 2134 | cm ³ |
| Peso Molde | 6359 | gr. |

| NUMERO DE ENSAYOS | | 1 | 2 | 3 | 4 |
|------------------------------|-------|--------|--------|--------|--------|
| Peso Suelo + Molde | gr. | 10,740 | 10,915 | 11,087 | 11,058 |
| Peso Suelo Humedo Compactado | gr. | 4,381 | 4,556 | 4,728 | 4,699 |
| Peso Volumétrico Humedo | gr. | 2.053 | 2.135 | 2.216 | 2.202 |
| Recipiente Numero | | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Peso de la Tara | gr. | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| Peso Suelo Humedo + Tara | gr. | 735.0 | 650.0 | 630.0 | 860.0 |
| Peso Suelo Seco + Tara | gr. | 716.0 | 623.0 | 593.0 | 794.0 |
| Peso del agua | gr. | 19.0 | 27.0 | 37.0 | 66.0 |
| Peso del suelo seco | gr. | 716 | 623 | 593 | 794 |
| Contenido de agua | % | 2.7 | 4.3 | 6.2 | 8.3 |
| Densidad Seca | gr/cc | 2.000 | 2.046 | 2.085 | 2.033 |

| | | | | |
|------------------------------|-------|----------------------|----------------------------------|-------|
| Densidad Máxima Seca: | 2.085 | gr/cm ³ . | Contenido Humedad Optima: | 6.2 % |
|------------------------------|-------|----------------------|----------------------------------|-------|

RELACION HUMEDAD - DENSIDAD SECA




OBSERVACIONES:

- * Muestra provista e identificada por el solicitante
- * Prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de GSE LABORATORIO INGENIERIA Y CONSTRUCCION SAC

GSE LABORATORIO INGENIERIA Y CONSTRUCCION SAC

| TECNICO LABORATORIO | GERENTE GENERAL | CQC - LEM |
|--|--|--|
| Nombre y firma: Erlin Clavo Rimarachin LABORATORISTA SUELOS CONCRETO Y ASFALTO | Nombre y firma: Geremias Rimarachin Rimarachin GERENTE GENERAL | Nombre y firma: HENRY DAVID ZÚÑIGA RIMARACHIN INGENIERO CIVIL Reg. C.O.P. 77267 |

| | | | |
|--|--|----------------|-----------------|
|  | INFORME | Código | AE-FO-15 |
| | ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO PARA CBR | Versión | 01 |
| | | Fecha | - |
| | | Página | 1 de 4 |

Proyecto : "INFLUENCIA DE LAS GEOCELDAS DE NEUMÁTICOS RECILCADOS EN LA CAPACIDAD DE SOPORTE DEL AFIRMADO PARA BASE, CHOTA, 2021."

Solicitante : ROSMEL YOVER CHÁVEZ MEJÍA

Ensayado por : E.C.R
 Revisado por : G.R.R
 Fecha de Ensayo: 14/04/2022
 Turno: Diurno

Ubicación de Proyecto : AFIRMADO

Identificación : AFIRMADO
 Procedencia : C-1
 Cantera : LA CANGANA

Profundidad: -
 Norte: ---
 Este: ---
 Cota: ---

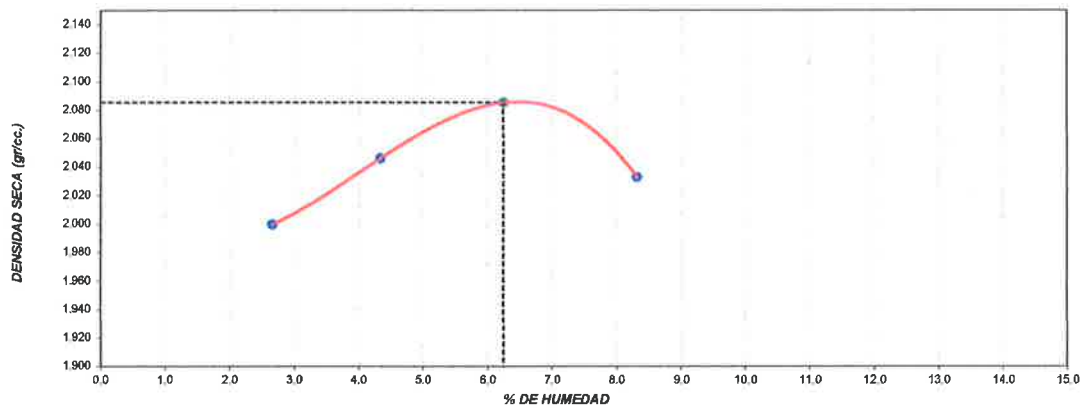
**ENSAYO DE COMPACTACIÓN - PROCTOR MODIFICADO PARA CBR
 ASTM D1557 / ASTM D1883**

| | | |
|---------------|------|-----------------|
| Volumen Molde | 2134 | cm ³ |
| Peso Molde | 6359 | gr. |

| NUMERO DE ENSAYOS | | 1 | 2 | 3 | 4 |
|-------------------------|-------|------------|------------|------------|------------|
| Peso Volumetrico Humedo | gr. | 10,852.000 | 11,110.000 | 11,082.000 | 11,201.000 |
| Contenido de agua | % | 2.7 | 4.3 | 6.2 | 8.3 |
| Densidad Seca | gr/cc | 2.000 | 2.046 | 2.085 | 2.033 |

| | | | | |
|------------------------------|--------------|--------------------------|---|--------------|
| Densidad Máxima Seca: | 2.085 | gr/cm³ | 72^o enido Humedad Optima: | 6.2 % |
|------------------------------|--------------|--------------------------|---|--------------|

RELACION HUMEDAD - DENSIDAD SECA



OBSERVACIONES:

- * Muestra provista e identificada por el solicitante
- * Prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de GSE LABORATORIO INGENIERIA Y CONSTRUCCIÓN SAC
- * ---
-

| GSE LABORATORIO INGENIERIA Y COSNTRUCCÓN SAC | | |
|--|--|---|
| TECNICO LABORATORIO | GERENTE GENERAL | CQC - LEM |
| Nombre y firma:  Erlin Clavo Rimarachin LABORATORISTA SUELOS CONCRETO Y ASFALTO | Nombre y firma:  Geremias Rimarachin Rimarachin GERENTE GENERAL | Nombre y firma:  HENRY DAVID CLAVO RIMARACHIN INGENIERO CIVIL Reg. CIP N° 77267 |

| | | | |
|--|---|----------------|-----------------|
|  | INFORME | Código | AE-FO-15 |
| | VALOR DE SOPORTE DE CALIFORNIA - CBR | Versión | 01 |
| | | Fecha | - |
| | | Página | 2 de 4 |

| | | | |
|-----------------------|---|------------------|------------|
| Proyecto | "INFLUENCIA DE LAS GEOCELAS DE NEUMÁTICOS RECILCADOS EN LA CAPACIDAD DE SOPORTE DEL AFIRMADO PARA BASE, CHOTA, 2021." | | |
| Solicitante | : ROSMEL YOVER CHÁVEZ MEJÍA | Ensayado por : | E.C.R |
| Ubicación de Proyecto | 0 | Revisado por : | G.R.R |
| Material | : AFIRMADO | Fecha de Ensayo: | 14/04/2022 |
| | | Turno: | Diurno |
| Identificación | : AFIRMADO | Profundidad: | - m |
| Procedencia | : C-1 | Norte: | --- |
| Cantera | : LA CANGANA | Este: | --- |
| | | Cota: | --- |

**ENSAYO DE VALOR DE SOPORTE DE CALIFORNIA
ASTM D1883**

CALCULO DE LA RELACIÓN DE SOPORTE CALIFORNIA (C.B.R.)

| Molde N° | 1 | | 2 | | 3 | |
|-----------------------------|-------------|----------|-------------|----------|-------------|----------|
| | NO SATURADO | SATURADO | NO SATURADO | SATURADO | NO SATURADO | SATURADO |
| Número de capas | 5 | | 5 | | 5 | |
| Número de golpes | 56 | | 25 | | 10 | |
| Peso suelo + molde (gr.) | 13,485 | | 13,255 | | 12,724 | |
| Peso molde (gr.) | 6,748 | | 8,756 | | 8,632 | |
| Peso suelo compactado (gr.) | 4,739 | | 4,499 | | 4,092 | |
| Volumen del molde (cm³) | 2,111 | | 2,108 | | 2,136 | |
| Densidad húmeda (gr./cm³) | 2,245 | | 2,134 | | 1,916 | |
| Densidad Seca (gr./cm³) | 2,100 | | 1,995 | | 1,795 | |

CONTENIDO DE HUMEDAD

| | | | | | | |
|---------------------------|-------|--|-------|--|-------|--|
| Peso de tara (gr.) | 0.0 | | 0.0 | | 0.0 | |
| Tara + suelo húmedo (gr.) | 680.0 | | 830.0 | | 650.0 | |
| Tara + suelo seco (gr.) | 636.0 | | 589.0 | | 609.0 | |
| Peso de agua (gr.) | 44.0 | | 41.0 | | 41.0 | |
| Peso de suelo seco (gr.) | 636.0 | | 589.0 | | 609.0 | |
| Humedad (%) | 8.9 | | 7.0 | | 6.7 | |

EXPANSIÓN

| Fecha | Hora | Tiempo Hr | Dial 0.01" | Expansión | | Dial | Expansión | | Dial | Expansión | |
|------------|-------|--------------|---------------|-----------|------|------|-----------|------|------|-----------|------|
| | | | | mm | % | | mm | % | | mm | % |
| 14-abr.-22 | 09:40 | 0 | 0 | 0.00 | 0.00 | 0 | 0.00 | 0.00 | 0 | 0.00 | 0.00 |
| 15-abr.-22 | 09:40 | 24 | 3 | 0.08 | 0.07 | 4 | 0.10 | 0.09 | 5 | 0.13 | 0.11 |
| 16-abr.-22 | 09:40 | 48 | 5 | 0.13 | 0.11 | 6 | 0.15 | 0.13 | 7 | 0.18 | 0.15 |
| 17-abr.-22 | 09:40 | 72 | 7 | 0.18 | 0.15 | 8 | 0.20 | 0.17 | 9 | 0.23 | 0.20 |
| 18-abr.-22 | 09:40 | 96 | 12 | 0.30 | 0.26 | 13 | 0.33 | 0.28 | 15 | 0.38 | 0.33 |

PENETRACIÓN

| Penetración (pulg.) | Carga Standard (kg/cm²) | Molde N° 1 | | | | Molde N° 2 | | | | Molde N° 3 | | | |
|------------------------|----------------------------|------------|--------|------------|-------|------------|--------|------------|-------|------------|--------|------------|-------|
| | | Carga | | Corrección | | Carga | | Corrección | | Carga | | Corrección | |
| | | kg | kg/cm² | kg/cm² | CBR % | kg | kg/cm² | kg/cm² | CBR % | kg | kg/cm² | kg/cm² | CBR % |
| 0.025 | | 175 | 9.5 | | | 152 | 8.2 | | | 112 | 6.1 | | |
| 0.050 | | 205 | 11.1 | | | 185 | 10.0 | | | 163 | 8.8 | | |
| 0.075 | | 325 | 17.6 | | | 235 | 12.7 | | | 219 | 11.8 | | |
| 0.100 | 70.307 | 552 | 29.9 | 48.0 | 68.3 | 405 | 21.9 | 30.0 | 42.7 | 346 | 18.7 | 21.0 | 29.9 |
| 0.150 | | 701 | 37.9 | | | 825 | 33.8 | | | 495 | 26.8 | | |
| 0.200 | 105.480 | 1105 | 59.8 | 85.0 | 80.6 | 885 | 47.9 | 52.0 | 49.3 | 609 | 32.9 | 35.0 | 33.2 |
| 0.300 | | 1625 | 87.9 | | | 1175 | 63.5 | | | 846 | 45.8 | | |
| 0.400 | | 2632 | 142.3 | | | 1865 | 100.9 | | | 1313 | 71.0 | | |
| 0.500 | | 3485 | 188.5 | | | 2415 | 130.6 | | | 1722 | 93.1 | | |

OBSERVACIONES:

- * Muestra provista e identificada por el solicitante
- * Prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de GSE LABORATORIO INGENIERIA Y CONSTRUCCIÓN SAC
- * ---
- * ---

GSE LABORATORIO INGENIERIA Y CONSTRUCCIÓN SAC

| TECNICO LABORATORIO | GERENTE GENERAL | CQC - LEM |
|---|---|--|
| Nombre y firma:  Erlin Clavo Rimarachin LABORATORISTA SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO | Nombre y firma:  Geremias Rimarachin GERENTE GENERAL | Nombre y firma:  HENRY DAVID CLAVO RIMARACHIN INGENIERO CIVIL Reg. CP N° 77267 |

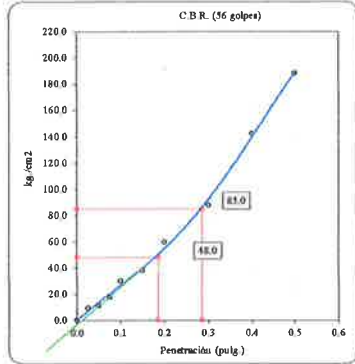


| | | |
|---|----------------|-----------------|
| INFORME | Código | AE-FO-15 |
| VALOR DE SOPORTE DE CALIFORNIA - CBR | Versión | 01 |
| | Fecha | - |
| | Página | 4 de 4 |

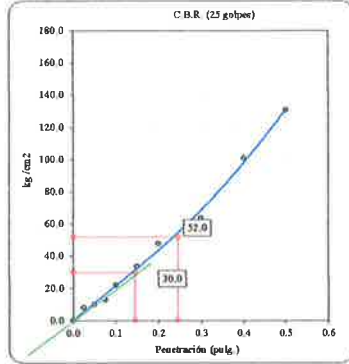
| | | | |
|------------------------------|---|-------------------------|------------|
| Proyecto | "INFLUENCIA DE LAS GEOCELAS DE NEUMÁTICOS RECICLADOS EN LA CAPACIDAD DE SOPORTE DEL AFIRMADO PARA BASE, CHOTA, 2021." | | |
| Solicitante | ROSMEL YOVER CHÁVEZ MEJÍA | Ensayado por : | E.C.R |
| Ubicación de Proyecto | 0 | Revisado por : | G.R.R |
| Material | AFIRMADO | Fecha de Ensayo: | 14/04/2022 |
| | | Turno: | Diurno |
| Identificación | AFIRMADO | Profundidad: | - m |
| Procedencia | C-1 | Norte: | --- |
| Cantera | LA CANGANA | Este: | --- |
| | | Cota: | --- |

