



Diseño de una capa de rodadura drenante dosificada con resina epóxica y elaboración de una estructura de pavimento granular confinado con botellas plásticas como disipador dinámico de cargas.

Cordones Campoverde, Kevin Alejandro; Guerra Freire, John Adrián; Molina Guerrero, Alex Fernando; Molina Guerrero, Danny Mauricio; Mora Tamay, Elvis Jonathan; Pilamunga Ante, Antony Xavier y Uvillus Jácome, Damarys Nicole.

Departamento de Ciencias de la Tierra y de la Construcción

Carrera de Ingeniería Civil

Trabajo de integración curricular, previo a la obtención del título de Ingeniero Civil

Ing. Morales Muñoz, Byron Omar

25 de agosto del 2023



Diseño de una capa de rodadura dre...

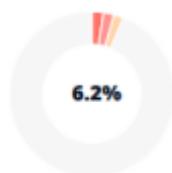
Scan details

Scan time:
August 25th, 2023 at 17:21 UTC

Total Pages:
131

Total Words:
32710

Plagiarism Detection



Types of plagiarism		Words
Identical	2.2%	734
Minor Changes	2.1%	689
Paraphrased	1.9%	616
Omitted Words	0%	0

AI Content Detection



Text coverage

- AI text
- Human text



BYRON OMAR MORALES
MUNOZ

.....

Ing. Morales Muñoz Byron Omar, Msc.

C.C.: 1712565900

Director



Departamento de Ciencias de la Tierra y de la Construcción

Carrera de Ingeniería Civil

Certificación

Certifico que el trabajo de integración curricular: **"Diseño de una capa de rodadura drenante dosificada con resina epóxica y elaboración de una estructura de pavimento granular confinado con botellas plásticas como disipador dinámico de cargas."** fue realizado por los señores **Cordones Campoverde, Kevin Alejandro; Guerra Freire, John Adrián; Molina Guerrero, Alex Fernando; Molina Guerrero, Danny Mauricio; Mora Tamay, Elvis Jonathan; Pilamunga Ante, Antony Xavier y Uvillus Jácome, Damarys Nicole**, el mismo que cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, además fue revisado y analizada en su totalidad por la herramienta de prevención y/o verificación de similitud de contenidos; razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que se lo sustente públicamente.

Sangolquí, 25 de agosto de 2023



BYRON OMAR MORALES
MUÑOZ

.....
Ing. Morales Muñoz Byron Omar, Msc.

C.C.: 1712565900



Departamento de Ciencias de la Tierra y de la Construcción

Carrera de Ingeniería Civil

Responsabilidad de Autoría

Nosotros, **Cordones Campoverde, Kevin Alejandro; Guerra Freire, John Adrián; Molina Guerrero, Alex Fernando; Molina Guerrero, Danny Mauricio; Mora Tamay, Elvis Jonathan; Pilamunga Ante, Antony Xavier y Uvillus Jácome, Damarys Nicole**, con cédulas de ciudadanía n° 3040000493, 1805485750, 0401615984, 0401612395, 0106146863, 1751642735 y 1721216206, declaramos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de integración curricular: **“Diseño de una capa de rodadura drenante dosificada con resina epóxica y elaboración de una estructura de pavimento granular confinado con botellas plásticas como disipador dinámico de cargas.”** es de nuestra autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Sangolquí, 25 de agosto de 2023


Cordones Campoverde,
Kevin Alejandro
 C.C.: 3040000493


Guerra Freire,
John Adrián
 C.C.: 1805485750


Molina Guerrero,
Alex Fernando
 C.C.: 0401615984


Molina Guerrero,
Danny Mauricio
 C.C.: 0401612395


Mora Tamay,
Elvis Jonathan
 C.C.: 0106146863


Pilamunga Ante,
Antony Xavier
 C.C.: 1751642735


Uvillus Jácome,
Damarys Nicole
 C.C.: 1721216206



Departamento de Ciencias de la Tierra y de la Construcción

Carrera de Ingeniería Civil

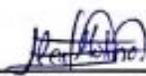
Autorización de Publicación

Nosotros, **Cordones Campoverde, Kevin Alejandro; Guerra Freire, John Adrián; Molina Guerrero, Alex Fernando; Molina Guerrero, Danny Mauricio; Mora Tamay, Elvis Jonathan; Pilamunga Ante, Antony Xavier y Uvillus Jácome Damarys Nicole**, con cédulas de ciudadanía n° 3040000493, 1805485750, 0401615984, 0401612395, 0106146863, 1751642735 y 1721216206, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de integración curricular: **"Diseño de una capa de rodadura drenante dosificada con resina epóxica y elaboración de una estructura de pavimento granular confinado con botellas plásticas como disipador dinámico de cargas."** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi/nuestra responsabilidad.

Sangolquí, 25 de agosto de 2023


**Cordones Campoverde,
 Kevin Alejandro**
 C.C.: 3040000493


**Guerra Freire,
 John Adrián**
 C.C.: 1805485750


**Molina Guerrero,
 Alex Fernando**
 C.C.: 0401615984


**Molina Guerrero,
 Danny Mauricio**
 C.C.: 0401612395


**Mora Tamay,
 Elvis Jonathan**
 C.C.: 0106146863


**Pilamunga Ante,
 Antony Xavier**
 C.C.: 1751642735


**Uvillus Jácome,
 Damarys Nicole**
 C.C.: 1721216206

Dedicatoria

Dedicado de manera especial a mis padres, Magdalena Campoverde y César Cordones, por su apoyo incondicional, sus palabras de aliento, por siempre haber confiado en mi en todo este proceso, y sobre todo por haberme enseñado el valor del esfuerzo y la perseverancia con su ejemplo. A mi hermana Daniela, por ser mi fuente de motivación y de alegría, por su cariño y tiempo dedicado, y todo el apoyo dado para poder superar las dificultades que se me presentaban.

A mis amigos Gabriel, Nicole, Majo, Estefy, Pame, Karol y todas las personas con las que he vivido momentos especiales, por todas las dificultades que hemos superado juntos, por todas las risas compartidas y todo el apoyo que me han brindado durante este trayecto.

Kevin Cordones

Dedico este humilde trabajo a mi madre, porque sin su apoyo incondicional no lo hubiese logrado, su trabajo y esfuerzo diario han sido ese motor que me inspiran cada día a no rendirme y a ser un luchador al igual que ella. A mi ñaña Janeth y a mi mamita Balvina que han sido mis otras madres, siempre velando por mí y nunca dejándome solo. A mi hermana Dome, mi prima Viole y a Leonardo por estar ahí cuando más los necesitaba.

A mi padre que me ha apoyado en todos estos años en la universidad.

No podría olvidar a mis queridos amigos Kevin, Luis, Anthony, Naty y José, su amistad en los primeros pasos de mi vida universitaria fue un regalo que valoro profundamente.

A mis amigos entrañables Lesther, Jefferson, Juan José, Cristian, Jonathan, Karina y Clarita, Vuestro ingreso en mi vida fue un capítulo que transformó mi historia. Y finalmente, a ti Amy, Tu cariño y comprensión han sido un regalo invaluable.

Adrián Guerra.

Es muy emocionante saber que todo esfuerzo genera sus frutos, me llena de satisfacción el cumplir con una meta tan anhelada, he podido adquirir conocimientos y experiencias a lo largo de esta etapa universitaria, quiero dedicar el presente trabajo a Dios por guiarme en este arduo camino, a mis padres Jacqueline y Manuel por ser mi soporte, aliento, apoyarme y darme las fuerzas para no rendirme, a mi hermano Alex que siempre ha estado para darme ánimo y con quién he podido compartir mi vida universitaria, a mi abuelita Beatriz la cuál ha sido como mi segunda madre quien siempre tiene una sonrisa y un consejo positivo, para todos ellos mi más sincero agradecimiento y este pequeño logro es por y para ustedes.

Danny Molina

Se termina una etapa más en mi vida no quiero dejar pasar por alto mis agradecimientos en primero lugar a Dios, fuente de sabiduría y fortaleza, gracias por inspirarme y guiarme en cada paso de este proceso con lo que ayudo a no rendirme.

Agradecer a mis padres Manuel y Jacqueline que siempre han estado en todo momento dándome apoyo ánimo y sobre todo su amor en cada comento sin ellos no lo hubiese logrado.

En especial a mi abuelita Beatriz que siempre estuvo al pendiente de mí, preocupándose, preguntando y sobre todo mimándome en todo momento.

Infinitas gracias a todos ustedes por ser parte de este en este escalón importante de mi vida.

Alex Molina

Dedico esta tesis a mis queridos padres Pedro Mora y Consuelo Tamay, que cuyo apoyo incondicional, apoyo inquebrantable y valores profundamente arraigados han sido mi guía y fortaleza a lo largo de esta hermosa travesía. Este trabajo de titulación es un tributo a su amor y sacrificio que siempre llevaré en el corazón, los amo.

Para mis queridos hermanos Daniel y Anahí, por su amor, compañía y esfuerzo dedicado a la familia, que nuestro vínculo perdure siempre y que mi deseo de ser un ejemplo para seguir ilumine nuestro camino. Juntos, enfrentamos cada deseo y celebraremos cada victoria.

Para mis apreciados tíos: Juan Mora, Gustavo y Mónica que cuyo apoyo y hospitalidad incondicionales han sido la base de mi éxito académico. Su constante aliento y generosidad han iluminado mi camino y han impulsado a alcanzar mis metas.

A mis invaluableles amigos de la universidad, los cómplices de las risas y los apoyos en cada etapa, a través de los años de estudio y crecimiento, su amistad ha sido un regalo apreciado. Por último, a Kelly quien siempre ha estado cerca de cada paso realizado en los últimos años, gracias por tu apoyo y cariño.

Jonathan Mora

A mis queridos padres Jaime y María, gracias por sus consejos, paciencia, sacrificio y sobre todo por haberme brindado su apoyo incondicional para culminar esta etapa importante de mi vida, ya que sin ustedes no lo hubiera logrado. Me formaron con valores y virtudes capaz de superar obstáculos que hoy hacen de mí una persona de bien. A mi padre Jaime quien es mi ejemplo de dedicación y humildad; a mi madre quien sentó en mí el deseo de superación.

A mis hermanos Alexander y Steven, que me han alentado a seguir mis metas y no darme por vencido, hoy les puedo decir con satisfacción ¡misión cumplida! Que esto sirva de ejemplo para abrir camino y saber que podemos lograr los objetivos que nos propongamos.

Finalmente, a mis familiares especialmente a mi abuelita Mamá Zoila quien fue mi segunda madre e inspiración para salir adelante, a mis tíos Homero y Amparo que a la distancia estarán orgullosos de saber que he logrado este título, para mis amigos que me

acompañaron a lo largo de esta etapa universitaria y a todas aquellas personas que siempre estuvieron y creyeron en mí.

Antony Pilamunga

La gratitud es la memoria del corazón, y de esta manera quiero culminar una etapa muy especial en mi vida, dando gracias a Dios y a mi Santísima Virgen de El Cisne, por ser la luz de mi vida, por hacer de mí una mujer de bien, por darme las fuerzas necesarias para salir adelante, por brindarme la sabiduría y escuchar mis oraciones que tanto pedía desde el fondo de mi corazón para que este gran día llegara.

Con inmenso amor a mis Padres Wilson y Ximena que, con su esfuerzo me han apoyado para poder cumplir este sueño. Gracias por su ejemplo que en esta vida hay que luchar y luchar hasta alcanzar los objetivos y los sueños que uno se ha trazado.

A mi querida hermana Daniela, por ser mi reflejo de lucha diaria y mi ejemplo a seguir, hoy en día somos profesionales con muchas metas más por cumplir.

A mi familia y amigos por su apoyo incondicional y cariño durante toda mi formación académica; por estar en las adversidades durante esta carrera. A mi abuelito allá en el cielo que sin duda alguna sé que está muy orgulloso de mi y desde la eternidad siempre me acompaña con su bendición.

Finalmente, a todas las personas muy especiales para mí, que formaron parte de este proceso de formación para que este objetivo se cumpla con sus consejos y palabras de aliento hicieron de mí una mejor persona para cumplir esta meta.

Hoy estoy inmensamente feliz de cumplir mi sueño. ¡Lo logré!

A todos ustedes les dedico el producto de mi esfuerzo diario, con todo mi corazón.

Damarys Uvillus

Agradecimiento

Llegamos al final de un largo camino que comenzó hace mucho tiempo. Han sido años de aprendizaje, crecimiento y, sobre todo, de amistad.

En primer lugar, queremos agradecer a nuestro tutor, el ingeniero Byron Morales, por su dedicación, paciencia y apoyo incondicional. Gracias a su guía, hemos sido capaces de culminar con éxito este proyecto.

También queremos agradecer a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE por brindarnos la oportunidad de estudiar y desarrollarnos profesionalmente. Gracias a la calidad de su educación, hemos adquirido los conocimientos y las habilidades necesarias para enfrentar los retos del mundo actual.

Por supuesto, no podemos olvidar a nuestros familiares y amigos, quienes siempre han estado a nuestro lado, apoyándonos y animándonos. Gracias por su amor y su comprensión.