**ENSAYO DE VALOR DE SOPORTE DE CALIFORNIA
ASTM D1883**

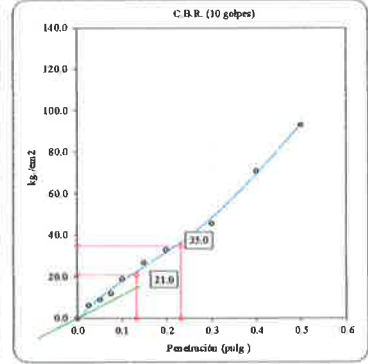
Datos de muestra
 Máxima Densidad Seca 2.085 gr/cm³ Optimo Contenido de Humedad 6.2 %
 Máxima Densidad Seca al 95% 1.981 gr/cm³



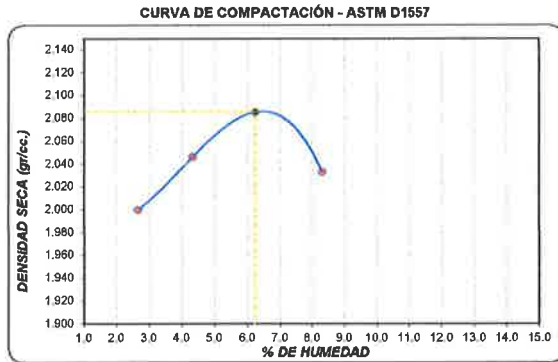
C.B.R. (0.1") 56 GOLPES: **68.3 %**



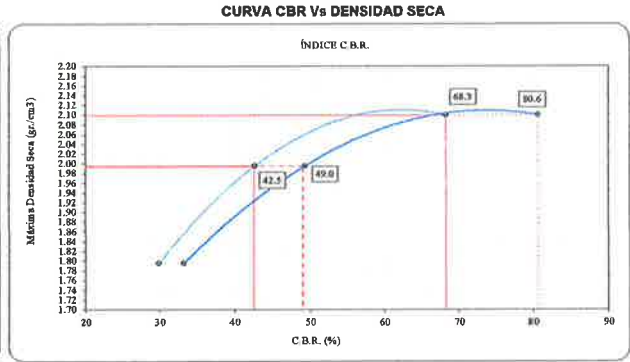
C.B.R. (0.1") 25 GOLPES: **42.7 %**



C.B.R. (0.1") 12 GOLPES: **29.9 %**



C.B.R. (100% M.D.S.) 0.1": **68.3 %**
 C.B.R. (95% M.D.S.) 0.1": **42.5 %**



C.B.R. (100% M.D.S.) 0.2": **80.6 %**
 C.B.R. (95% M.D.S.) 0.2": **49.0 %**

OBSERVACIONES:
 * Muestra provista e identificada por el solicitante
 * Prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de GSE LABORATORIO INGENIERIA Y CONSTRUCCIÓN SAC

| GSE LABORATORIO INGENIERIA Y COSNTRUCCIÓN SAC | | |
|---|---|--|
| TECNICO LABORATORIO | GERENTE GENERAL | CQC - LEM |
| Nombre y firma: Erlin Clavo Rimarachin LABORATORISTA SUELOS CONCRETO Y ASFALTO | Nombre y firma: Geremias Rimarachin Kimarachin GERENTE GENERAL | Nombre y firma: HENRY DAVID CLAVO RIMARACHIN INGENIERO CIVIL Reg. CIP N° 77362 |

Anexo F. Resultado de ensayos in situ

CONTROL DE COMPACTACIÓN: AFIRMADO

PROYECTO:

“Influencia de las geoceldas de neumáticos reciclados en la capacidad de soporte del afirmado para base, Chota, 2021”

02 AGOSTO 2022

Av. Vicente Ruso Lote 1, Fundo El Cerrito (Al Costado de la Quinta Arellano - Prolongación Bolognesi)



Servicios de Laboratorios Chiclayo - EMP Asfaltos



948 852 622 - 954 131 476 - 998 928 250

E-mail: servicios_lab@hotmail.com.

INDICE

1. INTRODUCCIÓN
2. OBJETIVO
3. UBICACIÓN
4. ALCANCE Y CAMPO DE APLICACIÓN
5. REFERENCIAS NORMATIVAS
6. MARCO TEÓRICO
7. EQUIPOS Y MATERIALES
8. TRABAJOS REALIZADOS
 - 8.1 TRABAJOS DE CAMPO
 - 8.2 RESULTADOS DEL ENSAYO PROCTOR
 - 8.3 RESULTADOS DE DENSIDADES DE CAMPO
9. CONCLUSIONES
10. BIBLIOGRAFÍA
11. ANEXOS
 - 11.1 RESULTADOS

SERVICIOS DE LABORATORIOS
DE SUELOS Y PAVIMENTOS S.A.C.

Secundino Barga Fernández
ING. CIVIL
REG. CIP. 169278

1. INTRODUCCIÓN

A un suelo natural o compactado muchas veces se le debe medir la densidad in situ, tal como se presenta en la realidad. Este parámetro se puede medir con equipos nucleares, con el balón de goma o con el método del cono de arena. Este informe expone las bases del método del cono de arena.

El presente Informe tiene por finalidad dar a conocer los resultados obtenidos por el personal encargado del Control de Calidad (QC) en la Obra: "**Influencia de las geoceldas de neumáticos reciclados en la capacidad de soporte del afirmado para base, Chota, 2021**".

2. OBJETIVO

El objetivo del presente trabajo es la verificación del grado de compactación a nivel de **Afirmado** de fundación a fin de garantizar el cumplimiento de las especificaciones técnicas del proyecto.

3. UBICACIÓN.

Se tomaron las pruebas de densidad de campo, en la obra ubicada en la Provincia de chota - Cajamarca.

4. ALCANCE Y CAMPO DE APLICACIÓN

Este método de ensayo establece como determinar la densidad y el peso unitario de suelos in situ utilizando el equipo de cono de arena.

Este método de ensayo se puede utilizar también para la determinación de densidad y peso unitario in situ de suelos inalterados, siempre que los poros o vacíos del suelo sean lo suficientemente pequeños para evitar que la arena utilizada en el ensayo se introduzca en ellos. El suelo u otro material utilizado en el ensayo deben tener suficiente cohesión a atracción entre partículas para mantener estables las paredes del agujero confeccionado, y ser lo suficientemente firme para soportar sin deformaciones ni desprendimientos la leve presión ejercida la excavación y el posicionamiento del equipo sobre él.

Este método de ensayo no es adecuado para suelos orgánicos, saturados o con alta plasticidad que se puedan deformar o comprimir durante la excavación del agujero. Este método de ensayo puede no ser adecuado en suelos conformados por materiales granulares sueltos que no mantienen las paredes estables del agujero del ensayo, suelos que contienen cantidades

SERVICIOS DE LABORATORIOS
DE SUELOS Y PAVIMENTOS S.A.C.
Secundino Pineda Fernández
REG. SUP. 1169278

considerables de material grueso mayor que 38 mm de diámetro y suelos granulares que tienen un alto índice de vacíos.

5. REFERENCIAS NORMATIVAS

En este informe constituyen requisitos de la presente Norma. Las mismas que deberán ser de la edición vigente.

- MTC E 117 (Densidad In situ – Método del Cono).
- ASTM D1556-64 (Determinación de la Densidad del Suelo en Terreno – Método Cono de Arena).

6. MARCO TEÓRICO

DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD DEL SUELO EN TERRENO – MÉTODO CONO DE ARENA (ASTM D1556)

Una vez que se han definido los criterios de compactación en la forma de especificaciones técnicas, para las obras en terreno, es necesario utilizar un método para determinar la densidad o peso unitario que el suelo alcanza luego de la compactación.

Para obtener estas densidades existen los siguientes métodos en terreno:

- Cono de arena
- Balón de densidad
- Densímetro nuclear

En este informe nos referimos al Método de Cono de Arena.

El método de cono de arena, se aplica en general a partir de la superficie del material compactado, este método se centra en la determinación del volumen de una pequeña excavación de forma cilíndrica de donde se ha retirado todo el suelo compactado (sin pérdidas de material) ya el peso del material retirado dividido por el volumen del hueco cilíndrico nos permite determinar la densidad húmeda. Determinaciones de la humedad de esa muestra nos permiten obtener la densidad seca.

El método de cono de arena utiliza una arena uniforme normalizada y de granos redondeados para llenar el hueco excavado en terreno. Previamente en el laboratorio, se ha determinado para esta arena la densidad que ella tiene

SERVICIOS DE LABORATORIOS
DE SUELOS Y PAVIMENTOS S.A.C.
Secundino Banga Fernández
ING. CIVIL
REG. CIP. 169278

para las mismas condiciones de cauda que este material va a tener en terreno.
Para ello se utiliza un cono metálico.

7. EQUIPOS Y MATERIALES

- Recipiente de plástico o metal
- Cono
- Base metálica con un círculo hueco
- Espátula y cuchara
- Balanza
- Wincha
- Recipiente para contenido de humedad
- Arena calibrada
- Tamiz $\frac{3}{4}$ "
- Comba y cincel

8. TRABAJOS REALIZADOS

8.1 TRABAJOS DE CAMPO

- Estos ensayos se realizaron cumpliendo las normas del MTC:

Cuadro N°01: Identificación de norma de ensayo

| Ensayo | Norma |
|---|-----------|
| Densidad in situ (método del cono) | MTC E-117 |
| Contenido de humedad (método del carburo de calcio) | MTC E-126 |

8.2 RESULTADOS DEL ENSAYO PROCTOR

- El ensayo proctor fue dado por el solicitante.

Cuadro N°02: Resultados del Proctor Modificado

| Proctor | |
|----------------|-------------------------|
| Humedad Optima | Densidad Máxima Seca |
| 6.2% | 2.085gr/cm ³ |

SERVICIOS DE LABORATORIOS
DE SUELOS Y PAVIMENTOS S.A.C.

Secundino Barga Fernández
ING. CIVIL
REG. CIP. 169278

8.3 RESULTADOS DE DENSIDADES DE CAMPO

- El nivel de capa del ensayo fue de **Afirmado**, Se realizaron 06 pruebas de densidad de campo.

Cuadro N°03: Resultados de densidad de campo.

| N° de Prueba | Proyecto | Fecha | Ubicación | Resultado | Especificación |
|--------------|--|------------|-------------------------------|-----------|----------------|
| 1 | "Influencia de las geoceldas de neumáticos reciclados en la capacidad de soporte del afirmado para base, Chota, 2021". | 02/08/2022 | Geocelda Circular 01, 02, 03 | 100.0 | 100% |
| 2 | | | | 100.1 | 100% |
| 3 | | | | 100.0 | 100% |
| 4 | | | Geocelda Romboidal 01, 02, 03 | 100.2 | 100% |
| 5 | | | | 100.1 | 100% |
| 6 | | | | 100.0 | 100% |

- Del cuadro N°03 anterior se puede concluir que las pruebas indicadas el grado de compactación supera el 100% de la máxima densidad seca, por tanto, cumple con las especificaciones técnicas del proyecto.


 SERVICIOS DE LABORATORIOS
 DE SUELOS Y PAVIMENTOS S.A.C.

 Secundino Barga Fernández
 ING. CIVIL
 REG. CIP. 169278

10. BIBLIOGRAFIA

- Ensayo para determinar la densidad de los suelos en el campo por el método de cono de arena. MTC E 117.
- Determinación de la densidad del suelo en terreno – método cono de arena (ASTM D1556)
- Bowles, Joseph E. (1981), “Manual de Laboratorio de Suelos en Ingeniería Civil. McGraw-Hill Book Company.
- Valle Rodas, Raúl (1982), “Carreteras, Calles y Aeropistas”, Editorial El Ateneo
- Vivar Romero, Germán (1990-1991), “Diseño y Construcción de Pavimentos”, Ediciones CIP.



SERVICIOS DE LABORATORIOS
DE SUELOS Y PAVIMENTOS S.A.C.

Secundino Burga Fernández
ING. CIVIL
REG. CIP. 169278

11. ANEXOS

11.1 RESULTADOS



SERVICIOS DE LABORATORIOS
DE SUELOS Y PAVIMENTOS S.A.C.

Secundino Barga Fernández
ING. CIVIL
REG. CIP. 169278

SERVICIOS DE LABORATORIOS DE SUELOS Y PAVIMENTOS S.A.C.



Av. Vicente Ruso Lote 1, Fundo El Cerrito (Al Costado de la Quinta Arellano - Prolongación Bolognesi)



Servicios de Laboratorios Chiclayo - EMP Asfaltos

948 852 622 - 954 131 476 - 998 928 250

E-mail: servicios_lab@hotmail.com.