Este trabajo es el resultado de todo el esfuerzo y la dedicación que hemos puesto durante estos años. Nos sentimos orgullosos de lo que hemos logrado y estamos seguros de que este es solo el comienzo de una larga carrera profesional.

Con nostalgia,

Kevin, Adrián, Danny, Alex, Jonathan, Antony y Damarys.

Índice de Contenidos

Reporte de verificación de similitud.....	2
Certificado del director del proyecto.....	3
Responsabilidad de Autoría	4
Autorización de Publicación	5
Dedicatoria.....	6
Agradecimiento	10
Índice de Contenidos	11
Índice de Tablas	18
Índice de Figuras	21
Resumen	24
Abstract.....	25
Capítulo I	26
Introducción	26
Antecedentes	26
Definición Del Problema	27
Objetivos	28
General.....	28
Específicos	28
Alcance.....	28

	12
Justificación.....	29
Capítulo II.....	30
Pavimento	30
Subrasante	30
Subbase.....	31
Base	31
Capa de Rodadura.....	32
Rasante	32
Tipos de Pavimentos	32
Pavimentos Flexibles	32
Pavimentos Rígidos	33
Pavimento drenante.....	33
Beneficios de los pavimentos drenantes.....	34
Capítulo III.....	38
Descripción de las Propiedades Físicas y Mecánicas de los Agregados	38
Definición de agregados	38
Fuente de los agregados	38
Características de la zona de extracción de los materiales pétreos	39
Localización de la zona de extracción.....	39
Análisis de las propiedades físicas y mecánicas de los agregados del sector Pintag	41
.....	41
Descripción de las propiedades mecánicas, físicas y químicas de la resina epóxica	68

Definición de resina	69
Propiedades mecánicas de la resina	69
Propiedades adhesivas de la resina	70
Resistencia química.....	70
Características de la resina epóxica DURA-MAX	70
Capítulo IV	72
Propiedades mecánicas de la subbase	72
Confinamiento con las botellas plásticas como disipador de cargas	76
Disipador de carga.....	76
Confinamiento de botellas plásticas.....	76
Propiedades de las botellas plásticas	77
Comportamiento de las botellas como disipador de carga.....	78
Estructura del pavimento propuesto	78
Conformación de la capa base	78
Estructura de la base propuesta	79
Ensayo de placa In-Situ	80
Propiedades mecánicas de la capa de rodadura dosificada con resina	84
Composición de la capa de rodadura propuesta.....	85
Ensayo de briquetas con dosificaciones del 2.25%, 2.75%, 3.25%	86
Tracción indirecta.....	86
Evaluación de impactos ambientales.....	91

Definición	91
Principales Factores Ambientales Analizados	91
Desarrollo sostenible	92
Método cualitativo (Matriz de Leopold)	92
Análisis de la Matriz de Impactos ambientales.....	96
Pavimento convencional	98
Pavimento drenante propuesto	99
Capítulo V	100
Selección de la zona de implementación el Molinuco y análisis de la estructura de pavimento.	100
Consideraciones preliminares	100
Alcance	100
Antecedentes.....	100
Metodología de evaluación	101
Delimitación del objeto de estudio	101
Estado actual de la vía.....	101
Características de la vía.....	102
Trabajo en campo	102
Trabajo en oficina.....	103
Ubicación de las calicatas.....	103
Estratigrafía de las calicatas	112
Ensayo DCP	113

Síntesis	113
Representación curva DCP.....	114
Diagrama estructural.....	115
Significado y uso.....	116
Procedimiento	119
Toma de datos	119
Fórmula para correlación	120
Resumen de resultados de la Correlación CBR y DCP	121
CBR de la subrasante	126
Método estadístico.....	126
Módulo de resiliencia de la subrasante (MR)	128
Análisis físico, geológico y ambiental de la zona el Molinuco	129
Componente Abióticos	129
Diagnostico Ambiental	129
Medio Físico	130
Recurso Agua	132
Geomorfología.....	134
Geología	136
Topografía.....	136
Esquema de la estructura de pavimento propuesta para el análisis	138
Metodologías para el diseño de pavimentos flexibles	138

Modelos tentativos propuestos para evaluar la respuesta del pavimento.	142
Capítulo VI	149
Software PLAXIS.....	149
Generalidades del software	149
Conformación del software	149
Parámetros de entrada del software	153
Modelo Constitutivo de los Materiales.....	159
Métodos de análisis del software	160
Diseño en el software PLAXIS	161
Resultados en el software PLAXIS	164
Capítulo VII	173
Presupuesto referencial, marco legal basado en el RGLOSNCNP y especificaciones técnicas.....	173
Marco legal basado en el Servicio Nacional de Contratación Pública.....	173
Importación de bienes por medio de instituciones públicas	173
Importancia	175
Presupuesto referencial del pavimento flexible	175
Análisis de Precios Unitarios / Capas del Pavimento.....	176
Optimización en los APU's que conforman la estructura del pavimento.....	180
Cronograma de Actividades	182
Comparación de un Presupuesto Referencial entre un Pavimento Convencional y un Pavimento Flexible.....	183

Especificaciones técnicas.....	185
Desbroce y limpieza.....	185
Replanteó y nivelación.....	185
Excavación.....	186
Sub-base granular.....	186
Especificación especial 1.....	187
Capa de rodadura a base de resina epóxica.....	187
Especificación especial 2.....	191
Conformación de Base con material granular y botellas de plástico.....	191
Subdren.....	195
Señalización vertical para trabajos en la vía 0,75 x 0,75.....	195
Limpieza final de la obra.....	196
Capítulo VIII.....	197
Conclusiones.....	197
Recomendaciones.....	200
Referencias.....	201
Apéndices.....	205

Índice de Tablas

Tabla 1	<i>Granulometría de la Muestra N°1 de Agregado Fino</i>	43
Tabla 2	<i>Granulométrica de la Muestra N°2 de Agregado Fino</i>	45
Tabla 3	<i>Granulométrica de la Muestra de Agregado Grueso 3/4"</i>	48
Tabla 4	<i>Granulométrica de la Muestra de Agregado Grueso 3/8"</i>	49
Tabla 5	<i>Mezcla para la Obtención de la Curva Maestra</i>	51
Tabla 6	<i>Cálculo de Densidades y Porcentaje de Absorción del Agregado Fino</i>	55
Tabla 7	<i>Cálculo de Densidades y Porcentaje de Absorción del Agregado Grueso 3/4"</i> . 57	
Tabla 8	<i>Cálculo de Densidades y Porcentaje de Absorción del Agregado Grueso 3/8"</i> . 58	
Tabla 9	<i>Cálculo para la Masa Unitaria Suelta del Agregado Fino N°1</i>	60
Tabla 10	<i>Cálculo para la Masa Unitaria Suelta del Agregado Fino N°2</i>	61
Tabla 11	<i>Cálculo para la Masa Unitaria Suelta del Agregado Fino N°2</i>	61
Tabla 12	<i>Cálculo para la Masa Unitaria Compactada del Agregado Fino N°1</i>	61
Tabla 13	<i>Cálculo para la Masa Unitaria Compactada del Agregado Fino N°2</i>	62
Tabla 14	<i>Cálculo para la Masa Unitaria Suelta del Agregado Grueso 3/4"</i>	64
Tabla 15	<i>Cálculo para la Masa Unitaria Suelta del Agregado Grueso 3/8"</i>	64
Tabla 16	<i>Cálculo para la Masa Unitaria Compactada del Agregado Grueso 3/4"</i>	65
Tabla 17	<i>Cálculo para la Masa Unitaria Compactada del Agregado Grueso 3/8"</i>	65
Tabla 18	<i>Cálculo para la Prueba de Desgaste del Material Granular 3/8"</i>	67
Tabla 19	<i>Cálculo para la Prueba de Desgaste del Material Granular 3/4"</i>	68
Tabla 20	<i>Valores Generales Recomendados por el MOP-001F-2002</i>	72
Tabla 21	<i>Tabla 403-1.1</i>	72
Tabla 22	<i>Recomendaciones del Libro MOP-001F-2002</i>	73
Tabla 23	<i>Tabla 404-1.1</i>	74
Tabla 24	<i>Tabla 404-1.2</i>	75
Tabla 25	<i>Tabla 404-1.3</i>	75

Tabla 26 <i>Tabla 404-1.4.</i>	76
Tabla 27 <i>Datos en Capa de Rodadura</i>	83
Tabla 28 <i>Datos Botellas Confinadas</i>	84
Tabla 29 <i>Dosificación= 2,25%</i>	88
Tabla 30 <i>Dosificación=2,75%</i>	89
Tabla 31 <i>Dosificación=3,25%</i>	89
Tabla 32 <i>Tolerancias MOP 001F</i>	90
Tabla 33 <i>Valores Sugeridos Matriz de Leopold</i>	94
Tabla 34 <i>Valores Sugeridos Matriz de Leopold</i>	95
Tabla 35 <i>Impacto Pavimento Convencional</i>	98
Tabla 36 <i>Impacto Pavimento Propuesto</i>	99
Tabla 37 <i>Ubicación de las Calicatas Efectuadas</i>	106
Tabla 38 <i>Perfil Estratigráfico de la Calicata #1</i>	108
Tabla 39 <i>Perfil Estratigráfico de la Calicata #2</i>	109
Tabla 40 <i>Perfil Estratigráfico de la Calicata #3</i>	111
Tabla 41 <i>Resumen Estratigráfico de las Calicatas</i>	112
Tabla 42 <i>CBR en Campo 0+000 Calicata #1</i>	121
Tabla 43 <i>CBR en Campo 0+500 Calicata #2</i>	122
Tabla 44 <i>CBR en Campo 1+000 Calicata #3</i>	123
Tabla 45 <i>CBR en Campo 2+000 Calicata #4</i>	124
Tabla 46 <i>CBR en Campo 2+000 Calicata #4</i>	125
Tabla 47 <i>Resumen de CBR de Campo en el Corredor Vial el Molinuco</i>	126
Tabla 48 <i>Cálculo CBR de Diseño</i>	127
Tabla 49 <i>Clasificación de la Subrasante</i>	128
Tabla 50 <i>Estación Meteorológica Izobamba M003</i>	130
Tabla 51 <i>Estación Meteorológica Izobamba M003</i>	131

Tabla 52 <i>Microcuencas del Cantón Rumiñahui</i>	132
Tabla 53 <i>Parámetros de Entrada</i>	143
Tabla 54 <i>Resultados de Esfuerzo y Deformación Vertical</i>	145
Tabla 55 <i>Parámetros de las Capas del Pavimento Propuesto</i>	154
Tabla 56 <i>Rangos Típicos de Módulos de Young para Suelos Tipo</i>	156
Tabla 57 <i>Rangos Típicos de Relaciones de Poisson para Suelos Tipo</i>	157
Tabla 58 <i>Rangos Típicos de Coeficientes de Permeabilidad para Suelos Tipo</i>	158
Tabla 59 <i>Rangos Típicos de Gravedad Específica para Suelos Tipo</i>	158
Tabla 60 <i>Parámetros de las Capas de Pavimento Propuesto en PLAXIS</i>	163
Tabla 61 <i>Desplazamientos Verticales en PLAXIS</i>	166
Tabla 62 <i>Deformaciones Unitarias Verticales en PLAXIS</i>	168
Tabla 63 <i>Esfuerzos Verticales en PLAXIS</i>	170
Tabla 64 <i>Esfuerzos Cortantes en PLAXIS</i>	172
Tabla 65 <i>Resumen de materiales que conforman la capa de rodadura</i>	176
Tabla 66 <i>APU Capa de rodadura de resina epóxica</i>	177
Tabla 67 <i>Base propuesta (malla de botellas más agregado)</i>	178
Tabla 68 <i>Sub base propuesta con agregados</i>	179
Tabla 69 <i>Presupuesto Referencial de una propuesta de Pavimento Flexible</i>	182
Tabla 70 <i>Cronograma de Actividades para la propuesta de Pavimento Flexible</i>	183
Tabla 71 <i>Determinación de pago de rubro por unidad de medición</i>	191
Tabla 72 <i>Determinación de pago de rubro por unidad de medición</i>	194

Índice de Figuras

Figura 1 <i>Esquema de pavimento convencional</i>	30
Figura 2 <i>Sección transversal de una estructura de pavimento</i>	32
Figura 3 <i>Ubicación de la Cantera "Apich Antisanilla"</i>	39
Figura 4 <i>Delimitación de la Cantera "Apich Antisanilla"</i>	40
Figura 5 <i>Límites de Gradación y Curva Granulométrica del Agregado fino N°1</i>	44
Figura 6 <i>Límites de Gradación y Curva Granulométrica del Agregado fino N°2</i>	46
Figura 7 <i>Límites de Gradación y Curva Granulométrica del Agregado Grueso 3/4"</i>	49
Figura 8 <i>Límites de Gradación y Curva Granulométrica del Agregado Grueso 3/8"</i>	50
Figura 9 <i>Límites de Gradación de 3/4" y Curva Maestra</i>	52
Figura 10 <i>Evaluación del Estado Actual de la Vía</i>	102
Figura 11 <i>Detalle de la Sección del Corredor Vial el Molinuco</i>	103
Figura 12 <i>Ubicación de la Primera Calicata</i>	104
Figura 13 <i>Ubicación de la Segunda Calicata</i>	104
Figura 14 <i>Ubicación de la Tercera Calicata</i>	105
Figura 15 <i>Ubicación de la Cuarta Calicata</i>	105
Figura 16 <i>Ubicación de la Quinta Calicata</i>	106
Figura 17 <i>Ubicación de las Calicatas Realizadas</i>	107
Figura 18 <i>Excavación de la Calicata #1</i>	108
Figura 19 <i>Excavación de la Calicata #2</i>	109
Figura 20 <i>Excavación de la Calicata #3</i>	110
Figura 21 <i>Clasificación manual-visual a 0.5m; 1.0m; 1.5m</i>	112
Figura 22 <i>Esquema de los Instrumentos que Conforman el DCP</i>	114
Figura 23 <i>Penetración vs Golpes Acumulados</i>	115
Figura 24 <i>Curvas Estructurales para Diferentes Solicitaciones de Tráfico</i>	116
Figura 25 <i>Punta para la Penetración del Suelo</i>	117