ENSAYO DE DENSIDAD DE CAMPO

(NTP 339.143, MTC E 117, ASTM D1556-64)

| | | | |
|--------------------|--|-----------------|--------------|
| PROYECTO | : "Influencia de las geoceldas de neumáticos reciclados en la capacidad de soporte del afirmado para base, Chota, 2021". | RES.LAB. | : S.B.F. |
| UBICACIÓN | : Chota, Cajamarca | TEC.LAB. | : S.A.C.M. |
| NIVEL | : Afirmado | FECHA | : 02/08/2022 |
| SOLICITANTE | : Rosmel Yover Chávez Mejía | | |

| AFIRMADO | | | | | | | |
|-------------------------------------|--------------------------|------------------------------|--------------|--------------|-------------------------------|--------------|--------------|
| UBICACIÓN | | Geocelda Circular 01, 02, 03 | | | Geocelda Romboidal 01, 02, 03 | | |
| Fecha del ensayo | | 02/08/2022 | 02/08/2022 | 02/08/2022 | 02/08/2022 | 02/08/2022 | 02/08/2022 |
| Peso del frasco + arena | g | 6774 | 6780 | 6760 | 6845 | 6808 | 6740 |
| Peso del frasco + arena que queda | g | 2982 | 2181 | 2868 | 2788 | 2909 | 2765 |
| Peso de arena empleada | g | 3792 | 4599 | 3892 | 4057 | 3899 | 3975 |
| Peso de arena en el cono | g | 1543 | 1543 | 1543 | 1543 | 1543 | 1543 |
| Peso de arena en la excavación | g | 2249 | 3056 | 2349 | 2514 | 2356 | 2432 |
| Densidad de la arena | g/cm ³ | 1.400 | 1.400 | 1.400 | 1.400 | 1.400 | 1.400 |
| Volumen del material extraído | cm ³ | 1606 | 2183 | 1678 | 1796 | 1683 | 1737 |
| Peso del recipiente + suelo + grava | g | 3859 | 5178 | 4104 | 4328 | 4050 | 4182 |
| Peso del recipiente | g | 189.0 | 189.0 | 189.0 | 189.0 | 190.0 | 189.0 |
| Peso del suelo + grava | g | 3670 | 4989 | 3915 | 4139 | 3860 | 3993 |
| Peso retenido en la malla 3/4" | g | 682 | 1250 | 1126 | 1035 | 814 | 914 |
| Peso específico de la grava | gr/cm ³ | 2.660 | 2.660 | 2.660 | 2.660 | 2.660 | 2.660 |
| Volumen de la grava | cm ³ | 256 | 470 | 423 | 389 | 306 | 344 |
| Peso de finos | g | 2988 | 3739 | 2789 | 3104 | 3046 | 3079 |
| Volumen de finos | cm ³ | 1350 | 1713 | 1255 | 1407 | 1377 | 1394 |
| Densidad Húmeda | gr/cm³ | 2.213 | 2.183 | 2.223 | 2.207 | 2.212 | 2.209 |

| CONTENIDO DE HUMEDAD | | | | | | | |
|--------------------------------|----------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Peso recipiente + suelo húmedo | g | | | | | | |
| Peso recipiente + suelo seco | g | | | | | | |
| Peso de agua | g | | | | | | |
| Peso de recipiente | g | | | | | | |
| Peso de suelo seco | g | | | | | | |
| Contenido de humedad | % | 6.2 | 4.6 | 6.6 | 5.6 | 6.0 | 6.0 |

| RESULTADOS | | | | | | | |
|------------------------------|--------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Densidad húmeda | gr/cm ³ | 2.213 | 2.183 | 2.223 | 2.21 | 2.21 | 2.21 |
| Contenido de humedad | % | 6.20 | 4.60 | 6.60 | 5.60 | 6.00 | 6.00 |
| Densidad seca | gr/cm ³ | 2.084 | 2.087 | 2.085 | 2.090 | 2.087 | 2.084 |
| Máxima densidad seca | gr/cm ³ | 2.085 | 2.085 | 2.085 | 2.085 | 2.085 | 2.085 |
| Óptimo contenido de humedad | % | 6.20 | 6.20 | 6.20 | 6.20 | 6.20 | 6.20 |
| Grado de compactación | % | 100.0 | 100.1 | 100.0 | 100.2 | 100.1 | 100.0 |

Observaciones:

SERVICIOS DE LABORATORIOS DE SUELOS Y PAVIMENTOS S.A.C.
 Segundino A. Carrizosa Mejía
 TÉCNICO DE LABORATORIO
 SUPERVISOR DE LABORATORIO

SERVICIOS DE LABORATORIOS DE SUELOS Y PAVIMENTOS S.A.C.
 Segundino Borja Fernández
 INGENIERO
 REG. CIR. 189278



RELACION DE SOPORTE DEL SUELO (CBR "IN SITU")

PROYECTO:

"Influencia de las geoceldas de neumáticos reciclados en la capacidad de soporte del afirmado para base, Chota, 2021".

AGOSTO 2022

INFORME TÉCNICO

1. INTRODUCCIÓN

El presente Informe Técnico, corresponde a las actividades realizadas por el personal encargado del Control de Calidad (QC) de la empresa Servicios de Laboratorios de Suelos y Pavimentos S.A.C. para el estudio de: "Influencia de las geoceldas de neumáticos reciclados en la capacidad de soporte del afirmado para base, Chota, 2021". Las labores de Control de Calidad (QC) en esta fase del trabajo se refieren al ensayo de CBR In Situ a nivel de afirmado.

2. GENERALIDADES

2.1 DEFINICIÓN

El ensayo de C.B.R. (California Bearing Ratio) mide la resistencia al corte (esfuerzo cortante) de un suelo bajo condiciones de humedad y densidad controladas, la ASTM denomina a este ensayo, simplemente como "Relación de soporte". Se aplica para evaluación de la calidad relativa de suelos.

Ensayo de CBR (in situ) es un método adecuado para determinar la capacidad de soporte de un material en el lugar donde será sometido a las sollicitaciones de la estructura que soportará, deberá realizarse cuando se presentan materiales dudosos y en movimiento de tierras importantes.

2.2 OBJETIVOS

- Esta norma establece el procedimiento que se debe seguir para determinar la relación de soporte de California (CBR, California Bearing Ratio), de un suelo ensayado "in situ", mediante la comparación entre la carga de penetración del suelo y la de un material estándar de referencia.

- Este método de ensayo cubre la evaluación de la calidad relativa de los suelos. El método está establecido para de materiales in situ y corresponde a la norma sobre especímenes de laboratorio, norma ASTM D 4429-93.
- Esta norma no considera los problemas de seguridad asociados con su uso. Es responsabilidad de quien la emplee, establecer prácticas apropiadas de seguridad, salubridad y determinar la aplicabilidad de limitaciones regulatorias antes de su empleo.

2.3 FINALIDAD Y ALCANCE

- Se utiliza el ensayo in situ para determinar su CBR con el fin de evaluar y diseñar la estructura de un pavimento flexible, tales como base, sub base gruesas, subrasantes y también para otras aplicaciones (como caminos no pavimentados), para los cuales el CBR es el parámetro de resistencia indicado. Si el CBR del campo es usado directamente para la evaluación o diseño, sin considerar la variación ocasionada por cambios en el contenido de agua, el ensayo debe llevarse a cabo bajo una de las siguientes condiciones: (a) si el grado de saturación (porcentaje de vacíos llenos de agua) es de 80 % o más, (b) si el material es de grano grueso y sin cohesión, de modo que no se ve afectado en forma significativa por los cambios en el contenido de agua, o (c) si el suelo no ha sido modificado por actividades de construcción durante los dos años anteriores al ensayo. En este último caso, el contenido de agua no es realmente constante, sino que generalmente fluctúa dentro de un margen bastante reducido. Por lo tanto, los datos del ensayo en campo pueden utilizarse satisfactoriamente para indicar el promedio de la capacidad de carga.

- Cualquier actividad de construcción, como el nivelado o la compactación, realizada tras el ensayo de capacidad de soporte, probablemente invalidará los resultados de éste.

2.4 NORMAS LEGALES

- Ley N° 29783 Seguridad y Salud en el trabajo.
- Ley N° 28611 Ley General del Ambiente.

3. EXPLORACIÓN EN CAMPO

3.1 COORDINACIÓN DE VISITA TÉCNICA

El ingeniero responsable del personal técnico del QC establecerá comunicación con los representantes por parte del solicitante, con la finalidad de coordinar la fecha y el lugar para realizar el ensayo.

3.2 SEGURIDAD PERSONAL Y LABORAL EN CAMPO

En cumplimiento con la Ley N° 29783 Seguridad y Salud en el trabajo y su modificatoria la Ley 30222, la Norma OHSAS 18001, y ensayos técnicos en campo contará con los Equipos de Protección Personal (EPP) y los accesorios de seguridad vial correspondientes a las labores que realizarán:

- Protector de Cabeza (Casco).
- Lentes de Seguridad.
- Zapatos de Seguridad con punta de acero.
- Ropa de Trabajo.
- Respirador/ Mascarilla contra polvo.
- chaleco reflectivo.
- Guantes de Cuero/Cromo, resistentes al calor.


 **SERVICIOS DE LABORATORIOS DE SUELOS Y PAVIMENTOS S.A.C**
Secundino Burgos Fernandez
ING. CIVIL
REG. CIP. 189278

3.3 INSTALACIÓN DE EQUIPOS

La instalación del equipo del CBR In Situ se realizará en ubicaciones previamente coordinadas entre el ingeniero responsable del control de calidad y los representantes del solicitante César Augusto Cruz Fuentes.

3.4 EQUIPOS, HERRAMIENTAS Y MATERIALES

Gato mecánico de tornillo, operado manualmente, equipado con un dispositivo giratorio especial de manivela para aplicar la carga al pistón de penetración y diseño con las siguientes especificaciones:

- Capacidad máxima de 1000 lb.
- Mínima altura de elevación: 50 mm (2")
- Manubrio desmontable 150 mm (6") de radio
- Relación de velocidad alta, aproximadamente 2.4 revoluciones para 1 mm (0.04") de penetración.
- Pueden usarse otras relaciones de velocidad, cuando esto sea más conveniente.
- También se pueden usar otros gatos mecánicos, con la misma carga máxima y altura de elevación, siempre y cuando se obtenga con ellos no tasa uniforme de penetración-carga de 1.3mm (0.05") por minuto.
- Anillo de carga, dos en total, debidamente calibrados, uno de ellos con amplitud de carga de 0 a 5kN (10000 lbf) aproximadamente.
- Pistón de penetración, de (2") de longitud. Debe contar, además, de un adaptador de pistón y de extensiones de tubo de rosca interna con conectores.
- Dial, deben existir un dial: para medir deformaciones del anillo de carga del pistón con lecturas de 0.0001".
- Soporte para el dial de penetración, o puente de aluminio, hierro o madera de 76 mm (3") de altura y longitud aproximada de 1.5m (5 pies).

- Platina de sobrecarga, circular, de acero, de 254 +- 0.5 mm (10+- 0.02") de diámetro, con agujero central circular de 51 +- 0.5mm (2+- 0.02"). La platina debe pesar 4.54 +- 0.01 kg (10+-0.02lb).
- Pesas de sobrecarga, dos pesas anulares de sobrecarga de 4.54+- 0.01 kg (10+-0.02 lb), de 216 +- 1 mm (8.5 +-0.04") de diámetro total, y dos pesas similares de las mismas dimensiones, pero de 9.08 +- 0.01 kg (20 +- 0.02 lb) cada una.
- Vehículo de carga (Reacción). Un vehículo (o pieza de equipo pesado) de carga suficiente para proveer una reacción de aproximadamente 31 kN (6970 lb). El vehículo debe estar equipado con una viga metálica debidamente acondicionada en la parte posterior de chasis que ofrezca una reacción adecuada para forzar la penetración del pistón en el suelo. El vehículo se debe suspender suficientemente para eliminar la influencia de los resortes traseros y permitir que el ensayo de penetración se efectúe sin movimiento ascendente del chasis del vehículo. Para efectuar el ensayo se requiere disponer de un espacio vertical libre de aproximadamente 0.6 m (2 pies).
- Gatos, dos gatos tipo camión, de 14 Mg (15 toneladas) de capacidad, de doble acción combinada y descenso automático.
- Equipo misceláneo, envases de muestras para determinación de humedad y peso unitario, espátula, regla de enrase, cucharones para excavar, etc.

4. ENSAYOS DE LABORATORIO

4.1 PROCEDIMIENTO

- Se prepara la superficie que va a ser ensayada, retirando el material suelto y superficial que no sea representativo del suelo que se va a ensayar. Se debe preparar un área de ensayo tan uniforme y horizontal como sea posible. Cuando se trate de materiales de base

no plásticas, se debe tener especial cuidado para no alterar la superficie de ensayo. EL espaciamiento de los ensayos de penetración debe ser tal, que la operación en un punto no altere el suelo del siguiente punto que va a ser penetrado. Esta separación debe ser como mínimo 175 mm (7") en suelos plásticos y de 380mm (15") en suelos granulares gruesos.

- Se sitúa el vehículo en tal forma que el centro del sistema de reacción quede directamente sobre la superficie por ensayar. Se instala el gato mecánico debajo de la vida o dispositivo de reacción, con la manivela hacia afuera. Se colocan los gatos del camión a cada lado del vehículo y se levanta para que no exista peso alguno sobre los resortes posteriores; se debe cerciorar que el vehículo este nivelado en la parte trasera.
- Se ubica el gato mecánico en la posición correcta y se acopla el anillo de carga al extremo del gato. Se debe asegurar el adaptador del pistón al extremo inferior del anillo, se adiciona el número necesario de extensiones hasta alcanzar una altura menor de 125 mm (4.9") sobre la superficie de ensayo y se conecta el pistón de penetración. Se sujeta el gato en su sitio. Se debe comprobar el nivel del montaje del gato para asegurar la verticalidad del montaje y hacer los ajustes que sean necesarios.
- Se coloca platina de sobrecarga de 4.5 kg (10 lb) debajo del pistón de penetración, de tal forma que cuando baje el pistón, éste pase a través del agujero central.
- Se asienta el pistón bajo una carga inicial de aproximadamente 21 kPa (3 psi). Para materiales de base con una superficie irregular, se coloca el pistón sobre una delgadísima capa de polvo de tributación de piedra caliza (tamices de 0.85mm N°20 – 0.425mm N°40) o de yeso.



- Si es necesario para lograr una superficie uniforme, se levanta la platina de carga mientras todavía está actuando la carga inicial sobre el pistón y se espolvorea uniformemente arena fina, en un espesor de 3 a 6 mm (0.12 a 0.24”), sobre la superficie que va a estar cubierta por la placa. Esto sirve para distribuir uniformemente el peso de la sobrecarga.
- Se adiciona a la platina un número de pesos de sobrecarga tal, que transmita una presión equivalente a la intensidad de carga, producida por las capas de pavimento, que se colocarán sobre la sub-rasante, o la base o ambos, excepto que la mínima pesa aplicada será la de 4.5 kg (10 lb) más una pesa de sobrecarga de 9 kg (20 lb).
- Se fija el soporte del dial de penetración al pistón y se sujeta el dial a dicho soporte.
- Se coloca en cero las lecturas de ambos diales.
- Se aplica la carga al pistón de penetración de tal manera que la velocidad aproximada de penetración sea de 1.3 mm (0.05”) por minuto. Utilizando la relación de baja velocidad del gato durante el ensayo se puede mantener una tasa uniforme de penetración por parte del operador. Se deben registrar las lecturas del anillo de carga para cada 0.64 mm (0.025”) de incremento de penetración hasta una profundidad final de 12.70 mm (0.500”).
- Al finalizar el ensayo, se debe obtener una muestra en el punto de penetración para determinar la humedad. También se debe determinar el peso unitario en un sitio localizado de 100 a 150 mm (4” a 6”) desde el punto de penetración. El peso unitario debe determinarse de acuerdo con los métodos de ensayo S0501 (Método cono de arena), S0506 (Método del Balón de caucho), S0502 (Método del cilindro penetrante) o S0507 (Métodos nucleares).

5. RESULTADOS DE PRUEBAS Y ENSAYOS REALIZADOS

Se realizaron 06 ensayos de CBR In Situ en afirmado en Geocelda Circular 01, 02 y 03 y en la Geocelda Romboidal 01, 02 y 03 con un elemento de reacción fue un volquete para la determinación del índice de resistencia de los suelos denominado valor de la relación de soporte, como se muestra a continuación:

Cuadro N°01: Resultados de CBR In Situ

| Punto | Material | Punto | CBR 0.1" (%) |
|-------|----------|-----------------------|--------------|
| 01 | Afirmado | Geocelda Circular 01 | 101.1 |
| 02 | | Geocelda Circular 02 | 99.3 |
| 03 | | Geocelda Circular 03 | 100.0 |
| 04 | | Geocelda Romboidal 01 | 99.7 |
| 05 | | Geocelda Romboidal 02 | 99.0 |
| 06 | | Geocelda Romboidal 03 | 99.9 |

Fuente: Información recabada en campo.

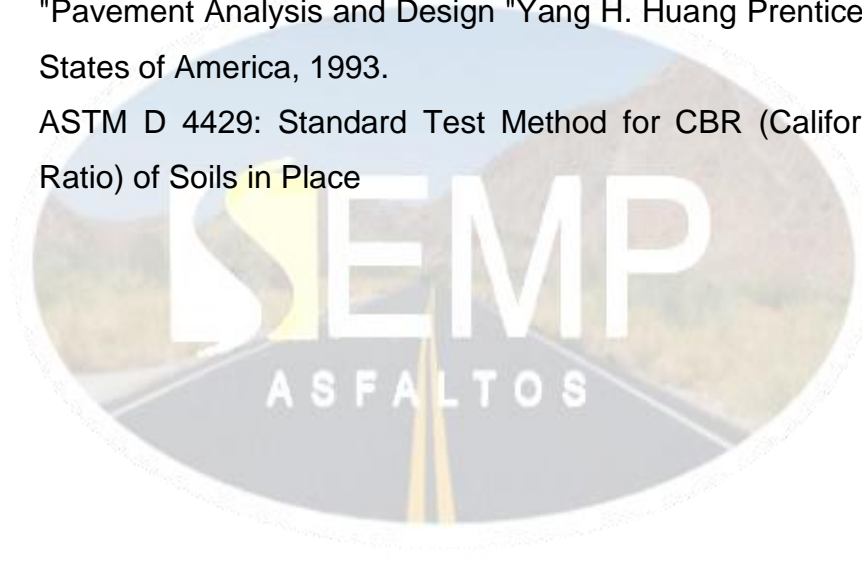
Elaboración: Servicios de Laboratorios de Suelos y pavimentos S.A.C.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- El elemento de reacción utilizado para el ensayo fue un volquete.
- Los resultados del ensayo CBR In Situ en afirmado en Geocelda Circular 01, 02 y 03 es de 100.1% y Geocelda Romboidal 01, 02 y 03 es de 99.5%
- Se recomienda en obra hacer un control de calidad permanente para obtener buenos resultados en la construcción.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bowles, Joseph E. Manual de Laboratorio de Suelos en Ingeniería Civil. México: Editorial McGraw-Hill, 1981. 213pp.
- Reglamento Nacional de Edificaciones, Editorial Macro, Edición 2016.
- Manual de Carreteras, Especificaciones Técnicas Generales para la Construcción EG – 2013. Ministerio de Transporte y Comunicaciones.
- Manual de Carreteras, Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos. Ministerio de Transporte y Comunicaciones (MTC). Edición 2013.
- Propiedades Geofísicas de los Suelos. Joseph Bowles.
- "Pavement Analysis and Design "Yang H. Huang Prentice Hall United States of America, 1993.
- ASTM D 4429: Standard Test Method for CBR (California Bearing Ratio) of Soils in Place



E.M.P. ASFALTOS
SERVICIOS DE LABORATORIOS
DE SUELOS Y PAVIMENTOS S.A.C
Secundino Burga Fernandez
ING. CIVIL
REG. CIP. 189278



8. **ANEXOS**

8.1 **ANEXO N°1: RESULTADOS DE ENSAYOS DE CBR IN SITU**




 **SERVICIOS DE LABORATORIOS
DE SUELOS Y PAVIMENTOS S.A.C**
Secundino Burgos Fernandez
ING. CIVIL
REG. CIP. 189278



8.2 ANEXO N°2: PANEL FOTOGRÁFICO



 **SERVICIOS DE LABORATORIOS
DE SUELOS Y PAVIMENTOS S.A.C**
Secundino Burga Fernandez
ING. CIVIL
REG. CIP. 189278

Av. Vicente Ruso Lote 1, Fundo El Cerrito (Al Costado de la Quinta Arellano)



Servicios de Laboratorios Chiclayo - EMP Asfaltos



948 852 622 - 954 131 476 - 998 928 250

E-mail: servicios_lab@hotmail.com.

SERVICIOS DE LABORATORIOS DE SUELOS Y PAVIMENTOS S.A.C.



Av. Vicente Ruso Lote 1 S/N - Distrito de Chiclayo - Provincia de Chiclayo - Lambayeque RUC: 20487357465

Servicios de Laboratorios Chiclayo - EMP Asfaltos

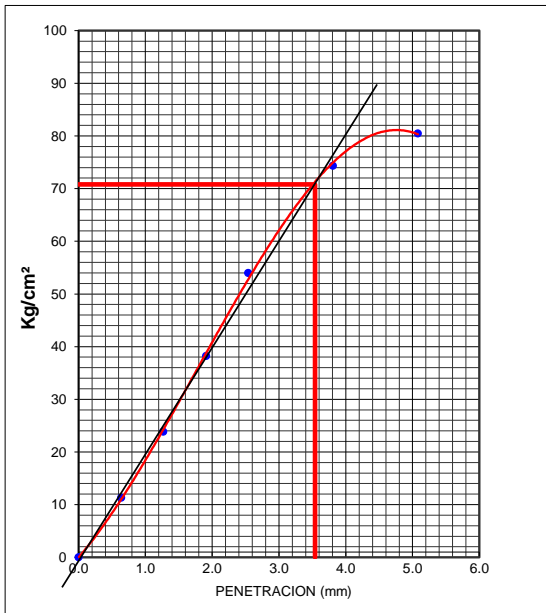
948 852 622 - 954 131 476 - 998 928 250

E-mail: servicios_lab@hotmail.com.

ENSAYO DE C.B.R. IN SITU (ASTM D 4429-93)

| | | | |
|--------------------|--|-----------------|-------------|
| PROYECTO | : "Influencia de las geoceldas de neumáticos reciclados en la capacidad de soporte del afirmado para base, Chota, 2021". | RES.LAB. | : S.B.F. |
| UBICACIÓN | : Chota, Cajamarca | TEC.LAB. | : S.A.C.M. |
| MATERIAL | : Afirmado | FECHA | : 2/08/2022 |
| PUNTO | : Geocelda Circular 01 | | |
| SOLICITANTE | : Rosmel Yover Chávez Mejía | | |

GRAFICO C.B.R. IN SITU



0.1"(%)= 101.1 %

| RESULTADOS DE CAMPO | | |
|---------------------|-------|-----|
| Ds. IN SITU | gr/cc | ___ |
| w IN SITU | % | ___ |

| PENETRACION | | LECTURA | CARGA | RESIST. |
|-------------|-------|---------|-------|---------------------|
| TIEMPO | mm | Dial | KG. | KG./cm ² |
| 0.00' | 0.000 | 0 | 0 | 0 |
| 0.30' | 0.640 | 102 | 229 | 11 |
| 1.00' | 1.270 | 215 | 483 | 24 |
| 1.30' | 1.910 | 345 | 775 | 38 |
| 2.00' | 2.540 | 487 | 1094 | 54 |
| 3.00' | 3.810 | 671 | 1507 | 74 |
| 4.00' | 5.080 | 726 | 1631 | 80 |
| | | | | |
| | | | | |

| | |
|----------------------|--|
| AREA DE PISTON | 20.27 cm2 |
| CALIBRACION Kg.. | Y = -0.00014863X ² + 4.37520822X + 12.8848759404354 |
| ELEMENTO DE REACCION | Volquete |

CBR a 0.1" 101.1 %

SERVICIOS DE LABORATORIOS DE SUELOS Y PAVIMENTOS S.A.C.



Av. Vicente Ruso Lote 1 S/N - Distrito de Chiclayo - Provincia de Chiclayo - Lambayeque RUC: 20487357465

Servicios de Laboratorios Chiclayo - EMP Asfaltos

948 852 622 - 954 131 476 - 998 928 250

E-mail: servicios_lab@hotmail.com.

ENSAYO DE C.B.R. IN SITU (ASTM D 4429-93)

PROYECTO : "Influencia de las geoceldas de neumáticos reciclados en la capacidad de soporte del afirmado para base, Chota, 2021".

UBICACIÓN : Chota, Cajamarca

MATERIAL : Afirmado

PUNTO : Geocelda Circular 02

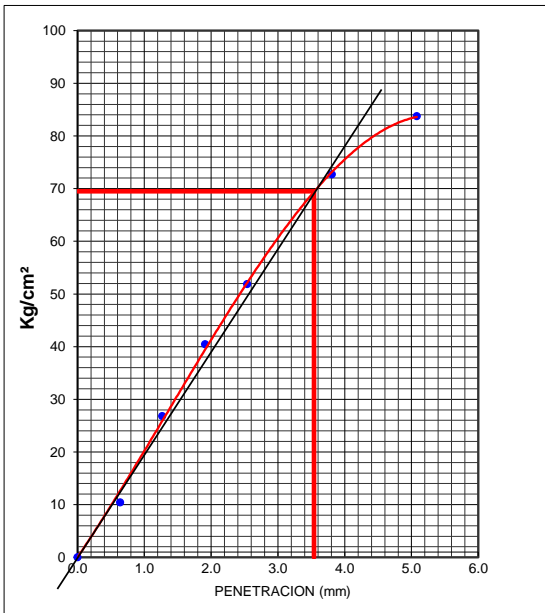
SOLICITANTE : Rosmel Yover Chávez Mejía

RES.LAB. : S.B.F.

TEC.LAB. : S.A.C.M.

FECHA : 2/08/2022

GRAFICO C.B.R. IN SITU



| RESULTADOS DE CAMPO | | |
|---------------------|-------|-----|
| Ds. IN SITU | gr/cc | --- |
| w IN SITU | % | --- |

| PENETRACION | | LECTURA | CARGA | RESIST. |
|-------------|-------|---------|-------|---------------------|
| TIEMPO | mm | Dial | KG. | KG./cm ² |
| 0.00' | 0.000 | 0 | 0 | 0 |
| 0.30' | 0.640 | 94 | 211 | 10 |
| 1.00' | 1.270 | 242 | 544 | 27 |
| 1.30' | 1.910 | 365 | 820 | 40 |
| 2.00' | 2.540 | 468 | 1051 | 52 |
| 3.00' | 3.810 | 656 | 1474 | 73 |
| 4.00' | 5.080 | 756 | 1698 | 84 |
| | | | | |
| | | | | |

0.1"(%)= 99.3 %

| | |
|----------------------|--|
| AREA DE PISTON | 20.27 cm ² |
| CALIBRACION Kg.. | Y = -0.00014863X ² + 4.37520822X + 12.8848759404354 |
| ELEMENTO DE REACCION | Volquete |

CBR a 0.1 " 99.3 %

SERVICIOS DE LABORATORIOS DE SUELOS Y PAVIMENTOS S.A.C.



Av. Vicente Ruso Lote 1 S/N - Distrito de Chiclayo - Provincia de Chiclayo - Lambayeque RUC: 20487357465

Servicios de Laboratorios Chiclayo - EMP Asfaltos

948 852 622 - 954 131 476 - 998 928 250

E-mail: servicios_lab@hotmail.com.

ENSAYO DE C.B.R. IN SITU (ASTM D 4429-93)

PROYECTO : "Influencia de las geoceldas de neumáticos reciclados en la capacidad de soporte del afirmado para base, Chota, 2021".

UBICACIÓN : Chota, Cajamarca

MATERIAL : Afirmado

PUNTO : Geocelda Circular 03

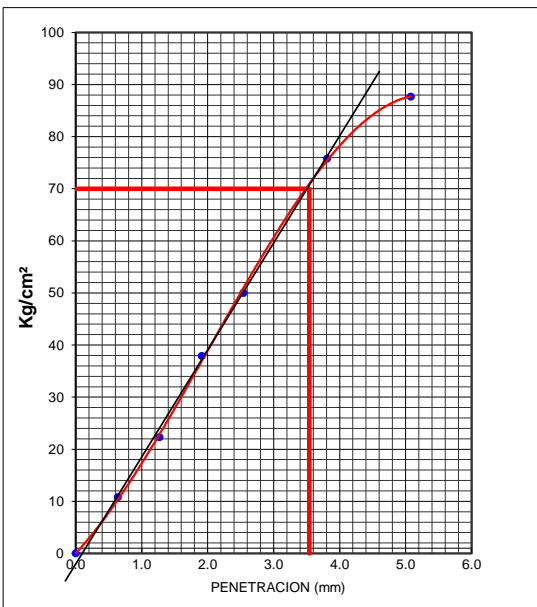
SOLICITANTE : Rosmel Yover Chávez Mejía

RES.LAB. : S.B.F.

TEC.LAB. : S.A.C.M.