Figura 26 <i>Registro de Datos DCP</i>	118
Figura 27 <i>Correlación CBR y DCP</i>	120
Figura 28 <i>Profundidad vs Cantidad de Golpes Acumulados</i>	121
Figura 29 <i>Profundidad vs Cantidad de Golpes Acumulados</i>	122
Figura 30 <i>Profundidad vs Cantidad de Golpes Acumulados</i>	123
Figura 31 <i>Profundidad vs Cantidad de Golpes Acumulados</i>	124
Figura 32 <i>Profundidad vs Cantidad de Golpes Acumulados</i>	125
Figura 33 <i>Precipitación Media Mensual (mm)</i>	131
Figura 34 <i>Ríos que Atraviesan el Cantón Rumiñahui</i>	133
Figura 35 <i>Ubicación del Área de Estudio</i>	134
Figura 36 <i>Geomorfología del Cantón Rumiñahui</i>	135
Figura 37 <i>Delimitación de la Zona de Estudio</i>	136
Figura 38 <i>Modelo Digital del Terreno en 2D</i>	137
Figura 39 <i>Perfil de Elevación del Terreno</i>	137
Figura 40 <i>Conformación de la Estructura de Pavimento</i>	139
Figura 41 <i>Esfuerzos Normales y Cortantes Bajo el Sistema X, Y, Z</i>	140
Figura 42 <i>Efecto de la Presión de Inflado en Contacto con la Capa de Rodadura</i>	141
Figura 43 <i>Metodología Empírico-Mecanicista</i>	142
Figura 44 <i>Dimensionamiento Inicial del Pavimento</i>	143
Figura 45 <i>Modelo de Boussinesq Propuesto</i>	144
Figura 46 <i>Análisis de las Curvas Esfuerzo y Deformación</i>	146
Figura 47 <i>Conformación de la Estructura de Pavimento</i>	147
Figura 48 <i>Interfaz del Programa de Introducción de Datos (Input)</i>	150
Figura 49 <i>Interfaz del Programa de Cálculo (calculations)</i>	151
Figura 50 <i>Interfaz del Programa de Resultados (output)</i>	152
Figura 51 <i>Interfaz del Programa de Curvas (curves)</i>	153

Figura 52 <i>Estructura del Pavimento Propuesto y Cargas Aplicadas</i>	155
Figura 53 <i>Esquema de Aplicación de Carga [cm]</i>	162
Figura 54 <i>Discretización del Modelo del Pavimento Propuesto en PLAXIS</i>	164
Figura 55 <i>Desplazamientos Verticales en PLAXIS</i>	165
Figura 56 <i>Deformaciones Unitaria Verticales en PLAXIS</i>	167
Figura 57 <i>Esfuerzos Verticales en PLAXIS</i>	169
Figura 58 <i>Esfuerzos Cortantes en PLAXIS</i>	171
Figura 59 <i>Cronograma Valorado Proceso “Pavimentación Asfáltica en varias calles de la Parroquia Junquillal del Cantón Salitre”</i>	184
Figura 60 <i>Porcentajes de granulometría de acuerdo con el TMN</i>	188
Figura 61 <i>Conformación de la capa de base</i>	192

Resumen

El presente trabajo de investigación desarrolla el diseño de una capa de rodadura drenante dosificada con resina epóxica y una estructura de pavimento granular confinado con botellas, aplicado a fomentar mejores infraestructuras de pavimentos que permitan brindar soluciones innovadoras para la evacuación de las aguas pluviales.

Se han realizado ensayos de laboratorio para caracterizar las propiedades físicas y mecánicas de materiales pétreos destinados a la estructura del pavimento, debido a su relevante importancia para garantizar su vida útil, seguridad y capacidad para soportar las condiciones a las que estarán expuestos. Además, para la estructura del pavimento se utilizan materiales reciclados que permiten preservar la naturaleza que nos rodea y tener un ambiente más sano, por medio de una malla de botellas plásticas aplicadas en la base, rellenas con material pétreo y una capa de rodadura con un nuevo material ligante como la resina epóxica.

Por otro lado, esta estructura se enfoca en fomentar la inversión en sitios turísticos ofreciendo seguridad y sostenibilidad a los usuarios viales. Por consiguiente, se realizó el análisis de la zona donde se instalará el proyecto sumado a considerar una metodología basada en el desempeño de los materiales que conforman la estructura, al igual que un modelo elástico que permita observar el comportamiento del pavimento drenante. Para ello, la modelación del pavimento propuesto se realizó en el software académico PLAXIS, a partir de los datos obtenidos en la caracterización de los materiales y los ensayos en campo. Con la finalidad de obtener los esfuerzos, deflexiones y deformaciones unitarias de la estructura mediante un análisis de elementos finitos. Finalmente, se determinó un presupuesto referencial a partir del Análisis de Precios Unitarios de cada capa de la estructura para los 400 metros de longitud de vía de acceso al Molinuco, incluyendo un cronograma de actividades necesario para la ejecución de la obra.

Palabras clave: Drenante, resina epóxica, seguridad, sostenibilidad, modelo elástico.

Abstract

The present research work develops the design of a drainage wearing course dosed with epoxy resin and a granular pavement structure confined with bottles, applied to promote better pavement infrastructures to provide innovative solutions for rainwater drainage.

Laboratory tests have been carried out to characterize the physical and mechanical properties of stone materials intended for the pavement structure, due to their relevant importance to guarantee their useful life, safety and capacity to withstand the conditions to which they will be exposed. In addition, recycled materials are used for the pavement structure to preserve the nature that surrounds us and to have a healthier environment, by means of a mesh of plastic bottles applied at the base, filled with stone material and a wearing course with a new binding material such as epoxy resin.

On the other hand, this structure focuses on promoting investment in tourist sites, offering safety and sustainability to road users. Therefore, the analysis of the area where the project will be installed was carried out, in addition to considering a methodology based on the performance of the materials that make up the structure, as well as an elastic model that allows observing the behavior of the draining pavement. For this purpose, the modeling of the proposed pavement was carried out in the PLAXIS academic software, based on the data obtained from the characterization of the materials and the field tests. In order to obtain the stresses, deflections and unit deformations of the structure by means of a finite element analysis. Finally, a referential budget was determined from the Unit Price Analysis of each layer of the structure for the 400 meters long access road to Molinuco, including a schedule of activities necessary for the execution of the work.

Key words: Drainage, epoxy resin, safety, sustainability, elastic model.

Capítulo I

Introducción

Antecedentes

La importancia de las carreteras en el crecimiento de la sociedad influye desde la antigüedad ya que los mismo posibilitaban el control económico y político del imperio Inca, el Qhapaq Ñan, fue el eje principal del sistema vial del Imperio Inca. Todos los caminos del imperio vinculaban con el Cusco y la capital imperial. Qhapaq Ñan, en lengua quechua, “El camino del Señor”, es el camino inca principal de donde desprendían una serie de caminos que unían los distintos pueblos del Imperio Inca. Durante el Tahuantinsuyo constituyó un medio de integración para el admirable desarrollo de la cultura andina en los aspectos políticos administrativos, socioeconómicos, sociales, culturales y ambientales (Camacho, 2019).

Las primeras carreteras proyectadas con la intervención de ingeniero, esto es, sobre una base facultativa, se construyeron en España a mediados del siglo XVIII. Desde éstas a las modernas autopistas se ha producido una constante evolución en las técnicas de diseño y construcción de caminos, de modo que, evidentemente, las diferencias entre ambas son de enorme entidad. Entre estos casos extremos encontramos hoy gran cantidad de vías, que se pueden clasificar por su capacidad, por la administración a la que pertenecen, o en atención a otros criterios (Coronado Tordesillas & Ruiz Fernández, 2010)

En la actualidad las carreteras tienen una función indispensable en la comunicación, intercambio de comercio y en la economía de los sectores, por ello es importante implementar nuevas tecnologías en las carreteras para salvaguardar la seguridad de los individuos, una capa de rodadura drenante en nuestro medio mantendría en mejores condiciones las vías aumentando la vida útil de los proyectos y seguridad al tener una capa de rodadura sin películas de agua.

La contaminación generada por el ser humano al ser consumidor tiene como consecuencia un gran impacto ambiental, siendo nosotros los principales consumidores de plásticos como son las botellas de refrescos, aguas, etc. debemos pensar soluciones que ayuden a reducir esa contaminación, por consiguiente, al reutilizar botellas plásticas rellenas material granular confinado como estructura de pavimento ayudamos de una manera directa y generamos que la estructura de pavimento actué como disipador de cargas aumentando la flexibilidad de la capa de rodadura.

Bajo el epígrafe de carretera, podemos encontrar hoy vías de comunicación de características muy diferentes, desde las modestas carreteras locales de las diputaciones hasta las grandes autopistas. Obviamente, sus características intrínsecas (sección, firme, trazado, señalización, sistemas, etc.) así como su función territorial son muy diferentes. Ambas tendrás que ver con su origen y, en muchas ocasiones, su evolución. Además, carreteras de épocas y funciones similares pueden tener características distintas en función del lugar en que se sitúen: por la topografía, geología, dispersión de la población, entorno natural, actividades agrícolas, etc. (Coronado Tordesillas & Ruiz Fernández, 2010).

Definición Del Problema

En nuestro medio el crecimiento demográfico es evidente y de la mano el desarrollo de los medios de transporte en las vías terrestres ocasionando un aumento en el flujo vehicular que se ve reflejado como tráfico en las zonas rurales y urbanas, como cualquier infraestructura, las carreteras están sujetas a desgaste y daño con el tiempo debido a factores como el clima, el tráfico y el mantenimiento inadecuado, ocasionando daños en las vías y carreteras como baches, grietas, hundimientos, desgastes superficiales, deterioro por agua, erosión, problemas de drenaje o fatiga del pavimento.

La utilización de plástico en el mundo genera un gran impacto ambiental ya que afectan directamente a la flora, fauna y ecosistema, por ello es necesario implementar formas

innovadoras en la construcción que ayuden a reducir la contaminación. Una de las alternativas es reduciendo el plástico que se consume en el día a día como son las botellas o envases plásticos de diferentes bebidas y aprovechar sus características químicas y estructuras en medio de las obras de infraestructura.

Objetivos

General

Diseño de una capa de rodadura drenante dosificada con resina epóxica y elaboración de una estructura de pavimento granular confinado con botellas plásticas como disipador dinámico de cargas.

Específicos

Elaboración de ensayos de laboratorio que permitan caracterizar las propiedades físicas y mecánicas de materiales pétreos a utilizar en el pavimento.

Elaboración y determinación de la dosificación para la mezcla de la capa de rodadura.

Análisis y diseño del pavimento mediante la modelación y simulación en software académico.

Presupuesto referencial de suministro e instalación del sistema estructura de pavimento.

Alcance

Mediante una investigación y múltiples ensayos de laboratorio se pretende crear una capa de rodadura que permita el drenaje del agua lluvia o líquidos que puedan acumularse en la superficie del pavimento, con la ayuda de la resina crear la unión de los materiales pétreos garantizando la estabilidad de la capa de rodadura.

En cuanto a la estructura del pavimento aspiramos que el material granular quede confinado para mejorar la resistencia y el comportamiento mecánico del pavimento, además se

procura utilizar las propiedades mecánicas de las botellas como disipador de cargas dinámicas lo cual ayudaría a absorber y redistribuir las fuerzas generadas por el tráfico vehicular, contribuyendo a la mejora del comportamiento del pavimento y reciclaje de botellas plásticas.

Justificación

Salazar Noboa, (2008) menciona que las carreteras del país se genera un deterioro excesivo de los elementos viales, los mismos que afectan la seguridad, el confort y la economía de las comunidades. Por ello se busca la alternativa de crear un pavimento sostenible al incorporar el uso de las botellas plásticas, además, aprovechar las propiedades mecánicas del plástico como disipador de cargas.

El Ecuador se ha visto afectado por intensas lluvias en todo el territorio nacional, tanto en la Costa, Sierra, Oriente y Región Insular, las mismas que causan desastres y una de las afectadas son las carreteras al no tener buen drenaje, provocando accidentes, retrasos de viaje, etc. Por lo tanto, se busca crear una capa de rodadura drenante dosificada con resina epóxica que permita la evacuación eficiente de las precipitaciones, reduciendo la acumulación de charcos y disminuyendo riesgos de aquaplaning.

De este modo buscamos una solución innovadora ha requerido en nuestros medios, enfocándonos en la seguridad, la durabilidad y la eficiencia del pavimento, con el potencial de tener un impacto positivo tanto en el ámbito técnico como en el social.

Capítulo II

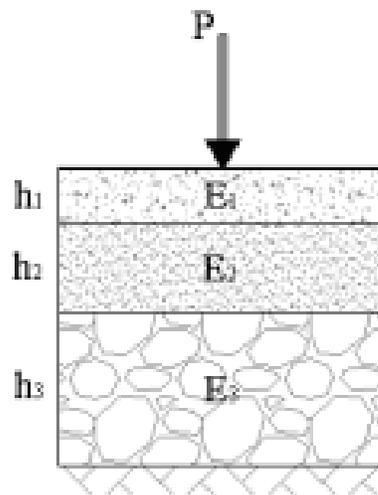
Pavimento

“El pavimento es una estructura de cimentación formada por una o más capas, sobre la que actúan cargas repetidas provenientes de los vehículos en su superficie” (HIDALGO, 2007)

Es así como esta conformación de capas debe ser capaz de transmitir las cargas dinámicas provocadas por el tránsito hacia la subrasante, de tal forma de que no superen los esfuerzos y deformaciones específicas.

Figura 1

Esquema de pavimento convencional



Nota. La imagen nos muestra la conformación de un pavimento convencional. Tomado de Definición moderna de los parámetros para el diseño de pavimentos (p. 25), por HIDALGO, (2007) Escuela Politécnica del Ejército

Subrasante

Es la que corresponde a la superficie superior del terreno de fundación al finalizar el movimiento de tierras

Subbase

Es la capa de material seleccionado que se coloca encima de la subrasante y tiene por objeto: - Servir de capa de drenaje al pavimento.

Controlar o eliminar en lo posible los cambios de volumen, elasticidad y plasticidad perjudiciales del material de la subrasante.

Controlar la capilaridad del agua proveniente de las capas o niveles freáticos cercanos protegiendo al pavimento de los hinchamientos.

El material de subbase debe ser seleccionado y tener mayor capacidad de soporte que el terreno de fundación compactado, puede ser arena, grava, escoria de altos hornos, suelo estabilizado, y siempre cumplir lo establecido en las especificaciones técnicas (HIDALGO, 2007).

Los agregados que se deben emplear deberán tener un coeficiente de desgaste máximo de 50%, de acuerdo con el ensayo de abrasión de los Ángeles y la porción que pase el tamiz N° 40 deberá tener un índice de plasticidad menor que 6 y un Límite Líquido máximo de 25. La capacidad de soporte corresponderá a un CBR igual o mayor del 30%. (Especificaciones MOP, Cáp. 400)

Base

Es la capa que tiene por finalidad absorber los esfuerzos transmitidos por las cargas de los vehículos y además repartir uniformemente estos esfuerzos a la subbase y al terreno de fundación. Las bases pueden ser granulares o bien estar formadas por mezclas bituminosas o mezclas estabilizadas con cemento u otro material ligante

Capa de Rodadura

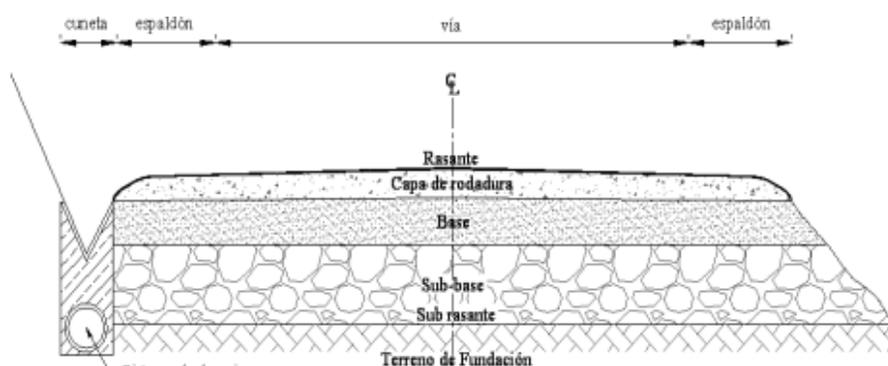
Su función es proteger la base impermeabilizando la superficie para evitar infiltraciones de agua lluvia, proporcionar una superficie de rodadura lisa, evitar el desgaste de la base debido al tráfico de vehículos, así como incrementar la capacidad de soporte del pavimento.

Rasante

Corresponde a la superficie de rodadura terminada.

Figura 2

Sección transversal de una estructura de pavimento



Nota. La imagen nos muestra la conformación de un pavimento convencional. Tomado de Definición moderna de los parámetros para el diseño de pavimentos (p. 31), por HIDALGO, (2007), Escuela Politécnica del Ejército

Tipos de Pavimentos

Pavimentos Flexibles

Son aquellos que se adaptan a las deformaciones del terreno de cimentación, sin el apareamiento de tensiones adicionales pudiendo clasificarse en los siguientes tipos:

Afirmado

Tratamiento superficial bituminoso

Concreto asfáltico

Pavimentos Rígidos

Son aquellos que no acompañan las deformaciones del terreno de cimentación y resisten con seguridad las tensiones adicionales de tracción que se originan por este hecho (pavimentos de hormigón de cemento hidráulico)

Pavimento drenante

Las mezclas drenantes (o también denominadas porosas) son mezclas asfálticas generalmente en caliente que se utilizan como carpeta de rodadura, las cuales se caracterizan por tener un elevado porcentaje de huecos de aire (entre 18 y 25%) interconectados entre sí. Estos huecos permiten el paso del agua superficial a través de ella y por ende su rápida evacuación primero hacia abajo y luego hacia las zonas laterales, fuera del área de contacto entre el neumático de los vehículos y el pavimento. Gracias a lo anterior, se impide la formación de una capa de agua superficial cuando llueve, evitando pérdidas de control y visibilidad en los conductores. (ROULLET, 2009)

El alto porcentaje de huecos de la mezcla drenante se logra mediante el uso de granulometría especial, que consiste en un alto porcentaje de áridos gruesos (alrededor del 85%), poco fino y un aporte de filler. Para estas mezclas se debe asegurar la impermeabilidad de la capa subyacente, debido a las posibles infiltraciones de agua que provocan fallas estructurales en este pavimento. Adicionalmente, debe tener un diseño geométrico tal que asegure el escurrimiento del agua a los drenes laterales y no se introduzca en las capas inferiores del camino. (ROULLET, 2009)

En la actualidad, se necesitan construcciones innovadoras para disminuir los problemas causados por las fuertes precipitaciones pluviales o el déficit que existe en la captación de aguas. El concreto drenante es un concreto especial, que permite el paso del agua a través de su estructura gracias al alto porcentaje de vacíos que posee a diferencia del concreto tradicional. Esta cualidad contribuye a culminar con la falta de permeabilidad

en las estructuras tradicionales de concreto, evitando fallas estructurales debido al encharcamiento y escurrimiento del agua. (Esquerre Garcia & Silva Silva, 2019)

Beneficios de los pavimentos drenantes.

El diseño de la capa de base tipo drenante debe satisfacer 3 condiciones:

- Proveer una adecuada permeabilidad.
- Transmitir el agua infiltrada durante la lluvia con flujo parcialmente saturado o en condición saturado, pero de corta duración, pocas horas o antes que finalice la lluvia.
- Proveer una adecuada estabilidad estructural para soportar la capa de rodadura y la carga del tráfico de diseño; para lo cual es necesario determinar el módulo de resiliencia de la capa de base drenante utilizada.

Se considera que de este aporte se puede indicar que uno de los beneficios más importantes se da a nivel estructural, puesto que se rige principalmente de cuidar las capas inferiores que le brindan resistencia al pavimento y así evitar que estas se deterioren, puesto que son parte fundamental para el buen funcionamiento de este tipo de pavimento. (Castillo & Saavedra, 2020)

Características estructurales del pavimento drenante. Las mezclas drenantes ofrecen una gama de ventajas para el usuario en condiciones de lluvia. (ROULLET, 2009) Entre ellas se puede mencionar las siguientes:

- **Eliminación de hidroplaneo:** Este fenómeno se describe cuando una capa de agua se crea entre el neumático y el pavimento, resultando en la separación de ambos y provocando una pérdida de control del vehículo para el conductor. Para prevenir esta situación, resulta útil que el agua se elimine rápidamente de la

superficie del camino, y esto se logra mediante el uso de una mezcla porosa o drenante.

- **Reducción de proyecciones de agua:** Estas combinaciones posibilitan mantener el pavimento libre de agua durante la lluvia, evitando tanto la elevación como la dispersión del agua causada por los vehículos que circulan sobre él. Esto conlleva a una notable mejora en la visibilidad del conductor cuando maneja bajo condiciones de lluvia.
- **Menor deslumbramiento de luces vehiculares:** Cuando llueve durante la noche, los conductores se encuentran con el problema de ser deslumbrados por las luces de los vehículos que viajan en dirección opuesta. Esto resulta en la reflexión de la luz en los pavimentos convencionales mojados. Sin embargo, emplear pavimentos con una textura rugosa disminuye esta dificultad al eliminar el agua de la superficie, lo que a su vez mejora la visibilidad del conductor en la carretera y la señalización.
- **Reducción de ruido al paso de vehículos:** Las mezclas drenantes ayudan a absorber los sonidos que surgen debido al contacto entre el neumático y la superficie del camino mientras el vehículo se desplaza, tanto en condiciones secas como lluviosas. Esto se debe a la abundancia de espacios interconectados llenos de aire, que permiten direccionar la disipación de los ruidos hacia el interior. (ROULLET, 2009)

Rol de las capas de la estructura del pavimento. La estructura del pavimento drenante consiste en tres capas, la primera de ella es una capa de rodadura que permite la filtración del agua, que puede ser de diferentes materiales como asfalto, concreto, arcilla o grava; en segundo lugar, se encuentra una capa de material granular fino, que tiene como fin permitir una adecuada instalación de la capa de rodadura y, por último, una capa compuesta por un material granular de gran tamaño donde el agua se almacena. (Esquerre Garcia & Silva Silva, 2019)

Generalidades analíticas para el diseño de pavimentos. Al diseñar mezclas permeables o drenantes, se enfrentan dos condiciones que deben cumplirse de manera integral: la resistencia a la desintegración y la permeabilidad. Sin embargo, estas restricciones entran en conflicto. Mientras que el fortalecimiento de la unión entre el asfalto y los agregados se logra mediante un aumento en la proporción de áridos finos y ligante, la permeabilidad o porosidad de la mezcla requiere incrementar el uso de áridos gruesos y reducir la fracción fina. Alcanzar la mayor cantidad posible de espacios vacíos, junto con una resistencia efectiva a las cargas del tráfico, se puede lograr mediante la incorporación de áridos y asfalto de calidad superior, una granulometría especial y una dosificación adecuada determinada en el laboratorio. (ROULLET, 2009)

Criterios para un diseño eficiente. Al momento de diseñar un pavimento drenante debemos tener en cuenta la eficiencia del mismo para ello vamos a analizar los siguientes aspectos:

- Capacidad de drenaje adecuada: El diseño de nuestra estructura deberá permitir un flujo de agua eficiente a través de las capas del pavimento y en dirección a los sistemas de drenaje con el que se cuenten, siempre con el objetivo de evitar a toda costa la acumulación de agua en la superficie.

- Selección de materiales permeables: Siempre debemos tener en cuenta los materiales con los que vamos a trabajar, en este caso los agregados permitiendo la correcta filtración a través de las distintas capas.
- Dimensionamiento hidrológico: Se debe realizar un cálculo lo más cercano a la realidad posible de la cantidad de agua que se espera que fluya a través del pavimento durante las lluvias.
- Consideración de las condiciones del sitio: Evaluar las características del lugar donde se planea ubicar la estructura, como la topografía, el clima, inclinaciones, capacidad del suelo, siempre será necesario para mejorar el rendimiento del pavimento.
- Consideración de la vegetación: Como ya se sabe la vegetación ayuda a la filtración del agua y por lo tanto se la puede incluir en nuestros diseños.

Los pavimentos drenantes son una alternativa eficiente, adecuándose a zonas que por lo general están afectadas por precipitaciones de gran intensidad. Aparte de captar y almacenar el recurso hídrico que se obtiene de las lluvias permite que sea transportado hacia una reserva de agua, la misma que cuando exista algún tipo de sequía pueda ser utilizada de la mejor manera posible. (Aguirre & Anchiraico, 2020)

Capítulo III

Descripción de las Propiedades Físicas y Mecánicas de los Agregados

Los materiales pétreos son fragmentos de roca que se encuentran en el suelo natural, la misma que se define como un conjunto de partículas minerales conformada por distintos tamaños y formas, de la misma manera cambios en sus características mecánicas, provienen de la erosión y fragmentación de manera natural o artificial de las rocas. En el ámbito de la construcción de carreteras es importante tener en cuenta que los materiales pueden llegar a incrementar el costo dependiendo el lugar y el procesamiento que tienen los agregados pétreos, se debe procurar que éstos procedan de zonas cercanas a la obra por el volumen que se requiere para la construcción de los proyectos (Bañón & Bevía García, 2000).