FECHA : 2/08/2022

GRAFICO C.B.R. IN SITU



| RESULTADOS DE CAMPO | | |
|---------------------|-------|-----|
| Ds. IN SITU | gr/cc | ___ |
| w IN SITU | % | ___ |

| PENETRACION | | LECTURA | CARGA | RESIST. |
|-------------|-------|---------|-------|---------------------|
| TIEMPO | mm | Dial | KG. | KG./cm ² |
| 0.00' | 0.000 | 0 | 0 | 0 |
| 0.30' | 0.640 | 97 | 218 | 11 |
| 1.00' | 1.270 | 201 | 452 | 22 |
| 1.30' | 1.910 | 342 | 768 | 38 |
| 2.00' | 2.540 | 451 | 1013 | 50 |
| 3.00' | 3.810 | 684 | 1537 | 76 |
| 4.00' | 5.080 | 791 | 1777 | 88 |
| | | | | |
| | | | | |

0.1"(%)= 100.0 %

| | |
|----------------------|--|
| AREA DE PISTON | 20.27 cm ² |
| CALIBRACION Kg.. | Y = -0.00014863X ² + 4.37520822X + 12.8848759404354 |
| ELEMENTO DE REACCION | Volquete |

CBR a 0.1" 100.0 %

SERVICIOS DE LABORATORIOS DE SUELOS Y PAVIMENTOS S.A.C.



Av. Vicente Ruso Lote 1 S/N - Distrito de Chiclayo - Provincia de Chiclayo - Lambayeque RUC: 20487357465

Servicios de Laboratorios Chiclayo - EMP Asfaltos

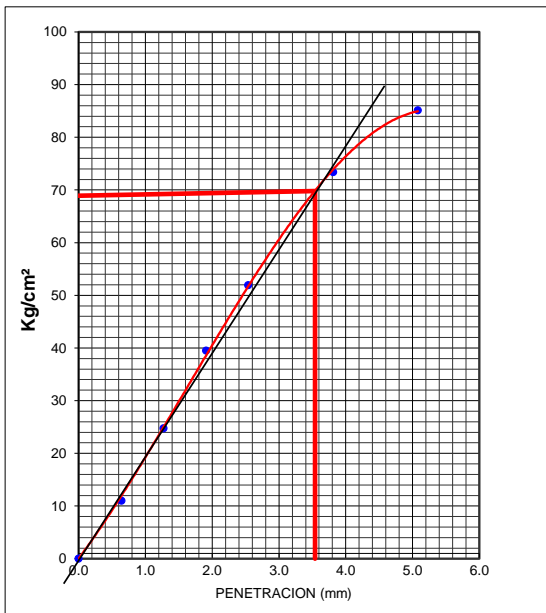
948 852 622 - 954 131 476 - 998 928 250

E-mail: servicios_lab@hotmail.com.

ENSAYO DE C.B.R. IN SITU (ASTM D 4429-93)

| | | | |
|--------------------|--|-----------------|-------------|
| PROYECTO | : "Influencia de las geoceldas de neumáticos reciclados en la capacidad de soporte del afirmado para base, Chota, 2021". | RES.LAB. | : S.B.F. |
| UBICACIÓN | : Chota, Cajamarca | TEC.LAB. | : S.A.C.M. |
| MATERIAL | : Afirmado | FECHA | : 2/08/2022 |
| PUNTO | : Geocelda Romboidal 01 | | |
| SOLICITANTE | : Rosmel Yover Chávez Mejía | | |

GRAFICO C.B.R. IN SITU



0.1"(%)= 99.7 %

| RESULTADOS DE CAMPO | | |
|---------------------|-------|---|
| Ds. IN SITU | gr/cc | — |
| w IN SITU | % | — |

| PENETRACION | | LECTURA | CARGA | RESIST. |
|-------------|-------|---------|-------|---------------------|
| TIEMPO | mm | Dial | KG. | KG./cm ² |
| 0.00' | 0.000 | 0 | 0 | 0 |
| 0.30' | 0.640 | 99 | 223 | 11 |
| 1.00' | 1.270 | 223 | 501 | 25 |
| 1.30' | 1.910 | 356 | 800 | 39 |
| 2.00' | 2.540 | 468 | 1051 | 52 |
| 3.00' | 3.810 | 662 | 1487 | 73 |
| 4.00' | 5.080 | 768 | 1725 | 85 |
| | | | | |
| | | | | |

| | |
|----------------------|--|
| AREA DE PISTON | 20.27 cm ² |
| CALIBRACION Kg.. | Y = -0.00014863X ² + 4.37520822X + 12.8848759404354 |
| ELEMENTO DE REACCION | Volquete |

CBR a 0.1" 99.7 %

SERVICIOS DE LABORATORIOS DE SUELOS Y PAVIMENTOS S.A.C.



Av. Vicente Ruso Lote 1 S/N - Distrito de Chiclayo - Provincia de Chiclayo - Lambayeque RUC: 20487357465

Servicios de Laboratorios Chiclayo - EMP Asfaltos

948 852 622 - 954 131 476 - 998 928 250

E-mail: servicios_lab@hotmail.com.

ENSAYO DE C.B.R. IN SITU (ASTM D 4429-93)

PROYECTO : "Influencia de las geoceldas de neumáticos reciclados en la capacidad de soporte del afirmado para base, Chota, 2021".

UBICACIÓN : Chota, Cajamarca

MATERIAL : Afirmado

PUNTO : Geocelda Romboidal 02

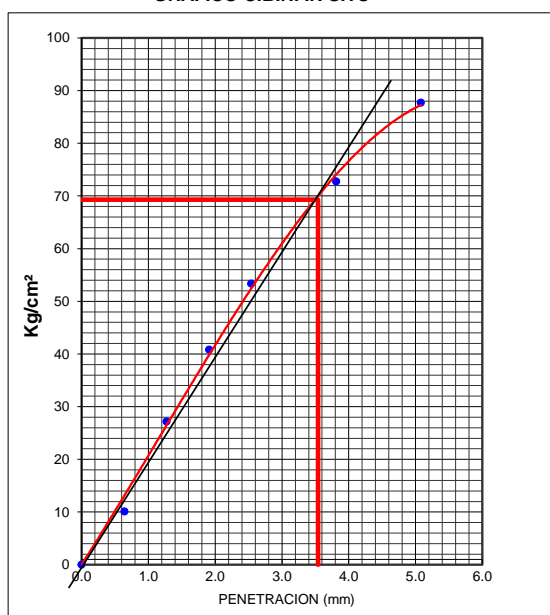
SOLICITANTE : Rosmel Yover Chávez Mejía

RES.LAB. : S.B.F.

TEC.LAB. : S.A.C.M.

FECHA : 2/08/2022

GRAFICO C.B.R. IN SITU



| RESULTADOS DE CAMPO | | |
|---------------------|-------|---|
| Ds. IN SITU | gr/cc | — |
| w IN SITU | % | — |

| PENETRACION | | LECTURA | CARGA | RESIST. |
|-------------|-------|---------|-------|---------------------|
| TIEMPO | mm | Dial | KG. | KG./cm ² |
| 0.00' | 0.000 | 0 | 0 | 0 |
| 0.30' | 0.640 | 91 | 205 | 10 |
| 1.00' | 1.270 | 245 | 551 | 27 |
| 1.30' | 1.910 | 368 | 827 | 41 |
| 2.00' | 2.540 | 481 | 1081 | 53 |
| 3.00' | 3.810 | 656 | 1474 | 73 |
| 4.00' | 5.080 | 791 | 1777 | 88 |
| | | | | |
| | | | | |

0.1"(%)= 99.0 %

| | |
|----------------------|--|
| AREA DE PISTON | 20.27 cm ² |
| CALIBRACION Kg.. | Y = -0.00014863X ² + 4.37520822X + 12.8848759404354 |
| ELEMENTO DE REACCION | Volquete |

CBR a 0.1" 99.0 %

SERVICIOS DE LABORATORIOS DE SUELOS Y PAVIMENTOS S.A.C.



Av. Vicente Ruso Lote 1 S/N - Distrito de Chiclayo - Provincia de Chiclayo - Lambayeque RUC: 20487357465

Servicios de Laboratorios Chiclayo - EMP Asfaltos

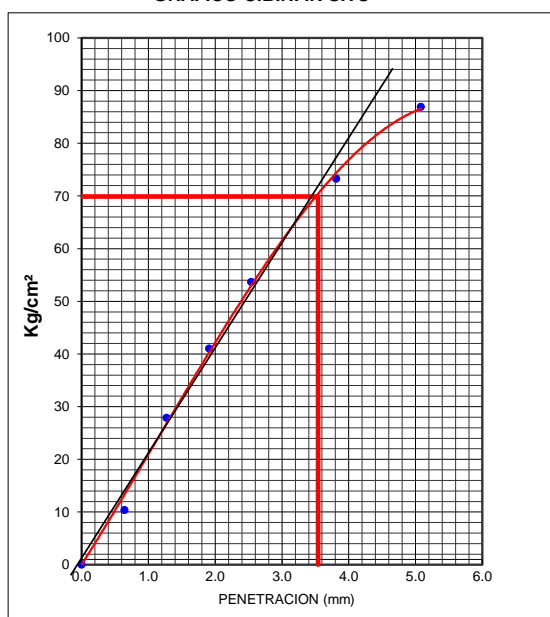
948 852 622 - 954 131 476 - 998 928 250

E-mail: servicios_lab@hotmail.com.

ENSAYO DE C.B.R. IN SITU (ASTM D 4429-93)

| | | | |
|--------------------|--|-----------------|-------------|
| PROYECTO | : "Influencia de las geoceldas de neumáticos reciclados en la capacidad de soporte del afirmado para base, Chota, 2021". | RES.LAB. | : S.B.F. |
| UBICACIÓN | : Chota, Cajamarca | TEC.LAB. | : S.A.C.M. |
| MATERIAL | : Afirmado | FECHA | : 2/08/2022 |
| PUNTO | : Geocelda Romboidal 03 | | |
| SOLICITANTE | : Rosmel Yover Chávez Mejía | | |

GRAFICO C.B.R. IN SITU



0.1"(%)= 99.9 %

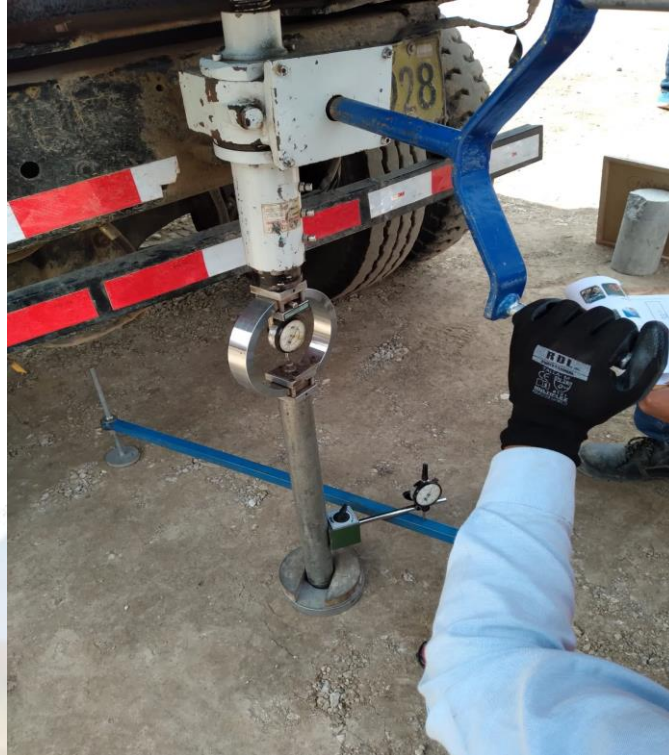
| RESULTADOS DE CAMPO | | |
|---------------------|-------|---|
| Ds. IN SITU | gr/cc | — |
| w IN SITU | % | — |

| PENETRACION | | LECTURA | CARGA | RESIST. |
|-------------|-------|---------|-------|---------------------|
| TIEMPO | mm | Dial | KG. | KG./cm ² |
| 0.00' | 0.000 | 0 | 0 | 0 |
| 0.30' | 0.640 | 93 | 209 | 10 |
| 1.00' | 1.270 | 251 | 564 | 28 |
| 1.30' | 1.910 | 370 | 831 | 41 |
| 2.00' | 2.540 | 484 | 1087 | 54 |
| 3.00' | 3.810 | 661 | 1485 | 73 |
| 4.00' | 5.080 | 784 | 1761 | 87 |
| | | | | |
| | | | | |

| | |
|----------------------|--|
| AREA DE PISTON | 20.27 cm2 |
| CALIBRACION Kg.. | Y = -0.00014863X ² + 4.37520822X + 12.8848759404354 |
| ELEMENTO DE REACCION | Volquete |

CBR a 0.1" 99.9 %

PANEL FOTOGRAFICO



SERVICIOS DE LABORATORIOS
DE SUELOS Y PAVIMENTOS S.A.C.
Secundino B. S. Fernández
REG. S.A.C. 189278

Anexo G. Certificados INDECOPI e INACAL

La Dirección de Acreditación del Instituto Nacional de Calidad – INACAL, en el marco de la Ley N° 30224, OTORGA el presente certificado de Acreditación a:

PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C.

Laboratorio de Calibración

En su sede ubicada en: Sector 1, Grupo 10, Mz M Lote 23, distrito Villa El Salvador, provincia Lima, departamento Lima.

Con base en la norma

NTP-ISO/IEC 17025:2006 Requisitos Generales para la Competencia de los Laboratorios de Ensayo y Calibración

Facultándolo a emitir Certificados de Calibración con Símbolo de Acreditación. En el alcance de la acreditación otorgada que se detalla en el DA-acr-05P-21F que forma parte integral del presente certificado llevando el mismo número del registro indicado líneas abajo.

Fecha de Acreditación: 09 de abril de 2019

Fecha de Vencimiento: 08 de abril de 2022



ESTELA CONTRERAS JUGO
Directora, Dirección de Acreditación - INACAL



Punto de Precisión SAC

PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C.

LABORATORIO DE CALIBRACIÓN

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° LFP - 114 - 2020

Página : 1 de 2

Expediente : T 075-2020
Fecha de emisión : 2020-06-08

1. Solicitante : GSE LABORATORIO INGENIERIA Y CONSTRUCCIÓN S.A.C.
Dirección : JR. CAJAMARCA NRO. 792 - CHOTA - CAJAMARCA

El Equipo de medición con el modelo y número de serie abajo. Indicados ha sido calibrado probado y verificado usando patrones certificados con trazabilidad a la Dirección de Metrología del INACAL y otros.