Definición de agregados

Los agregados son partículas inertes de minerales granulares que se usan de gran manera en la industria de construcción o proyectos de obras civiles, las extracciones de los agregados se dan en los depósitos naturales teniendo como productos la arena y grava, todo material que presente resistencia propia y que no altere las propiedades y características de la mezcla, garantizando la adherencia con un agente ligante se considera como agregado. (Ferreira Cuellar & Torres López, 2014).

Fuente de los agregados

La cantera “Apich Antisanilla” es la fuente de los agregados pétreos que se utilizarán en este proyecto ya que se encuentra ubicada cerca de la universidad “ESPE” y nos facilita realizar los diferentes ensayos propuestos al inicio de la investigación, con ello validar la utilización de los mismos de acuerdo a la normativa técnica ecuatoriana NTE INEN.

Características de la zona de extracción de los materiales pétreos

Localización de la zona de extracción

La cantera “Apich Antisanilla” se encuentra ubicada en la provincia de Pichincha en el cantón Quito, en la parroquia Pintag a 35 km de Quito, en el Valle de los Chillos.

Vista desde un punto más cercano, mostrando las vías de acceso en la entrada principal.

Figura 3

Ubicación de la Cantera “Apich Antisanilla”



Nota. La imagen nos muestra la ubicación de la cantera “Apich Antisanilla”.

Para el reconocimiento de la cantera de donde se obtuvo el material pétreo se insertará una imagen que logre identificar el lugar de una manera de acercamiento a la cantera.

Figura 4

Delimitación de la Cantera “Apich Antisanilla”



Nota. La imagen nos muestra a delimitación de la cantera “Apich Antisanilla”.

Coordenadas:

- Sur: 0° 25' 18.3" S
- Norte: 78° 21' 33.2" N
- Elevación: 3112 msnm

Geología de la zona de extracción. La geología encontrada en el sector de la cantera está asociada a flujos de lava Antisanilla, el material extraído en el sitio proviene el flujo lávico, se presume es el producto de erupciones de edad joven, y tiene un área aproximada de 22 km² (Molina Silva, 2019).

La zona se encuentra cerca del área protegida y sus materiales provienen de los flujos piroclásticos del Antisana, que han hecho de este lugar una mina de extracción de agregados gruesos y finos que abastecen a las zonas del valle de los chillos y quito.

También se han identificado brechas monolíticas de la composición de andesita basáltica, cuyos angulosos varían entre 10 a 80 cm., presentan textura de porfídica donde se distinguen plagioclasas, cuarzo y piroxenos, presenta una tonalidad rojiza, resultado de la meteorización y oxidación (Molina Silva, 2019).

Análisis de las propiedades físicas y mecánicas de los agregados del sector Pintag

Las descripciones de los materiales pétreos en las diferentes obras civiles que se realizan son de suma importancia es por consiguiente que se detallará los ensayos de laboratorio de los agregados que se utilizaron para la investigación, a través de las normas técnicas ecuatorianas INEN y las normas internacionales ASTM.

Granulometría.

El análisis granulométrico consiste en tomar una muestra estandarizada en condiciones secas y de masa conocida las mismas que son separadas por tamaño a través de una serie de tamices de aberturas ordenadas en forma descendente. Las masas de las partículas mayores a las aberturas de la serie de tamices utilizados, expresado en porcentaje de masa total, permite determinar la distribución del tamaño de partículas (Botía Diaz, 2015).

Granulometría de agregado fino

Equipo. Para ensayar las diferentes muestras se siguió la norma NTE INEN 696, (2011) según esta normativa el equipo que se emplea es el siguiente:

- Horno de secado: que tenga la capacidad de mantener temperaturas constantes de 110 ± 5 °C.
- Recipientes de muestreo: recipientes para pesar las diferentes muestras que se quedan en las mallas de los tamices.
- Balanza: con precisión de 0.1g, previamente calibrada para tomar las medidas del material de muestreo.

- Juego de tamices: se establecen los tamices de acuerdo al agregado que se va a ensayar, los tamices que se utilizaron fueron de acuerdo a la norma.

Muestra. Para el muestreo de las diferentes muestras de áridos se siguió la norma NTE INEN 695, (2011), la misma que nos indica que:

- El peso de la muestra para el agregado fino N°1 fue de 500.1 g, basándonos en la norma que menciona no debe ser menor a 300g.
- El peso de la muestra para el agregado fino N°2 fue de 499.9 g, basándonos en la norma que menciona no debe ser menor a 300g.

Proceso. Siguiendo el proceso que nos menciona la norma NTE INEN 696, (2011), tenemos los siguientes pasos a realizar en nuestras muestras:

1. La selección del material se da cuarteando la muestra hasta obtener un valor próximo a los establecidos en la normativa.
2. Se pesa el material de cada una de las muestras y se las pone en una bandeja metálica.
3. Secamos el material en un horno durante 24 ± 4 horas a una temperatura constante de 110 ± 5 °C.
4. Separar y acomodar los tamices necesarios de manera descendente de acuerdo a la norma.
5. Colocar la muestra en los tamices, si la muestra es grande realizarlo por partes para que se pueda realizar de manera más fácil y efectiva.
6. Al tamizar el material, colocar el material retenido de cada tamiz en una bandeja para pesar sin dejar residuos en el interior.
7. Tomar nota de los valores obtenidos para realizar los cálculos.

El cálculo del módulo de finura es necesario para poder clasificar el agregado fino en función de su granulometría, para lo cual se emplea la siguiente fórmula:

$$M.F = \frac{\%ret. Acum. (N^{\circ}4, N^{\circ}8, N^{\circ}16, N^{\circ}30, N^{\circ}50, N^{\circ}100)}{100}$$

Donde:

MF: Módulo de finura

Resultados: Empleando las diferentes normativas y siguiendo su procedimiento, podemos determinar las características de las muestras de agregado fino ensayadas.

Tabla 1

Granulometría de la Muestra N°1 de Agregado Fino

Tamices	Peso retenido (g)	Retenido acumulado	% Retenido	% Acumulado pasa total
1" (25 mm)	0,00	0,00	0,00	100,00
3/4" (19 mm)	0,00	0,00	0,00	100,00
1/2" (12,5 mm)	0,00	0,00	0,00	100,00
3/8" (9,52 mm)	0,00	0,00	0,00	100,00
N° 4 (4,76 mm)	27,70	27,70	5,57	94,43
N° 8 (2,36 mm)	87,20	114,90	23,12	76,88
N° 16 (1,18 mm)	96,80	211,70	42,60	57,40
N° 30 (0,6 mm)	61,90	273,60	55,06	44,94
N° 50 (0,36 mm)	68,80	342,40	68,90	31,10
N° 100 (0,15 mm)	55,70	398,10	80,11	19,89
N° 200 (0,075 mm)	45,90	444,00	89,35	10,65
Bandeja	52,95	496,95	100,00	0,00
Peso inicial de la muestra (g)				500,1
Módulo de finura:				2,8

Nota. En esta tabla se muestra los datos tomados y los resultados obtenidos en laboratorio respecto al ensayo granulométrico del agregado fino N°1.

Cálculo del módulo de finura:

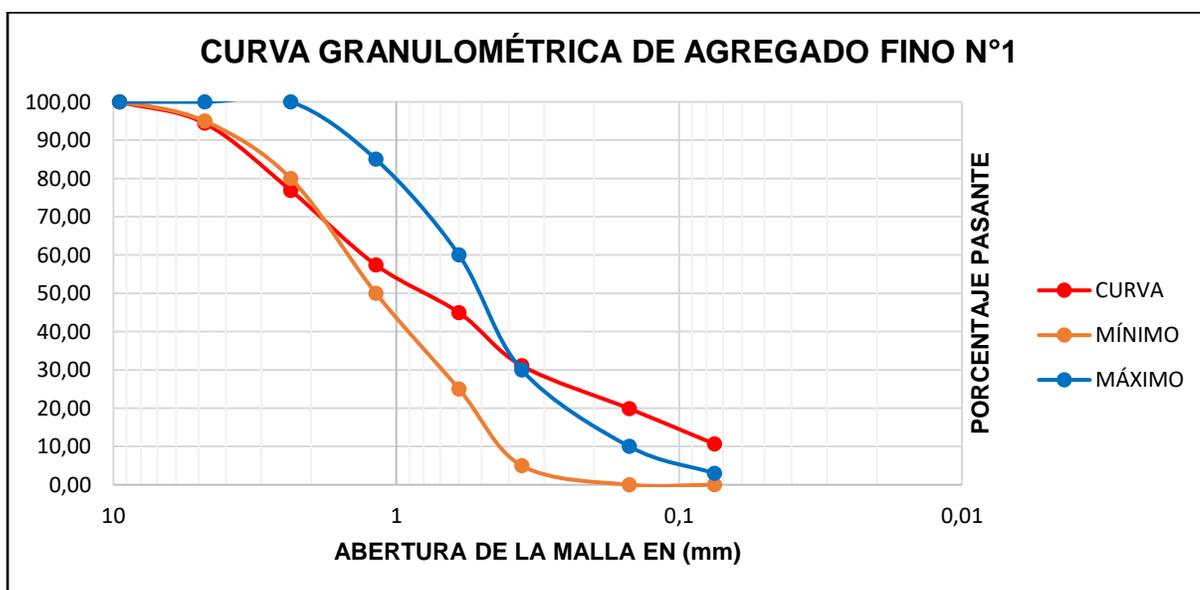
$$M.F = \frac{\%ret. Acum. (N^{\circ}4, N^{\circ}8, N^{\circ}16, N^{\circ}30, N^{\circ}50, N^{\circ}100)}{100}$$

$$M.F = \frac{275.36}{100}$$

$$M.F = 2.8$$

Figura 5

Límites de Graduación y Curva Granulométrica del Agregado fino N°1



Nota. La imagen nos muestra los límites de graduación para nuestra muestra y la curva granulométrica obtenida del agregado fino N°1.

Tabla 2*Granulométrica de la Muestra N°2 de Agregado Fino*

Tamices	Peso retenido (g)	Retenido acumulado	% Retenido	% Acumulado pasa total
1" (25 mm)	0,00	0,00	0,00	100,00
3/4" (19 mm)	0,00	0,00	0,00	100,00
1/2" (12,5 mm)	0,00	0,00	0,00	100,00
3/8" (9,52 mm)	0,00	0,00	0,00	100,00
N° 4 (4,76 mm)	1,20	1,20	0,24	99,76
N° 8 (2,36 mm)	11,20	12,40	2,51	97,49
N° 16 (1,18 mm)	44,60	57,00	11,53	88,47
N° 30 (0,6 mm)	80,40	137,40	27,80	72,20
N° 50 (0,36 mm)	123,30	260,70	52,74	47,26
N° 100 (0,15 mm)	138,50	399,20	80,76	19,24
N° 200 (0,075 mm)	66,40	465,60	94,19	5,81
Bandeja	28,70	494,30	100,00	0,00
Peso inicial de la muestra (g)				499,9
Módulo de finura:				1,8

Nota. En esta tabla se muestra los datos tomados y los resultados obtenidos en laboratorio respecto al ensayo granulométrico del agregado fino N°2.

Cálculo del módulo de finura:

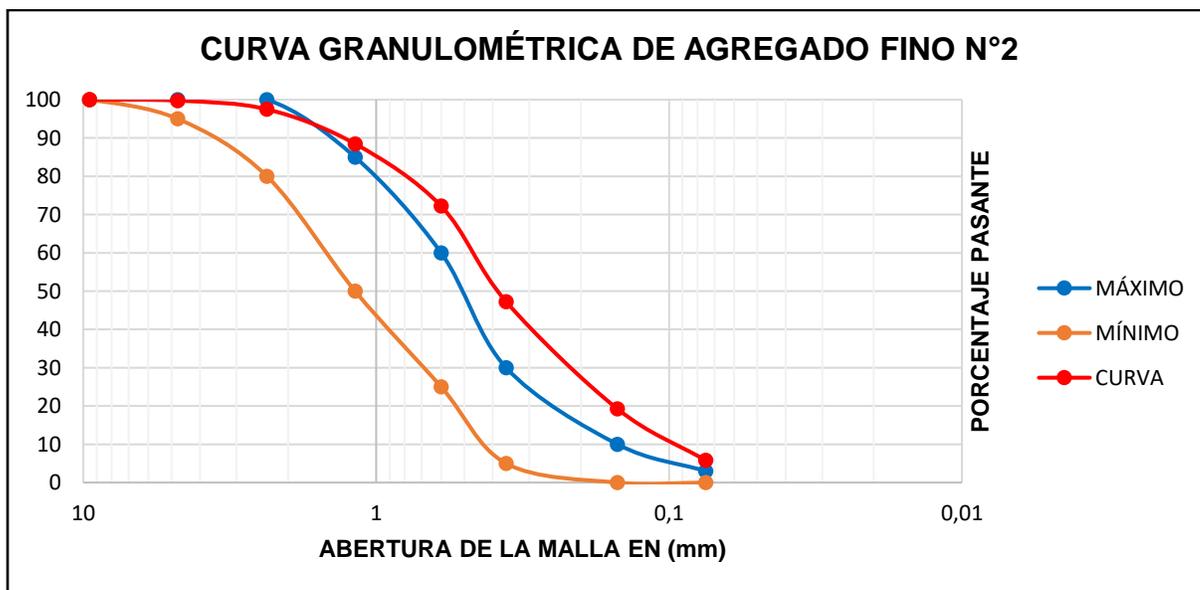
$$M.F = \frac{\%ret. Acum. (N^{\circ}4, N^{\circ}8, N^{\circ}16, N^{\circ}30, N^{\circ}50, N^{\circ}100)}{100}$$

$$M.F = \frac{175.58}{100}$$

$$M.F = 1.8$$

Figura 6

Límites de Gradación y Curva Granulométrica del Agregado fino N°2



Nota. La imagen nos muestra los límites de graduación para nuestra muestra y la curva granulométrica obtenida del agregado fino N°2.

Granulometría de agregado grueso

Equipo. Para ensayar las diferentes muestras se siguió la norma NTE INEN 696, (2011), según esta normativa el equipo que se emplea es el siguiente:

- Horno de secado: que tenga la capacidad de mantener temperaturas constantes de 110 ± 5 °C.
- Recipientes de muestreo: recipientes para pesar las diferentes muestras que se quedan en las mallas de los tamices.
- Balanza #1: con precisión de 0.01g, previamente calibrada para tomar las medidas del material retenido en cada material.
- Balanza #2: con precisión de 0.1g, previamente calibrada para tomar las medidas del material de muestreo.

- Juego de tamices: se establecen los tamices de acuerdo al agregado que se va a ensayar, los tamices que se utilizaron fueron de acuerdo a la norma, a continuación, tendremos una tabla en la que se puede apreciar el juego de tamices.

Muestra. Para el muestreo de las diferentes muestras de áridos se siguió la norma NTE INEN 695, (2011), la misma que nos indica que:

- El peso de la muestra para el agregado grueso de 3/8 fue de 2022.2 g, basándonos en la norma que menciona no debe ser menor a 1kg.
- El peso de la muestra para el agregado grueso de 3/4 fue de 5000 g, basándonos en la norma que menciona no debe ser menor a 5kg.

Proceso. Siguiendo el proceso que nos menciona la norma NTE INEN 696, (2011), tenemos los siguientes pasos a realizar en nuestras muestras:

1. La selección del material se da cuarteando la muestra hasta obtener un valor próximo a los establecidos en la normativa.
2. Se pesa el material de cada una de las muestras y se las pone en una bandeja metálica.
3. Secamos el material en un horno durante 24 ± 4 horas a una temperatura constante de 110 ± 5 °C.
4. Separar y acomodas los tamices necesarios de manera descendente de acuerdo a la norma.
5. Colocar la muestra en los tamices, si la muestra es grande realizarlo por partes para que se pueda realizar de manera más fácil y efectiva.
6. Al tamizar el material, colocar el material retenido de cada tamiz en una bandeja para pesar sin dejar residuos en el interior.

7. Tomar nota de los valores obtenidos para realizar los cálculos.

Resultados: Empleando las diferentes normativas y siguiendo su procedimiento, podemos determinar las características de las muestras de agregado grueso ensayadas.

Tabla 3

Granulométrica de la Muestra de Agregado Grueso 3/4"

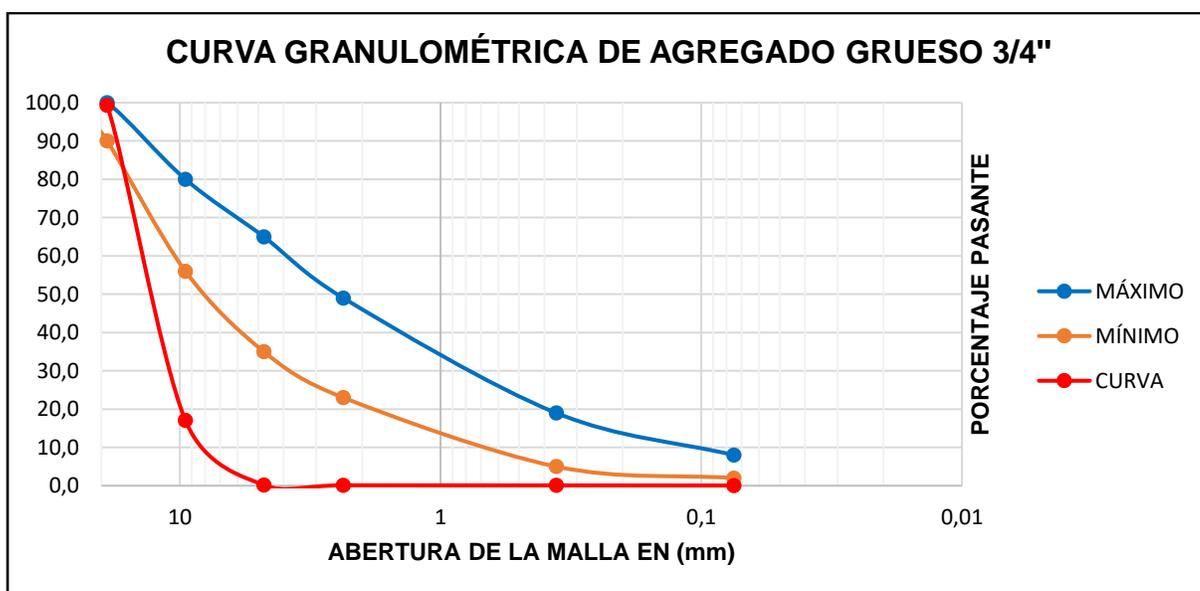
Tamices	Peso retenido (g)	Retenido acumulado	% Retenido	% Acumulado pasa total
1" (25 mm)	0,0	0	0,00	100,00
3/4" (19 mm)	35,7	35,7	0,72	99,28
3/8" (9,52 mm)	4086,5	4122,2	82,96	17,04
N° 4 (4,76 mm)	837,7	4959,9	99,82	0,18
N° 8 (2,36 mm)	3,7	4963,6	99,90	0,10
N° 50 (0,36 mm)	1,0	4964,6	99,92	0,08
N° 200 (0,075 mm)	1,9	4966,5	99,96	0,04
Bandeja	2,2	4968,7	100,00	0,0
Peso inicial de la muestra (g)				5000

Nota. En esta tabla se muestra los datos tomados y los resultados obtenidos en laboratorio respecto al ensayo granulométrico del agregado grueso 3/4".

Para el análisis de los límites de graduación nos basamos en la República del Ecuador ministerio de obras públicas y comunicaciones, (2002) en el capítulo 405-5.1, en la cual nos da unos límites de graduación.

Figura 7

Límites de Gradación y Curva Granulométrica del Agregado Grueso 3/4"



Nota. La imagen nos muestra los límites de graduación para nuestra muestra y la curva granulométrica obtenida del agregado grueso 3/4".

Tabla 4

Granulométrica de la Muestra de Agregado Grueso 3/8"

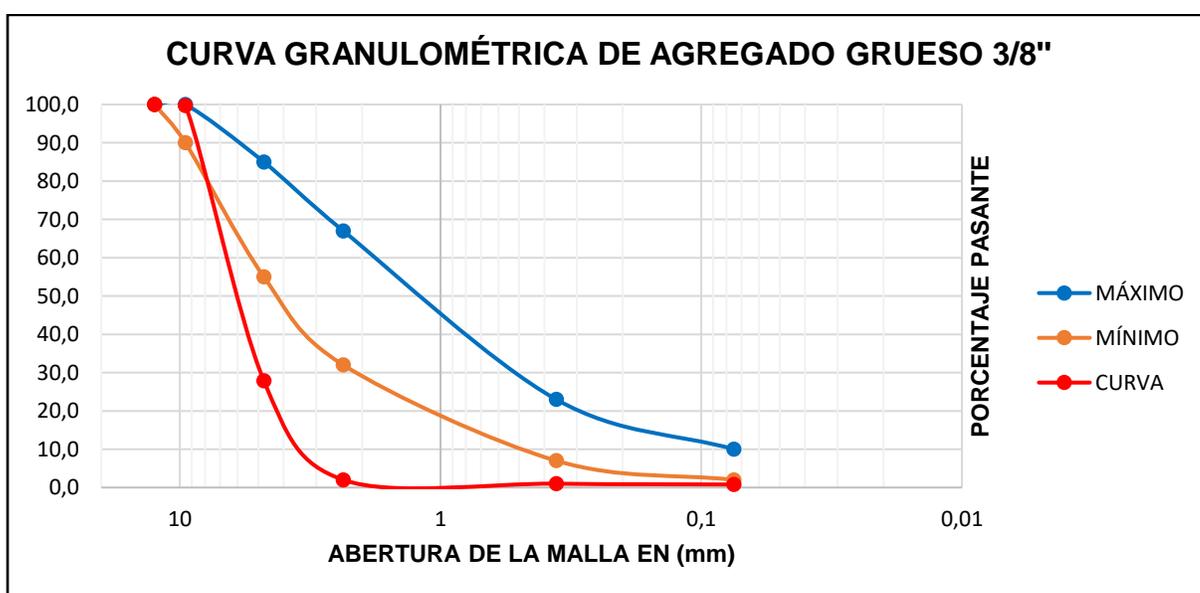
Tamices	Peso retenido (g)	Retenido acumulado	% Retenido	% Acumulado pasa total
1/2" (12,5 mm)	0,0	0,0	0,00	100,00
3/8" (9,52 mm)	5,8	5,8	0,29	99,71
N° 4 (4,76 mm)	1443,4	1449,2	72,12	27,88
N° 8 (2,36 mm)	520,0	1969,2	98,00	2,00
N° 50 (0,36 mm)	20,1	1989,3	99,00	1,00
N° 200 (0,075 mm)	4,3	1993,6	99,22	0,78
Bandeja	15,7	2009,3	100,00	0,0
Peso inicial de la muestra (g)				2022,2

Nota. En esta tabla se muestra los datos tomados y los resultados obtenidos en laboratorio respecto al ensayo granulométrico del agregado grueso 3/8".

Para el análisis de los límites de graduación nos basamos en el Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones, (2002) en el capítulo 405-5.1, en la cual nos da unos límites de graduación.

Figura 8

Límites de Graduación y Curva Granulométrica del Agregado Grueso 3/8"



Nota. La imagen nos muestra los límites de graduación para nuestra muestra y la curva granulométrica obtenida del agregado grueso 3/8".

Con respecto a los resultados obtenidos en los ensayos se puede evidenciar que la curva granulométrica se encuentra fuera de los límites de graduación en los dos ensayos realizados, por lo tanto, se procede a realizar la curva maestra con los porcentajes obtenidos y con los límites de graduación para 3/4" y 1/2" que se encuentran en la tabla de la MOP 405-5.1.

Tabla 5*Mezcla para la Obtención de la Curva Maestra.*

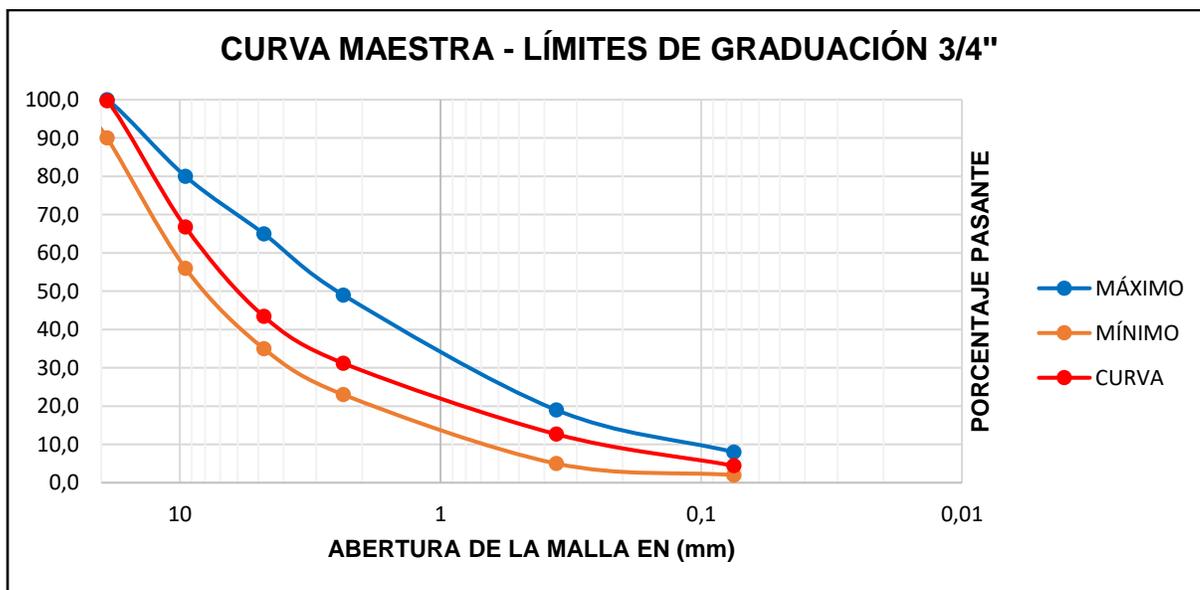
Tamices	Arena N°1 (40%)	3/4" (40%)	3/8" (20%)	Mezcla
1" (25 mm)	40,00	40,00	20,00	100,00
3/4" (19 mm)	40,00	39,71	20,00	99,71
3/8" (9,52 mm)	40,00	6,81	19,94	66,76
N° 4 (4,76 mm)	37,77	0,07	5,58	43,42
N° 8 (2,36 mm)	30,75	0,04	0,40	31,19
N° 50 (0,36 mm)	12,44	0,03	0,20	12,67
N° 200 (0,075 mm)	4,26	0,02	0,16	4,44
Bandeja	0,00	0,00	0,00	0,00

Nota. En esta tabla se muestra los porcentajes tomados en cada uno de los agregados para la obtención de la curva maestra.