2. Descripción del Equipo : PRENSA CBR

Marca de Prensa : ORION
Modelo de Prensa : JPSHV-01
Serie de Prensa : JVB-004

Marca de Celda : KELI
Modelo de Celda : A-FED
Serie de Celda : AQJM167
Capacidad de Celda : 5 t

Marca de indicador : HIGH WEIGHT
Modelo de Indicador : 315-X8
Serie de Indicador : 2019700

Los resultados son válidos en el momento y en las condiciones de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento la ejecución de una recalibración, la cual está en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición o a reglamentaciones vigentes.

Punto de Precision S.A.C no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.

3. Lugar y fecha de Calibración
LABORATORIO DE PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C.
05 - JUNIO - 2020

4. Método de Calibración
La Calibración se realizo de acuerdo a la norma ASTM E4 .

5. Trazabilidad

| INSTRUMENTO | MARCA | CERTIFICADO O INFORME | TRAZABILIDAD |
|----------------|-----------------|-----------------------|-------------------------------|
| CELDA DE CARGA | AEP TRANSDUCERS | INF-LE 090-2018 | UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ |
| INDICADOR | AEP TRANSDUCERS | | |

6. Condiciones Ambientales

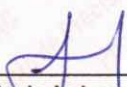
| | INICIAL | FINAL |
|----------------|---------|-------|
| Temperatura °C | 20,9 | 21,2 |
| Humedad % | 62 | 63 |

7. Resultados de la Medición
Los errores de la prensa se encuentran en la página siguiente.

8. Observaciones

Con fines de identificación se ha colocado una etiqueta autoadhesiva de color verde con el número de certificado y fecha de calibración de la empresa PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C.





Jefe de Laboratorio
Ing. Luis Loayza Capcha
Reg. CIP N° 152631



TABLA N° 1

| SISTEMA DIGITAL "A" kgf | SERIES DE VERIFICACIÓN (kgf) | | | | PROMEDIO "B" kgf | ERROR Ep % | RPTBLD Rp % |
|-------------------------|------------------------------|---------|-------------|-------------|------------------|------------|-------------|
| | SERIE 1 | SERIE 2 | ERROR (1) % | ERROR (2) % | | | |
| 500 | 502,80 | 503,20 | -0,56 | -0,64 | 503,00 | -0,60 | -0,08 |
| 1000 | 1006,50 | 1006,90 | -0,65 | -0,69 | 1006,70 | -0,67 | -0,04 |
| 1500 | 1503,45 | 1502,60 | -0,23 | -0,17 | 1503,03 | -0,20 | 0,06 |
| 2000 | 2001,60 | 1999,40 | -0,08 | 0,03 | 2000,50 | -0,02 | 0,11 |
| 2500 | 2493,45 | 2495,85 | 0,26 | 0,17 | 2494,65 | 0,21 | -0,10 |
| 3000 | 2988,65 | 2992,50 | 0,38 | 0,25 | 2990,58 | 0,32 | -0,13 |
| 3500 | 3492,50 | 3487,25 | 0,21 | 0,36 | 3489,88 | 0,29 | 0,15 |
| 4000 | 3995,40 | 3986,50 | 0,11 | 0,34 | 3990,95 | 0,23 | 0,22 |

NOTAS SOBRE LA CALIBRACIÓN

1.- Ep y Rp son el Error Porcentual y la Repetibilidad definidos en la citada Norma:

$$Ep = \frac{(A-B)}{B} * 100 \quad Rp = \text{Error}(2) - \text{Error}(1)$$

2.- La norma exige que Ep y Rp no excedan el 1,0 %

3.- Coeficiente Correlación: $R^2 = 1$

Ecuación de ajuste : $y = 1,0051x - 8,7837$

Donde: x : Lectura de la pantalla
y : Fuerza promedio (kgf)

GRÁFICO N° 1

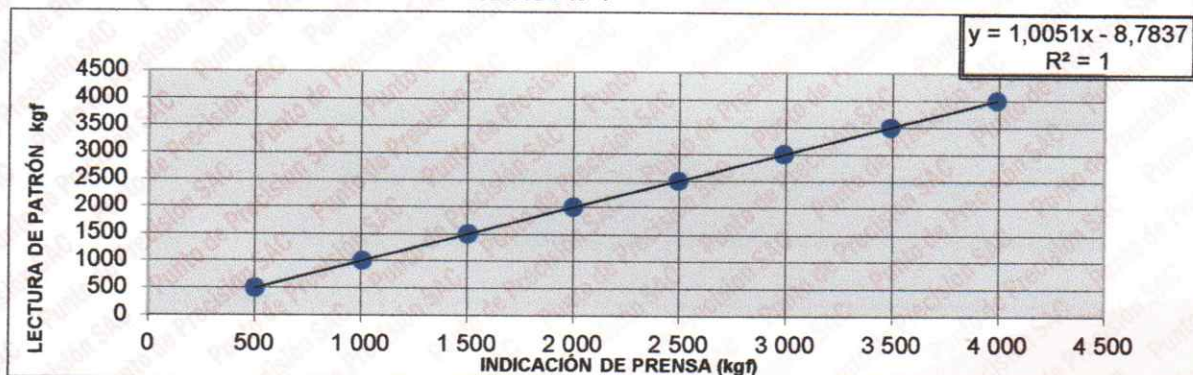
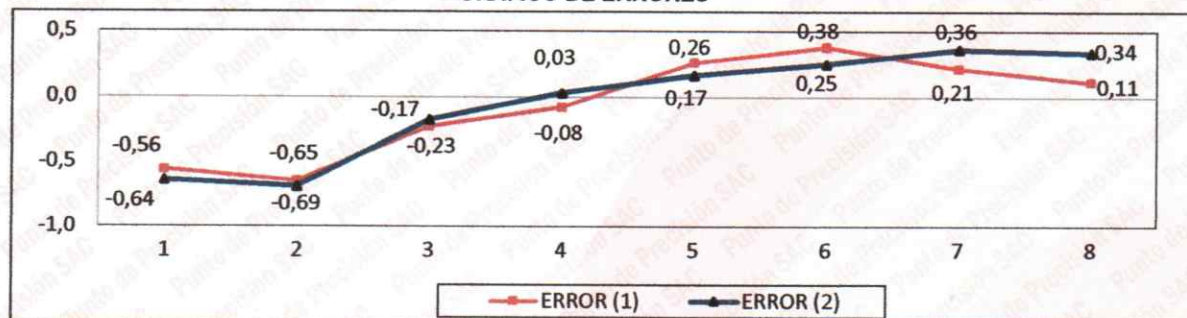


GRÁFICO DE ERRORES



FIN DEL DOCUMENTO



Jefe de Laboratorio
Ing. Luis Loayza Capcha
Reg. CIP N° 152631



Punto de Precisión SAC

LABORATORIO DE CALIBRACIÓN ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA
CON REGISTRO N° LC - 033



Registro N° LC - 033

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° LM-181-2020

Página: 1 de 3

Expediente : T 075-2020
Fecha de Emisión : 2020-06-08

1. **Solicitante** : GSE LABORATORIO INGENIERIA Y
CONSTRUCCIÓN S.A.C.
Dirección : JR. CAJAMARCA NRO. 792 - CHOTA - CAJAMARCA

2. **Instrumento de Medición** : **BALANZA**

Marca : OHAUS
Modelo : R21PE30ZH
Número de Serie : B847537336

Alcance de Indicación : 30 kg

División de Escala de Verificación (e) : 0,001 kg

División de Escala Real (d) : 0,01 kg

Procedencia : NO INDICA

Identificación : NO INDICA

Tipo : ELECTRÓNICA

Ubicación : LOCAL

Fecha de Calibración : 2020-06-05

La incertidumbre reportada en el presente certificado es la incertidumbre expandida de medición que resulta de multiplicar la incertidumbre estándar por el factor de cobertura $k=2$. La incertidumbre fue determinada según la "Guía para la Expresión de la incertidumbre en la medición". Generalmente, el valor de la magnitud está dentro del intervalo de los valores determinados con la incertidumbre expandida con una probabilidad de aproximadamente 95 %.

Los resultados son válidos en el momento y en las condiciones en que se realizaron las mediciones y no debe ser utilizado como certificado de conformidad con normas de productos o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Al solicitante le corresponde disponer en su momento la ejecución de una recalibración, la cual está en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición o a reglamentaciones vigentes.

PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.

3. **Método de Calibración**

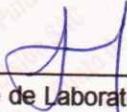
La calibración se realizó mediante el método de comparación según el PC-001 1ra Edición, 2019; Procedimiento para la Calibración de Balanzas de Funcionamiento no Automático Clase III y IIII del INACAL-DM.

4. **Lugar de Calibración**

JR. TENIENTE JIMENEZ N° 188 - CHORRILLOS



PT-06.F06 / Diciembre 2016 / Rev 02



Jefe de Laboratorio
Ing. Luis Loayza Capcha
Reg. CIP N° 152631

Av. Los Ángeles 653 - LIMA 42 Telf. 292-5106

www.puntodeprecision.com E-mail: info@puntodeprecision.com / puntodeprecision@hotmail.com

PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO SIN AUTORIZACIÓN DE PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C.



Punto de Precisión SAC

LABORATORIO DE CALIBRACIÓN ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LC - 033



Registro N° LC - 033

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° LM-181-2020

Página: 2 de 3

5. Condiciones Ambientales

| | Mínima | Máxima |
|------------------|--------|--------|
| Temperatura | 19,8 | 20,0 |
| Humedad Relativa | 57,8 | 58,8 |

6. Trazabilidad

Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales, que realizan las unidades de medida de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

| Trazabilidad | Patrón utilizado | Certificado de calibración |
|--------------|-------------------------------|----------------------------|
| INACAL - DM | Juego de pesas (exactitud F1) | IP-296-2019 |
| | Pesas (exactitud M2) | M-001-2020 |

7. Observaciones

(*) La balanza se calibró hasta una capacidad de 30,0002 kg

No se realizó ajuste a la balanza antes de su calibración.

Los errores máximos permitidos (e.m.p.) para esta balanza corresponden a los e.m.p. para balanzas en uso de funcionamiento no automático de clase de exactitud III, según la Norma Metrológica Peruana 003 - 2009. Instrumentos de Pesaje de Funcionamiento no Automático.

Se colocó una etiqueta autoadhesiva de color verde con la indicación de "CALIBRADO".

Los resultados de este certificado de calibración no debe ser utilizado como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

8. Resultados de Medición

| INSPECCIÓN VISUAL | | | |
|-------------------|-------|----------------|----------|
| AJUSTE DE CERO | TIENE | ESCALA | NO TIENE |
| OSCILACIÓN LIBRE | TIENE | CURSOR | NO TIENE |
| PLATAFORMA | TIENE | SIST. DE TRABA | NO TIENE |
| NIVELACIÓN | TIENE | | |

ENSAYO DE REPETIBILIDAD

| Medición N° | Carga L1= 15,000 kg | | | Carga L2= 30,000 kg | | |
|--------------------------|---------------------|---------|---------|---------------------|---------|---------|
| | l (kg) | ΔL (kg) | E (kg) | l (kg) | ΔL (kg) | E (kg) |
| 1 | 15,001 | 0,0003 | 0,0013 | 30,001 | 0,0007 | 0,0006 |
| 2 | 15,001 | 0,0006 | 0,0010 | 30,001 | 0,0008 | 0,0005 |
| 3 | 15,000 | 0,0007 | -0,0001 | 30,001 | 0,0006 | 0,0007 |
| 4 | 15,000 | 0,0008 | -0,0002 | 30,001 | 0,0009 | 0,0004 |
| 5 | 15,001 | 0,0005 | 0,0011 | 30,000 | 0,0008 | -0,0005 |
| 6 | 15,001 | 0,0006 | 0,0010 | 30,000 | 0,0006 | -0,0003 |
| 7 | 15,001 | 0,0009 | 0,0007 | 30,001 | 0,0007 | 0,0006 |
| 8 | 15,001 | 0,0008 | 0,0008 | 30,001 | 0,0008 | 0,0005 |
| 9 | 15,001 | 0,0006 | 0,0010 | 30,001 | 0,0009 | 0,0004 |
| 10 | 15,001 | 0,0004 | 0,0012 | 30,000 | 0,0008 | -0,0005 |
| Diferencia Máxima | | | 0,0015 | 0,0012 | | |
| Error máximo permitido ± | | | 0,02 kg | ± 0,03 kg | | |



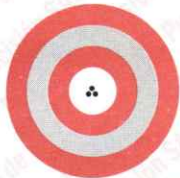
PT-06.F06 / Diciembre 2016 / Rev 02

Jefe de Laboratorio
Ing. Luis Loayza Capcha
Reg. CIP N° 152631

Av. Los Ángeles 653 - LIMA 42 Telf. 292-5106

www.puntodeprecision.com E-mail: info@puntodeprecision.com / puntodeprecision@hotmail.com

PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO SIN AUTORIZACIÓN DE PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C.



Punto de Precisión SAC

LABORATORIO DE CALIBRACIÓN ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LC - 033



Registro N° LC - 033

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° LM-181-2020

Página: 3 de 3

Diagram showing positions 1, 2, 3, 4, 5 for eccentricity test

ENSAYO DE EXCENTRICIDAD

Table with columns: Posición de la Carga, Determinación de E0, Determinación del Error corregido. Includes Temp. (°C) and Error máximo permitido: ± 0,02 kg

(*) valor entre 0 y 10 e

ENSAYO DE PESAJE

Table with columns: Carga L (kg), CRECIENTES, DECRECIENTES, ± emp (kg). Includes Temp. (°C) and error values for various loads.

e.m.p.: error máximo permitido

Formula for corrected reading and expanded uncertainty: R_corregida = R - 3,80x10^-5 x R; U_R = 2 * sqrt(5,21x10^-7 kg^2 + 1,79x10^-9 x R^2)

R: Lectura de la balanza; ΔL: Carga Incrementada; E: Error encontrado; E0: Error en cero; Ec: Error corregido

R: en kg

FIN DEL DOCUMENTO



PT-06.F06 / Diciembre 2016 / Rev 02

Jefe de Laboratorio Ing. Luis Loayza Capcha Reg. CIP N° 152631

Av. Los Ángeles 653 - LIMA 42 Telf. 292-5106

www.puntodeprecision.com E-mail: info@puntodeprecision.com / puntodeprecision@hotmail.com

REQUIRIDA LA REPRODUCCIÓN PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO SIN AUTORIZACIÓN DE PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C.