Para el análisis de los límites de graduación nos basamos en el Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones, (2002) en el capítulo 405-5.1, en la cual nos da unos límites de graduación.

Figura 9

Límites de Graduación de 3/4" y Curva Maestra.



Nota. La imagen nos muestra los límites de graduación de 3/4" y la curva maestra obtenida de la combinación de los agregados ensayados.

Densidad, densidad relativa y absorción del agregado. Este método de ensayo es utilizado para determinar la densidad de la porción sólida de un número grande de partículas de árido y proporcionar un valor promedio, que representa la muestra. La diferencia entre la densidad de las partículas del árido, determinadas por este método, y la masa unitaria (peso volumétrico) de los áridos (NTE INEN 856, 2011).

Densidad y absorción del agregado fino

Equipo. Para ensayar las diferentes muestras se siguió la norma NTE INEN 856, (2011), según esta normativa el equipo que se emplea es el siguiente:

- Horno de secado: que tenga la capacidad de mantener temperaturas constantes de 110 ± 5 °C.
- Picnómetro: para el uso de procedimiento gravimétrico.

- Balanza: con precisión de 0.1%, previamente calibrada para tomar las medidas del material de muestreo.
- Molde y compactador para ensayo de humedad superficial: molde metálico que debe tener la forma de cono truncado.

Muestra. Para el muestreo de las diferentes muestras de áridos se siguió la norma NTE INEN 695, (2011), cuarteando el material hasta obtener aproximadamente 1Kg.

Proceso. Siguiendo el proceso que nos menciona la norma NTE INEN 856, (2011), tenemos los siguientes pasos a realizar en nuestras muestras:

1. Secamos el material en un horno, hasta conseguir una masa constante, a una temperatura constante de 110 ± 5 °C.
2. Quitar las impurezas y el pasante del tamiz N° 200, lavar el material granular fino y sumergirlo en agua durante $24 \text{ h} \pm 4 \text{ h}$.
3. Retirar el agua del recipiente y colocar la muestra sobre una bandeja de manera uniforme para el secado del material.
4. Para realizar el ensayo necesitamos que el agregado este en condición superficialmente saturada, para la verificación de lo anterior mencionado, se debe llenar un molde en forma de cono truncado, se la compacta de manera uniforme, tomando en consideración que se debe apisonar el material con un total de 25 golpes hasta llenar el molde. Se debe enraizar el molde y retirar el material excedente.
5. Retirar el molde y verificar que el agregado se derrumbe parcialmente, si conserva su forma es porque aún está húmeda y se debe continuar con el proceso de secado.

6. Tomar el picnómetro y llenarlo de agua, posteriormente pesar el picnómetro + agua. Tomar 500g de material granular fino saturado superficialmente seco (SSS).
7. Tomar los 500g de material granular fino (SSS) y colocarlo dentro del picnómetro, después de introducir el material continuamos llenándolo de agua.
8. Agitar el picnómetro que contiene el material para eliminar las burbujas de aire, después se toma el peso de la muestra+agua+picnómetro.
9. Sacar el material del picnómetro y llevar la muestra a un horno a 110 °C durante 24 h ± 4h.
10. Finalmente pesar el material seco.

Para el cálculo de los ensayos se emplean las siguientes fórmulas:

$$\text{Densidad relativa (SH)} = \frac{A}{(B + S - C)}$$

$$\text{Densidad relativa (SSS)} = \frac{S}{(B + S - C)}$$

$$\text{Densidad relativa aparente} = \frac{A}{(B + A - C)}$$

$$\text{Absorción, \%} = \frac{S - A}{A} \cdot 100$$

Donde:

A: masa de la muestra seca al horno, g

B: masa del picnómetro lleno con agua, hasta marca de calibración, g

C: masa del picnómetro lleno con muestra y agua hasta la marca de calibración, g

S: masa de muestra saturada superficialmente seca

Resultados: Empleando la normativa y siguiendo su procedimiento, podemos determinar las características de las muestras de agregado fino ensayadas.

Tabla 6

Cálculo de Densidades y Porcentaje de Absorción del Agregado Fino.

Unidad	Parámetro	Símbolo	Cálculo
g	Masa de la muestra seca al horno	A	490,3
g	Masa del picnómetro lleno con agua	B	671,4
g	Masa del picnómetro lleno con muestra y agua	C	980,3
g	Masa saturada con superficie seca	S	491,3
g/cm ³	Peso específico del agua	γ	0,998
g/cm ³	Densidad relativa	SH	2,68
g/cm ³	Densidad relativa	SSS	2,69
g/cm ³	Densidad relativa aparente		2,70
%	Absorción		0,20

Nota. En esta tabla se muestra los resultados de las densidades y absorción del agregado fino.

Densidad y absorción del agregado grueso

Equipo. Para ensayar las diferentes muestras se siguió la norma NTE INEN 857, (2011), según esta normativa el equipo que se emplea es el siguiente:

- Horno de secado: que tenga la capacidad de mantener temperaturas constantes de 110 ± 5 °C.
- Recipiente para la muestra: para colocar el agregado y pesar en el agua.
- Balanza: con precisión de 0.1%, previamente calibrada para tomar las medidas del material de muestreo.

- Tanque de agua: dentro del cual se coloca el recipiente para la muestra mientras se suspende bajo balanza.

Muestra. Para el muestreo de las diferentes muestras de áridos se siguió la norma NTE INEN 695, (2011), cuarteando el material hasta obtener la cantidad de masa mínima de la muestra de ensayo en la norma NTE INEN 857, (2011).

Proceso. Siguiendo el proceso que nos menciona la norma NTE INEN 857, (2011), tenemos los siguientes pasos a realizar en nuestras muestras:

1. Retirar todo el material que pasa el tamiz N°4 y proceder a lavarlo para eliminar las impurezas.
2. Secamos el material en un horno, hasta conseguir una masa constante, a una temperatura constante de 110 ± 5 °C.
3. Sumergir el material granular en agua durante $24 \text{ h} \pm 4 \text{ h}$.
4. Sacar el material del agua, secar el agua superficial con un material absorbente hasta que el material pierda el brillo de agua.
5. Pesamos el material saturado superficialmente seca (SSS).
6. Poner la muestra dentro del recipiente (canastilla) para posteriormente sumergirlo en el agua hasta que cubra todo el recipiente, posteriormente tomar el peso de la misma.
7. Sacar el material del tanque y llevar la muestra a un horno a 110 °C durante $24 \text{ h} \pm 4 \text{ h}$.
8. Finalmente pesar el material seco.

Para el cálculo de los ensayos se emplean las siguientes fórmulas:

$$\text{Densidad relativa (SH)} = \frac{A}{(B - C)}$$

$$\text{Densidad relativa (SSS)} = \frac{B}{(B - C)}$$

$$\text{Densidad relativa aparente} = \frac{A}{(A - C)}$$

$$\text{Absorción, \%} = \frac{B - A}{A} \cdot 100$$

Donde:

A: masa en aire de la muestra seca al horno, g

B: masa en aire de la muestra saturada superficialmente seca, g

C: masa aparente en agua de la muestra saturada, g

S: masa de la muestra saturada superficialmente seca

Resultados: Empleando la normativa y siguiendo su procedimiento, podemos determinar las características de las muestras de agregado grueso ensayadas.

Tabla 7

Cálculo de Densidades y Porcentaje de Absorción del Agregado Grueso 3/4".

Unidad	Parámetro	Símbolo	Cálculo
g	Masa en aire de la muestra seca al horno	A	2930,4
g	Masa en aire de la muestra superficialmente saturada	B	3008
g	Masa de la muestra saturada superficialmente seca	C	1765
g/cm ³	Peso específico del agua	γ	0,998
g/cm ³	Densidad relativa	SH	2,35
g/cm ³	Densidad relativa	SSS	2,42
g/cm ³	Densidad relativa aparente		2,51
%	Absorción		2,65

Nota. En esta tabla se muestra los resultados de las densidades y absorción del agregado grueso 3/4".

Tabla 8

Cálculo de Densidades y Porcentaje de Absorción del Agregado Grueso 3/8".

Unidad	Parámetro	Símbolo	Cálculo
g	Masa en aire de la muestra seca al horno	A	1952,3
g	Masa en aire de la muestra superficialmente saturada	B	2010
g	Masa de la muestra saturada superficialmente seca	C	1180
g/cm ³	Peso específico del agua	γ	0,998
g/cm ³	Densidad relativa	SH	2,35
g/cm ³	Densidad relativa	SSS	2,42
g/cm ³	Densidad relativa aparente		2,53
%	Absorción		2,96

Nota. En esta tabla se muestra los resultados de las densidades y absorción del agregado grueso 3/8".

Masa unitaria. El peso unitario de un suelo, se puede definir como la masa de un volumen unitario de suelo, en la cual el volumen incluye el volumen de las partículas individuales y el volumen de vacíos entre partículas, bien sea que estos vacíos estén llenos de agua para lo cual sería peso unitario saturado o que estén secos para un peso unitario seco. El valor del peso unitario del suelo además de variar por la cantidad de agua que tenga, también dependerá de condiciones de compactación y consolidación que esté presente (NTE INEN 858, 2011).

Masa unitaria de agregado fino

Equipo. Para ensayar las diferentes muestras se siguió la norma NTE INEN 858, (2011), según esta normativa el equipo que se emplea es el siguiente:

- Horno de secado: que tenga la capacidad de mantener temperaturas constantes de 110 ± 5 °C.
- Molde cilíndrico: moldes para pesar las diferentes muestras.
- Balanza: con precisión de 0.1%, previamente calibrada para tomar las medidas del material de muestreo.
- Varilla de compactación: varilla recta y lisa de acero, que nos permita realizar los golpes para la compactación del material.

Muestra. Para el muestreo de las diferentes muestras de áridos se siguió la norma NTE INEN 695, (2011), hasta obtener una cantidad que nos sirva para llenar los moldes.

Proceso. Siguiendo el proceso que nos menciona la norma NTE INEN 858, (2011), tenemos los siguientes pasos a realizar en nuestras muestras:

1. La selección del material se da cuarteando la muestra hasta obtener una cantidad prudente para llenar el molde y continuar con él ensayo.
2. Secamos el material en un horno durante 24 ± 4 horas a una temperatura constante de 110 ± 5 °C.
3. Pesar los moldes cilíndricos que vamos a utilizar.
4. Llenar los moldes y quitar el material excedente.
5. Pesar el molde con el agregado.
6. Para la masa unitaria compactada, se llena el molde en 3 capas iguales, las mismas que tendrán una compactación con la varilla de 25 golpes en cada capa y por último se quita el material excedente.

7. Pesar el molde con el agregado compactado.

El cálculo de la masa unitaria se da con la siguiente fórmula:

$$M = \frac{G - T}{V}$$

Donde:

M: masa unitaria (peso volumétrico) del árido, kg/m³

G: masa del árido más el molde, kg

T: masa del molde, kg

Resultados: Empleando la normativa y siguiendo su procedimiento, podemos determinar las características de las muestras de agregado fino ensayadas.

Tabla 9

Cálculo para la Masa Unitaria Suelta del Agregado Fino N°1.

Parámetro	Datos	
Peso del molde (g)	2595,5	2595,5
Peso del molde + suelo (g)	5962,4	6105,3
Peso suelo (g)	3366,9	3509,8
Volumen del molde (cm ³)	2758	2758
Densidad suelta (g/cm ³)	1,22	1,27
Promedio		1,25

Nota. En esta tabla se muestra los resultados de la masa unitaria suelta del agregado fino N°1.

Tabla 10*Cálculo para la Masa Unitaria Suelta del Agregado Fino N°2.*

Parámetro	Datos	
Peso del molde (g)	2595,5	2595,5
Peso del molde + suelo (g)	7153,4	7152,2
Peso suelo (g)	4557,9	4556,7
Volumen del molde (cm ³)	2758	2758
Densidad suelta (g/cm ³)	1,65	1,65
Promedio	1,65	

Nota. En esta tabla se muestra los resultados de la masa unitaria suelta del agregado fino N°2.

Tabla 11*Cálculo para la Masa Unitaria Suelta del Agregado Fino N°2.*

Parámetro	Datos	
Peso del molde (g)	2595,5	2595,5
Peso del molde + suelo (g)	7153,4	7152,2
Peso suelo (g)	4557,9	4556,7
Volumen del molde (cm ³)	2758	2758
Densidad suelta (g/cm ³)	1,65	1,65
Promedio	1,65	

Nota. En esta tabla se muestra los resultados de la masa unitaria suelta del agregado fino N°2.