Punto de Precisión SAC

LABORATORIO DE CALIBRACIÓN ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA
CON REGISTRO N° LC - 033



Registro N° LC - 033

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° LM-183-2020

Página: 1 de 3

Expediente : T 075-2020
Fecha de Emisión : 2020-06-08

1. **Solicitante** : GSE LABORATORIO INGENIERIA Y
CONSTRUCCIÓN S.A.C.
Dirección : JR. CAJAMARCA NRO. 792 - CHOTA - CAJAMARCA

2. **Instrumento de Medición** : **BALANZA**

Marca : OHAUS

Modelo : CL501T

Número de Serie : 7131121053

Alcance de Indicación : 500 g

División de Escala
de Verificación (e) : 0,1 g

División de Escala Real (d) : 0,1 g

Procedencia : NO INDICA

Identificación : NO INDICA

Tipo : ELECTRÓNICA

Ubicación : LOCAL

Fecha de Calibración : 2020-06-05

La incertidumbre reportada en el presente certificado es la incertidumbre expandida de medición que resulta de multiplicar la incertidumbre estándar por el factor de cobertura $k=2$. La incertidumbre fue determinada según la "Guía para la Expresión de la incertidumbre en la medición". Generalmente, el valor de la magnitud está dentro del intervalo de los valores determinados con la incertidumbre expandida con una probabilidad de aproximadamente 95 %.

Los resultados son válidos en el momento y en las condiciones en que se realizaron las mediciones y no debe ser utilizado como certificado de conformidad con normas de productos o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Al solicitante le corresponde disponer en su momento la ejecución de una recalibración, la cual está en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición o a reglamentaciones vigentes.

PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.

3. **Método de Calibración**

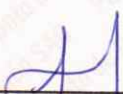
La calibración se realizó mediante el método de comparación según el PC-011 4ta Edición, 2010; Procedimiento para la Calibración de Balanzas de Funcionamiento no Automático Clase I y II del SNM-INDECOPI.

4. **Lugar de Calibración**

JR. TENIENTE JIMENEZ N° 188 - CHORRILLOS



PT-06.F06 / Diciembre 2016 / Rev 02



Jefe de Laboratorio
Ing. Luis Loayza Capcha
Reg. CIP N° 152631

Av. Los Angeles 653 - LIMA 42 Telf. 292-5106

www.puntodeprecision.com E-mail: info@puntodeprecision.com / puntodeprecision@hotmail.com

PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO SIN AUTORIZACIÓN DE PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C.



Punto de Precisión SAC

LABORATORIO DE CALIBRACIÓN ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LC - 033



Registro N° LC - 033

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° LM-183-2020

Página: 2 de 3

5. Condiciones Ambientales

| | Minima | Máxima |
|------------------|--------|--------|
| Temperatura | 20,9 | 21,0 |
| Humedad Relativa | 59,7 | 59,7 |

6. Trazabilidad

Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales, que realizan las unidades de medida de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

| Trazabilidad | Patrón utilizado | Certificado de calibración |
|--------------|-------------------------------|----------------------------|
| INACAL - DM | Juego de pesas (exactitud F1) | IP-296-2019 |

7. Observaciones

(*) La balanza se calibró hasta una capacidad de 500,00 g No se realizó ajuste a la balanza antes de su calibración.

Los errores máximos permitidos (e.m.p.) para esta balanza corresponden a los e.m.p. para balanzas en uso de funcionamiento no automático de clase de exactitud II, según la Norma Metrológica Peruana 003 - 2009. Instrumentos de Pesaje de Funcionamiento no Automático.

Se colocó una etiqueta autoadhesiva de color verde con la indicación de "CALIBRADO".

Los resultados de este certificado de calibración no debe ser utilizado como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

8. Resultados de Medición

| INSPECCIÓN VISUAL | | | |
|-------------------|-------|----------------|----------|
| AJUSTE DE CERO | TIENE | ESCALA | NO TIENE |
| OSCILACIÓN LIBRE | TIENE | CURSOR | NO TIENE |
| PLATAFORMA | TIENE | SIST. DE TRABA | NO TIENE |
| NIVELACIÓN | TIENE | | |

ENSAYO DE REPETIBILIDAD

| Medición N° | Temp. (°C) | | | | | |
|--------------------------|-------------------|--------|-------|-------------------|--------|-------|
| | Inicial | | | Final | | |
| | 21,0 | | | 21,0 | | |
| | Carga L1= 250,0 g | | | Carga L2= 500,0 g | | |
| | I (g) | ΔL (g) | E (g) | I (g) | ΔL (g) | E (g) |
| 1 | 250,1 | 0,06 | 0,09 | 500,1 | 0,07 | 0,08 |
| 2 | 250,0 | 0,05 | 0,00 | 500,1 | 0,06 | 0,09 |
| 3 | 250,0 | 0,06 | -0,01 | 500,1 | 0,08 | 0,07 |
| 4 | 250,0 | 0,08 | -0,03 | 500,1 | 0,06 | 0,09 |
| 5 | 250,1 | 0,05 | 0,10 | 500,0 | 0,05 | 0,00 |
| 6 | 250,1 | 0,06 | 0,09 | 500,0 | 0,07 | -0,02 |
| 7 | 250,0 | 0,03 | 0,02 | 500,0 | 0,08 | -0,03 |
| 8 | 250,0 | 0,05 | 0,00 | 500,0 | 0,09 | -0,04 |
| 9 | 250,0 | 0,04 | 0,01 | 500,1 | 0,07 | 0,08 |
| 10 | 250,0 | 0,06 | -0,01 | 500,0 | 0,06 | -0,01 |
| Diferencia Máxima | | | 0,13 | | | 0,13 |
| Error máximo permitido ± | | | 0,1 g | | | 0,2 g |



PT-06.F06 / Diciembre 2016 / Rev 02

Jefe de Laboratorio
Ing. Luis Loayza Capcha
Reg. CIP N° 152631

Av. Los Ángeles 653 - LIMA 42 Telf. 292-5106

www.puntodeprecision.com E-mail: info@puntodeprecision.com / puntodeprecision@hotmail.com

PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO SIN AUTORIZACIÓN DE PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C.



Punto de Precisión SAC

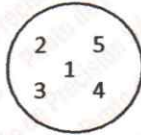
LABORATORIO DE CALIBRACIÓN ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LC - 033



Registro N° LC - 033

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° LM-183-2020

Página: 3 de 3



ENSAYO DE EXCENTRICIDAD

| Posición de la Carga | Determinación de E ₀ | | | | Determinación del Error corregido | | | | | |
|----------------------|---------------------------------|-------|--------|--------------------|-----------------------------------|-------|--------|-------|----------------------------------|-------|
| | Carga mínima (g) | l (g) | ΔL (g) | E ₀ (g) | Carga L (g) | l (g) | ΔL (g) | E (g) | E _c (g) | |
| 1 | 1,0 | 1,0 | 0,06 | -0,01 | 150,0 | 150,0 | 0,07 | -0,02 | -0,01 | |
| 2 | | 1,0 | 0,08 | -0,03 | | 150,0 | 0,05 | 0,00 | 0,03 | |
| 3 | | 1,0 | 0,05 | 0,00 | | 150,0 | 0,06 | -0,01 | -0,01 | |
| 4 | | 1,0 | 0,06 | -0,01 | | 150,0 | 0,06 | -0,01 | 0,00 | |
| 5 | | 1,0 | 0,08 | -0,03 | | 150,0 | 0,08 | -0,03 | 0,00 | |
| Temp. (°C) | | | | | | | | | Inicial | Final |
| | | | | | | | | | 21,0 | 20,9 |
| | | | | | | | | | Error máximo permitido : ± 0,1 g | |

(*) valor entre 0 y 10 e

ENSAYO DE PESAJE

| Carga L (g) | CRECIENTES | | | | DECRECIENTES | | | | ± emp (g) |
|-------------|------------|--------|-------|--------------------|--------------|--------|-------|--------------------|-----------|
| | l (g) | ΔL (g) | E (g) | E _c (g) | l (g) | ΔL (g) | E (g) | E _c (g) | |
| 1,00 | 1,0 | 0,06 | -0,01 | | | | | | |
| 5,00 | 5,0 | 0,05 | 0,00 | 0,01 | 5,0 | 0,05 | 0,00 | 0,01 | 0,1 |
| 10,00 | 10,0 | 0,08 | -0,03 | -0,02 | 10,0 | 0,06 | -0,01 | 0,00 | 0,1 |
| 20,00 | 20,0 | 0,06 | -0,01 | 0,00 | 20,0 | 0,05 | 0,00 | 0,01 | 0,1 |
| 50,00 | 50,0 | 0,06 | -0,01 | 0,00 | 50,0 | 0,06 | -0,01 | 0,00 | 0,1 |
| 70,00 | 70,0 | 0,05 | 0,00 | 0,01 | 70,0 | 0,04 | 0,01 | 0,02 | 0,1 |
| 100,00 | 100,0 | 0,04 | 0,01 | 0,02 | 100,1 | 0,06 | 0,09 | 0,10 | 0,1 |
| 150,00 | 150,1 | 0,07 | 0,08 | 0,09 | 150,1 | 0,05 | 0,10 | 0,11 | 0,1 |
| 200,00 | 200,0 | 0,05 | 0,00 | 0,01 | 200,1 | 0,05 | 0,10 | 0,11 | 0,1 |
| 400,00 | 400,1 | 0,06 | 0,09 | 0,10 | 400,1 | 0,05 | 0,10 | 0,11 | 0,1 |
| 500,00 | 500,0 | 0,05 | 0,00 | 0,01 | 500,0 | 0,05 | 0,00 | 0,01 | 0,1 |

e.m.p.: error máximo permitido

Lectura corregida e incertidumbre expandida del resultado de una pesada

$$R_{\text{corregida}} = R - 1,45 \times 10^{-4} \times R$$

Incertidumbre

$$U_R = 2 \sqrt{5,53 \times 10^{-3} \text{ g}^2 + 1,43 \times 10^{-8} \times R^2}$$

R: Lectura de la balanza ΔL: Carga Incrementada E: Error encontrado E₀: Error en cero E_c: Error corregido

R: en g

FIN DEL DOCUMENTO



PT-06.F06 / Diciembre 2016 / Rev 02

Jefe de Laboratorio
Ing. Luis Loayza Capcha
Reg. CIP N° 152631

Av. Los Ángeles 653 - LIMA 42 Telf. 292-5106

www.puntodeprecision.com E-mail: info@puntodeprecision.com / puntodeprecision@hotmail.com



Punto de Precisión SAC

PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C.

LABORATORIO DE CALIBRACIÓN

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° LT - 141 - 2020

Página : 1 de 4

Expediente : T 075-2020
Fecha de emisión : 2020-06-08

1. Solicitante : GSE LABORATORIO INGENIERIA Y CONSTRUCCIÓN S.A.
Dirección : JR. CAJAMARCA NRO. 792 - CHOTA - CAJAMARCA

El instrumento de medición con el modelo y número de serie abajo indicados ha sido calibrado, probado y verificado usando patrones certificados con trazabilidad a la Dirección de Metrología del INACAL y otros.

2. Instrumento de Medición : ESTUFA
Indicación : DIGITAL
Marca del Equipo : NO INDICA
Modelo del Equipo : JLA-01
Serie del Equipo : JHE-012
Capacidad del Equipo : 80 L
Marca de indicador : AUTONICS
Modelo de indicador : TCN4S
Temperatura calibrada : 110 °C
Procedencia : NO INDICA

Los resultados son válidos en el momento y en las condiciones de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento la ejecución de una recalibración, la cual está en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición o a reglamentaciones vigentes.

Punto de Precisión S.A.C no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.

3. Lugar y fecha de Calibración
LABORATORIO DE PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C.
05 - JUNIO - 2020

4. Método de Calibración
La calibración se efectuó según el procedimiento de calibración PC-018 del Servicio Nacional de Metrología del INACAL - DM.

5. Trazabilidad

| INSTRUMENTO | MARCA | CERTIFICADO | TRAZABILIDAD |
|--------------------|-----------|------------------|--------------|
| TERMOMETRO DIGITAL | DELTA OHM | LT - 075 - 2018 | INACAL - DM |
| TERMOMETRO DIGITAL | FLUKE | LT - 0564 - 2019 | INACAL - DM |
| TERMOMETRO DIGITAL | FLUKE | LT - 0565 - 2019 | INACAL - DM |
| TERMOMETRO DIGITAL | FLUKE | LT - 0566 - 2019 | INACAL - DM |

6. Condiciones Ambientales

| | INICIAL | FINAL |
|----------------|---------|-------|
| Temperatura °C | 20,9 | 21,5 |
| Humedad % | 61 | 62 |


7. Conclusiones

La estufa se encuentra dentro de los rangos 110 °C ± 5 °C para la realización de los ensayos de laboratorio según la norma ASTM.

8. Observaciones

Con fines de identificación se ha colocado una etiqueta autoadhesiva de color verde con el número de certificado y fecha de calibración de la empresa PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C.




Jefe de Laboratorio
Ing. Luis Loayza Capcha
Reg. CIP N° 152631



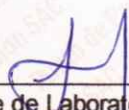
CALIBRACIÓN PARA 110 °C

| Tiempo (min.) | Ind. (°C) Temperatura del equipo | TEMPERATURA EN LAS POSICIONES DE MEDICIÓN (°C) | | | | | | | | | | T. prom. (°C) | ΔTMax. - TMin. (°C) |
|---------------|-------------------------------------|--|-------|-------|-------|-------|----------------|-------|-------|-------|-------|---------------|---------------------|
| | | NIVEL INFERIOR | | | | | NIVEL SUPERIOR | | | | | | |
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | | |
| 0 | 110,0 | 113,9 | 114,5 | 113,2 | 114,7 | 114,6 | 114,8 | 113,6 | 113,4 | 114,6 | 113,2 | 114,1 | 1,6 |
| 2 | 110,0 | 113,6 | 114,6 | 113,4 | 114,6 | 114,2 | 114,2 | 113,5 | 113,2 | 114,5 | 113,4 | 113,9 | 1,4 |
| 4 | 110,0 | 113,5 | 114,2 | 113,2 | 114,3 | 114,3 | 114,3 | 113,2 | 113,5 | 114,3 | 113,2 | 113,8 | 1,1 |
| 6 | 110,0 | 113,2 | 114,3 | 113,3 | 114,0 | 114,2 | 114,5 | 113,3 | 113,2 | 114,2 | 113,3 | 113,8 | 1,3 |
| 8 | 110,0 | 113,4 | 114,2 | 113,6 | 114,3 | 114,3 | 114,5 | 113,3 | 113,3 | 114,3 | 113,0 | 113,8 | 1,5 |
| 10 | 110,0 | 113,2 | 114,3 | 113,2 | 114,2 | 114,3 | 114,0 | 113,6 | 113,2 | 114,2 | 113,0 | 113,7 | 1,3 |
| 12 | 110,0 | 113,3 | 114,4 | 113,4 | 114,3 | 114,3 | 114,0 | 113,2 | 113,4 | 114,3 | 113,2 | 113,8 | 1,2 |
| 14 | 110,0 | 113,3 | 114,2 | 113,5 | 114,5 | 114,5 | 114,6 | 113,3 | 113,5 | 114,3 | 113,2 | 113,9 | 1,4 |
| 16 | 110,0 | 113,6 | 114,4 | 113,5 | 114,3 | 114,3 | 114,5 | 113,2 | 113,6 | 114,5 | 113,2 | 113,9 | 1,3 |
| 18 | 110,0 | 113,2 | 114,4 | 113,6 | 114,2 | 114,5 | 114,4 | 113,3 | 113,5 | 114,3 | 113,3 | 113,9 | 1,3 |
| 20 | 110,0 | 113,4 | 114,5 | 113,4 | 114,3 | 114,0 | 114,3 | 113,6 | 113,2 | 114,4 | 113,3 | 113,8 | 1,3 |
| 22 | 110,0 | 113,2 | 114,3 | 113,3 | 114,3 | 114,0 | 114,2 | 113,2 | 113,3 | 114,3 | 113,3 | 113,7 | 1,1 |
| 24 | 110,0 | 113,6 | 114,1 | 113,3 | 114,3 | 114,0 | 114,3 | 113,5 | 113,6 | 114,5 | 113,3 | 113,9 | 1,2 |
| 26 | 110,0 | 113,2 | 114,2 | 113,2 | 114,2 | 114,2 | 114,5 | 113,2 | 113,2 | 114,3 | 113,3 | 113,8 | 1,3 |
| 28 | 110,0 | 113,6 | 114,5 | 113,6 | 114,3 | 114,3 | 114,6 | 113,6 | 113,5 | 114,3 | 113,5 | 114,0 | 1,1 |
| 30 | 110,0 | 113,2 | 114,2 | 113,5 | 114,3 | 114,2 | 114,4 | 113,4 | 113,4 | 114,3 | 113,4 | 113,8 | 1,2 |
| 32 | 110,0 | 113,3 | 114,3 | 113,5 | 114,2 | 114,3 | 114,5 | 113,2 | 113,6 | 114,3 | 113,6 | 113,9 | 1,3 |
| 34 | 110,0 | 113,4 | 114,1 | 113,4 | 114,6 | 114,3 | 114,1 | 113,4 | 113,2 | 114,3 | 113,5 | 113,8 | 1,4 |
| 36 | 110,0 | 113,3 | 114,1 | 113,3 | 114,3 | 114,5 | 114,0 | 113,6 | 113,4 | 114,5 | 113,2 | 113,8 | 1,3 |
| 38 | 110,0 | 113,5 | 114,2 | 113,0 | 114,4 | 114,2 | 114,0 | 113,2 | 113,2 | 114,6 | 113,5 | 113,8 | 1,6 |
| 40 | 110,0 | 113,2 | 114,5 | 113,0 | 114,5 | 114,3 | 114,1 | 113,6 | 113,6 | 114,5 | 113,5 | 113,9 | 1,5 |
| 42 | 110,0 | 113,6 | 114,2 | 113,0 | 114,2 | 114,5 | 114,2 | 113,2 | 113,2 | 114,3 | 113,6 | 113,8 | 1,5 |
| 44 | 110,0 | 113,2 | 114,3 | 113,6 | 114,4 | 114,6 | 114,3 | 113,5 | 113,5 | 114,4 | 113,4 | 113,9 | 1,4 |
| 46 | 110,0 | 113,1 | 114,5 | 113,4 | 114,2 | 114,5 | 114,5 | 113,2 | 113,2 | 114,6 | 113,2 | 113,8 | 1,5 |
| 48 | 110,0 | 113,0 | 114,3 | 113,6 | 114,2 | 114,6 | 114,2 | 113,4 | 113,6 | 114,2 | 113,6 | 113,9 | 1,6 |
| 50 | 110,0 | 113,2 | 114,2 | 113,5 | 114,3 | 114,3 | 114,6 | 113,2 | 113,7 | 114,4 | 113,5 | 113,9 | 1,4 |
| 52 | 110,0 | 113,0 | 114,6 | 113,5 | 114,3 | 114,4 | 114,3 | 113,6 | 113,5 | 114,2 | 113,6 | 113,9 | 1,6 |
| 54 | 110,0 | 113,5 | 114,3 | 113,6 | 114,5 | 114,5 | 114,4 | 113,2 | 113,6 | 114,3 | 113,5 | 113,9 | 1,3 |
| 56 | 110,0 | 113,6 | 114,5 | 113,2 | 114,3 | 114,2 | 114,5 | 113,2 | 113,3 | 114,3 | 113,2 | 113,8 | 1,3 |
| 58 | 110,0 | 113,4 | 114,3 | 113,3 | 114,5 | 114,3 | 114,1 | 113,2 | 113,0 | 114,5 | 113,6 | 113,8 | 1,5 |
| 60 | 110,0 | 113,6 | 114,3 | 113,6 | 114,3 | 114,5 | 114,5 | 113,6 | 113,4 | 114,6 | 113,2 | 114,0 | 1,4 |
| T. PROM | 110,0 | 113,4 | 114,3 | 113,4 | 114,3 | 114,3 | 114,3 | 113,4 | 113,4 | 114,4 | 113,3 | 113,9 | |
| T. MAX | 110,0 | 113,9 | 114,6 | 113,6 | 114,7 | 114,6 | 114,8 | 113,6 | 113,7 | 114,6 | 113,6 | | |
| T. MIN | 110,0 | 113,0 | 114,1 | 113,0 | 114,0 | 114,0 | 114,0 | 113,2 | 113,0 | 114,2 | 113,0 | | |
| DTT | 0,0 | 0,9 | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,6 | 0,8 | 0,4 | 0,7 | 0,4 | 0,6 | | |

| Parámetro | Valor (°C) | Incertidumbre Expandida (°C) |
|---|------------|------------------------------|
| Máxima Temperatura Medida | 114,8 | 0,4 |
| Mínima Temperatura Medida | 113,0 | 0,5 |
| Desviación de Temperatura en el Tiempo | 0,9 | 0,2 |
| Desviación de Temperatura en el Espacio | 1,0 | 0,3 |
| Estabilidad Media (±) | 0,45 | 0,02 |
| Uniformidad Media | 1,8 | 0,1 |

Para cada posición de medición su "desviación de temperatura en el tiempo" DTT esta dada por la diferencia entre la máxima y la mínima temperatura registradas en dicha posición
Entre dos posiciones de medición su "desviación de temperatura en el espacio" esta dada por la diferencia entre los promedios de temperaturas registradas en ambas posiciones.
La incertidumbre expandida de la medición se ha obtenido multiplicando la incertidumbre estándar de la medición por el factor de cobertura k=2 que, para una distribución normal corresponde a una probabilidad de cobertura de aproximadamente 95 %.




 Jefe de Laboratorio
 Ing. Luis Loayza Capcha
 Reg. CIP N° 152631



Punto de Precisión SAC

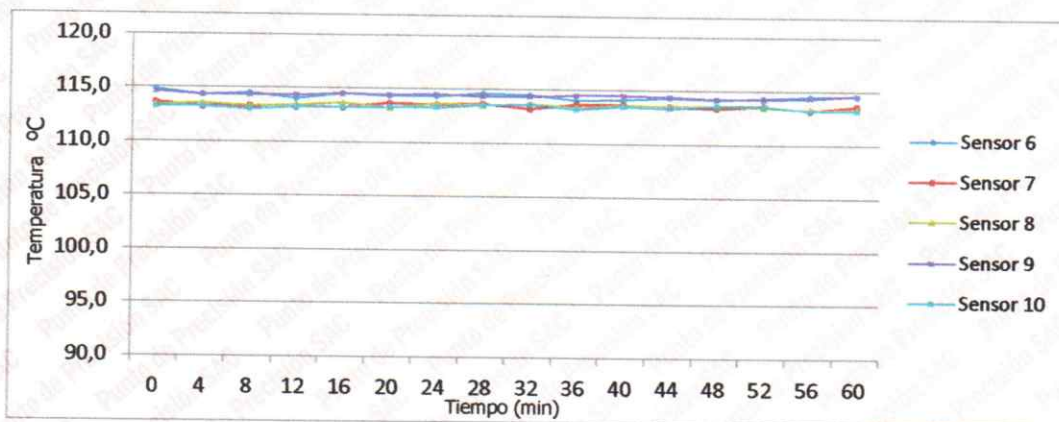
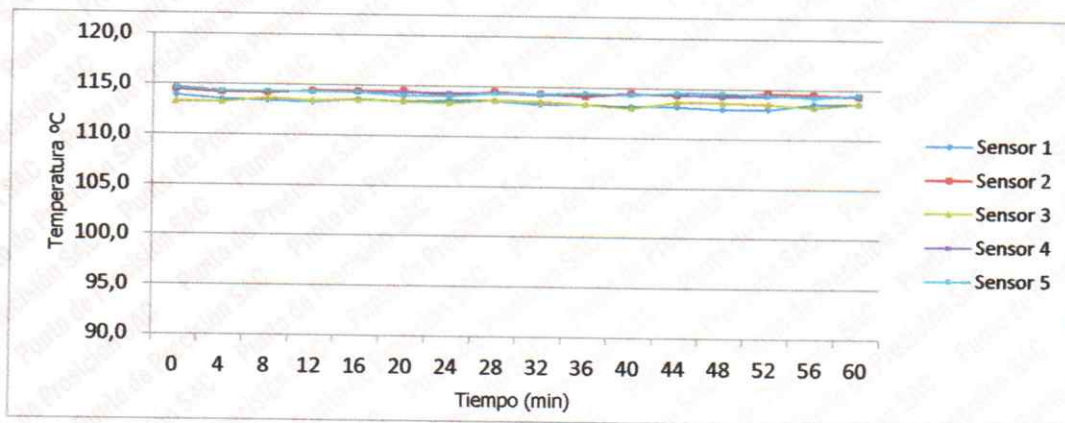
PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C.


LABORATORIO DE CALIBRACIÓN

CERTIFICADO DE CALIBRACION N° LT - 141 - 2020

Página : 3 de 4

TEMPERATURA DE TRABAJO 110 °C




Jefe de Laboratorio
Ing. Luis Loayza Capcha
Reg. CIP N° 152631



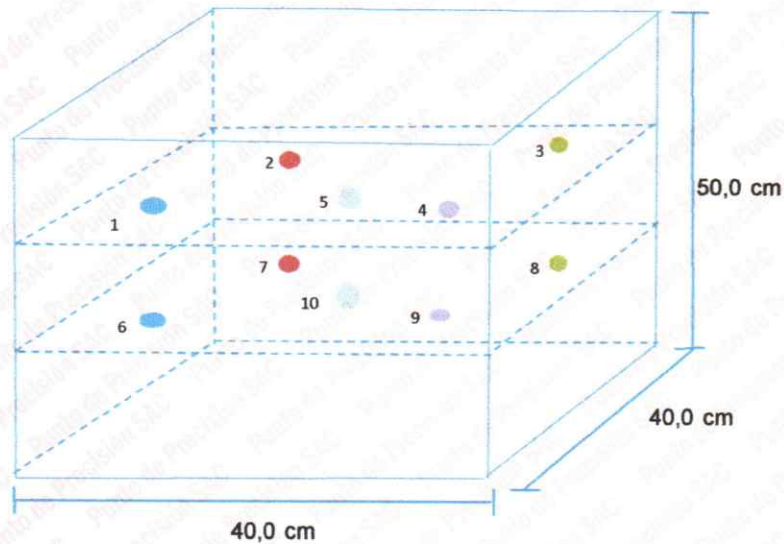
Punto de Precisión SAC

PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C. LABORATORIO DE CALIBRACIÓN

CERTIFICADO DE CALIBRACION N° LT - 141 - 2020

Página : 4 de 4

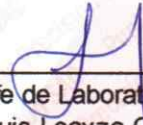
DISTRIBUCIÓN DE LOS SENSORES EN EL EQUIPO



- Los Sensores 5 y 10 se ubicaron sobre sus respectivos niveles.
- Los demas sensores se ubicaron a 8 cm de las paredes laterales y a 8 cm del fondo y del frente del equipo.
- Los Sensores del nivel superior se ubicaron a 1,5 cm por encima de la altura mas alta que emplea el usuario.
- Los Sensores del nivel inferior se ubicaron a 1,5 cm por debajo de la parrilla más baja.

FIN DEL DOCUMENTO




Jefe de Laboratorio
Ing. Luis Loayza Capcha
Reg. CIP N° 152631



CONSTANCIA

El que suscribe Mg. Ing. Miguel Angel Silva Tarrillo, **JEFE DE LA UNIDAD DE INVESTIGACIÓN** de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional Autónoma de Chota:

HACE CONSTAR

Que el bachiller: **Rosmel Yover Chávez Mejía**, ha presentado la tesis denominada: **“INFLUENCIA DE LAS GEOCELDAS DE NEUMÁTICOS RECICLADOS EN LA CAPACIDAD DE SOPORTE DEL AFIRMADO PARA BASE, CHOTA, 2021”**, para la verificación de su contenido en el programa antiplagio Turnitin de la Universidad Nacional Autónoma de Chota, indicando que la misma tiene un 20 % de similitud, estando dentro del límite permitido (25%) establecido en acápite g) del artículo 20 del Reglamento de Grados y Títulos UNACH, aprobado mediante la Resolución C.O. N° 120-2022-UNACH con fecha de 03 de marzo de 2022.

Sin otro particular.

Colpa Matara, 05 de diciembre del 2022.

Miguel Angel SILVA TARRILLO
INGENIERO CIVIL

Ing. Miguel Angel Silva Tarrillo
Jefe de la unidad de investigación
FCI-UNACH