Tabla 12*Cálculo para la Masa Unitaria Compactada del Agregado Fino N°1.*

Parámetro	Datos	
Peso del molde (g)	2595,5	2595,5
Peso del molde + suelo (g)	6486,7	6628,3
Peso suelo (g)	3891,2	4032,8
Volumen del molde (cm ³)	2758	2758
Densidad suelta (g/cm ³)	1,41	1,46
Promedio	1,44	

Nota. En esta tabla se muestra los resultados de la masa unitaria compactada del agregado fino N°1.

Tabla 13

Cálculo para la Masa Unitaria Compactada del Agregado Fino N°2.

Parámetro	Datos	
Peso del molde (g)	2595,5	2595,5
Peso del molde + suelo (g)	7393,2	7458,9
Peso suelo (g)	4797,7	4863,4
Volumen del molde (cm ³)	2758	2758
Densidad suelta (g/cm ³)	1,74	1,76
Promedio	1,75	

Nota. En esta tabla se muestra los resultados de la masa unitaria compactada del agregado fino N°2.

Masa unitaria de agregado grueso

Equipo. Para ensayar las diferentes muestras se siguió la norma NTE INEN 858, (2011), según esta normativa el equipo que se emplea es el siguiente:

- Horno de secado: que tenga la capacidad de mantener temperaturas constantes de 110 ± 5 °C.
- Molde cilíndrico: moldes para pesar las diferentes muestras.
- Balanza: con precisión de 0.1%, previamente calibrada para tomar las medidas del material de muestreo.
- Varilla de compactación: varilla recta y lisa de acero, que nos permita realizar los golpes para la compactación del material.

Muestra. Para el muestreo de las diferentes muestras de áridos se siguió la norma NTE INEN 695, (2011), hasta obtener una cantidad que nos sirva para llenar los moldes.

Proceso. Siguiendo el proceso que nos menciona la norma NTE INEN 858, (2011), tenemos los siguientes pasos a realizar en nuestras muestras:

1. La selección del material se da cuarteando la muestra hasta obtener una cantidad prudente para llenar el molde y continuar con él ensayo.
2. Secamos el material en un horno durante 24 ± 4 horas a una temperatura constante de 110 ± 5 °C.
3. Pesar los moldes cilíndricos que vamos a utilizar.
4. Llenar los moldes y quitar el material excedente.
5. Pesar el molde con el agregado.
6. Para la masa unitaria compactada, se llena el molde en 3 capas iguales, las mismas que tendrán una compactación con la varilla de 25 golpes en cada capa y por último se quita el material excedente.
7. Pesar el molde con el agregado compactado.

El cálculo de la masa unitaria se da con la siguiente fórmula:

$$M = \frac{G - T}{V}$$

Donde:

M: masa unitaria (peso volumétrico) del árido, kg/m³

G: masa del árido más el molde, kg

T: masa del molde, kg

Resultados: Empleando la normativa y siguiendo su procedimiento, podemos determinar las características de las muestras de agregado grueso ensayadas.

Tabla 14

Cálculo para la Masa Unitaria Suelta del Agregado Grueso 3/4".

Parámetro	Datos	
Peso del molde (g)	7680	7680
Peso del molde + suelo (g)	24600	24400
Peso suelo (g)	16920	16720
Volumen del molde (cm ³)	13671	13671
Densidad suelta (g/cm ³)	1,24	1,22
Promedio	1,23	

Nota. En esta tabla se muestra los resultados de la masa unitaria suelta del agregado grueso 3/4".

Tabla 15

Cálculo para la Masa Unitaria Suelta del Agregado Grueso 3/8".

Parámetro	Datos	
Peso del molde (g)	7680	7680

Parámetro	Datos	
Peso del molde + suelo (g)	24400	24250
Peso suelo (g)	16720	16570
Volumen del molde (cm ³)	13671	13671
Densidad suelta (g/cm ³)	1,22	1,21
Promedio	1,22	

Nota. En esta tabla se muestra los resultados de la masa unitaria suelta del agregado grueso 3/8".

Tabla 16

Cálculo para la Masa Unitaria Compactada del Agregado Grueso 3/4".

Parámetro	Datos	
Peso del molde (g)	7680	7680
Peso del molde + suelo (g)	25450	25420
Peso suelo (g)	17770	17740
Volumen del molde (cm ³)	13671	13671
Densidad suelta (g/cm ³)	1,30	1,30
Promedio	1,30	

Nota. En esta tabla se muestra los resultados de la masa unitaria compactada del agregado grueso 3/4".

Tabla 17

Cálculo para la Masa Unitaria Compactada del Agregado Grueso 3/8".

Parámetro	Datos	
Peso del molde (g)	7680	7680

Parámetro	Datos	
Peso del molde + suelo (g)	25200	25100
Peso suelo (g)	17520	17420
Volumen del molde (cm ³)	13671	13671
Densidad suelta (g/cm ³)	1,28	1,27
Promedio	1,28	

Nota. En esta tabla se muestra los resultados de la masa unitaria compactada del agregado grueso 3/8".

Degradación del árido grueso. Este ensayo determina la pérdida de masa de los agregados minerales con gradación normalizada, resultante de una combinación de acciones que incluyen la abrasión o desgaste, el impacto y la molienda en un tambor giratorio de acero que contiene un número especificado de esferas de acero, cuyo número depende de la gradación de la muestra de ensayo (NTE INEN 860, 2011).

Equipo. Para ensayar las diferentes muestras se siguió la norma NTE INEN 860, (2011), según esta normativa el equipo que se emplea es el siguiente:

- Horno de secado: que tenga la capacidad de mantener temperaturas constantes de 110 ± 5 °C.
- Tamices.
- Balanza: con precisión de 0.1%, previamente calibrada para tomar las medidas del material de muestreo.
- Carga: esferas de acero.

Muestra. Para el muestreo de las diferentes muestras de áridos se siguió la norma NTE INEN 695, (2011), después pesar una muestra de 5000 ± 10 .

Proceso. Siguiendo el proceso que nos menciona la norma NTE INEN 860, (2011), tenemos los siguientes pasos a realizar en nuestras muestras:

1. Colocar la muestra y la carga para el ensayo en la máquina de los Ángeles.
2. Girar la máquina de los Ángeles a 500 revoluciones a una velocidad entre 30 r/min y 33 r/min.
3. Después tamizar la muestra por un tamiz de abertura de 1.70 mm.
4. Lavar el material más grueso que 1.70 mm.
5. Secamos el material en un horno durante 24 ± 4 horas a una temperatura constante de 110 ± 5 °C.

El cálculo de la masa unitaria se da con la siguiente fórmula:

$$D = \frac{B - C}{B} \cdot 100$$

Donde:

D: valor de la degradación, en porcentaje

B: masa inicial de la muestra de ensayo

C: masa de la muestra retenida en el tamiz de 1.70 mm, después del ensayo

Resultados: Empleando la normativa y siguiendo su procedimiento, podemos determinar las características de las muestras de agregado fino ensayadas.

Tabla 18

Cálculo para la Prueba de Desgaste del Material Granular 3/8".

Parámetro	Unidad	Cálculo
Gradación	B	
N° de esferas	#	11,0

Parámetro	Unidad	Cálculo
Masa inicial	g	5005,8
Retenido en el tamiz N°12 después de las 500 revoluciones	g	3750,1
Pérdida después de las 500 revoluciones	g	1255,7
Pérdida después de las 500 revoluciones	%	25,1

Nota. En esta tabla se muestra los resultados de la prueba de desgaste del agregado granular 3/8".

Tabla 19

Cálculo para la Prueba de Desgaste del Material Granular 3/4".

Parámetro	Unidad	Cálculo
Gradación	C	
N° de esferas	#	8,0
Masa inicial	g	5009,6
Retenido en el tamiz N°12 después de las 500 revoluciones	g	3634,3
Pérdida después de las 500 revoluciones	g	1375,3
Pérdida después de las 500 revoluciones	%	27,5

Nota. En esta tabla se muestra los resultados de la prueba de desgaste del agregado granular 3/4".

Descripción de las propiedades mecánicas, físicas y químicas de la resina epóxica

Dentro de la bibliografía, se encuentra el uso de la resina epóxica como material de reparación estructural en fisuras de pavimentos rígidos en la capa de rodadura, igualmente este método de reparación es utilizado para cualquier tipo de grietas en el hormigón, partiendo de ese conocimiento y evitando la utilización de materiales tradicionales que tienen varios

problemas con deterioros prematuros, se optó con emplear la resina epóxica como ligante de los materiales granulares para ver el efecto que presenta en su resistencia y comportamiento a variables cómo: cargas de vehículos, variación térmica, efecto de drenaje.

Es así que la presente investigación se enfoca en un análisis inductivo para encontrar las ventajas del uso de la resina epóxica como material ligante en una capa de rodadura que como funcionalidad principal se encuentre la no agresividad contra agentes atmosféricos, especialmente la permeabilidad con el agua (efecto drenante), así como la ideal resistencia para una vía con carga de tránsito moderada y por último y lo más importante hacer uso de materiales que se encuentran en el mercado y sean de fácil acceso y costo adecuado, para realizar un detalle de las características técnicas de la resina y mecánicas (esfuerzos de corte, compresión y tracción), del producto final.

De acuerdo a la hoja técnica del producto se menciona el uso de la resina como un imprimante en sustratos comenticos, destacando por su excelente adhesión y resistencia a la abrasión. Es un sistema conformado por dos componentes, los cuales son: la resina Epon 828 (componente A) y catalizador KH836 (componente B).

Definición de resina

La resina epóxica Epon 828 es un bisfenol di funcional si diluir, derivado de resina epóxica líquida, es un producto con una gran versatilidad cuyas características varían dependiendo del agente curador empleado, y se encuentra su utilidad en la realización de adhesivos de construcción, eléctricos y aeroespaciales, además de revestimiento de tanques, y distintos tipos de superficies, resistentes a productos químicos (3075 EPON Resin 828, 2005).

Propiedades mecánicas de la resina

3075 EPON Resin 828, (2005) nos indica que al utilizar la resina se obtienen materiales de alto rendimiento y alta resistencia cuando esta resina se cura con una variedad de agentes

de curado. Los sistemas sin relleno de uso común tienen valores de tensión superiores a 10 000 psi (69 MPa) con valores de módulo superiores a 400 000 psi (2750 Mpa).

El agente curador KH836 se encuentra en la categoría de aminas ciclo alifáticas, este catalizador tiene la funcionalidad de mejorar la resistencia a la intemperie, la tolerancia al agua y a la humedad, así como la resistencia química, el rendimiento térmico y la estabilidad UV. La estructura de este catalizador mejora la resistencia al impacto, debido a una mayor disposición a la elongación estructural que el agente de curado de cadena lineal.

Propiedades adhesivas de la resina

Una de las propiedades más ampliamente reconocidas de la resina EPON 828 curada es la fuerte adhesión a una amplia gama de sustratos. Dichos sistemas presentan una resistencia al corte de hasta 6000 psi (41 MPa), Un factor que contribuye a esta propiedad es la baja contracción que presentan estos sistemas durante el curado (3075 EPON Resin 828, 2005).

Resistencia química

La resina EPON 828 curada es altamente resistente a una amplia gama de productos químicos, incluidos cáusticos, ácidos, combustibles y solventes. Las estructuras reforzadas químicamente resistentes y los revestimientos sobre metal se pueden formular con EPON Resin 828 (3075 EPON Resin 828, 2005).

Características de la resina epóxica DURA-MAX

El recubrimiento del terminado corresponde al producto comercial "Dura-Max", el cuál es un recubrimiento mono componente base methyl methacrylate de altas prestaciones y con múltiples propiedades. En las especificaciones técnicas se presenta como propiedades una muy buena resistencia a agentes atmosféricos, resistencia al desgaste y tránsito vehicular, así como a los rayos UV, cuyos principales usos son: impermeabilizante de estructuras de

hormigón, señalización y líneas de tráfico, y suelos de áreas deportivas (3075 EPON Resin 828, 2005).

Seguridad y manejo

Estos productos son capaces de producir efectos adversos para la salud que van desde una irritación leve de la piel hasta efectos sistémicos graves. La exposición a estos materiales debe minimizarse y evitarse, si es factible, mediante la observancia de las precauciones adecuadas, el uso de controles de ingeniería apropiados, la ropa y el equipo de protección personal adecuados y el cumplimiento de los procedimientos de manipulación adecuados. Ninguno de estos materiales debe usarse, almacenarse o transportarse hasta que todas las personas que trabajarán con ellos entiendan las precauciones y recomendaciones de manipulación que se indican en la Hoja de datos de seguridad de materiales (MSDS) para estos y todos los demás productos que se utilizan (3075 EPON Resin 828, 2005).

Preparación de la resina, aplicación y uso

Al contar con los implementos de seguridad como son guantes, gafas y mascarilla procedemos a pesar la resina epóxica Epon 828 (componente A) y catalizador KH836 (componente B), en relación 1:2, después se deben unir los componentes A y B hasta que lleguen a conformarse como uno solo.

Al tener una mezcla homogénea procedemos a colocar en un recipiente con el agregado o en la superficie que se vaya a utilizar para posteriormente realizar otra mezcla, finalmente, dejamos secar en condiciones ambientales naturales a los componentes hasta que alcance su resistencia máxima.

Capítulo IV

Propiedades mecánicas de la subbase

Para nuestro análisis tomaremos cómo referencia los valores generales recomendados por el MOP-001F-2002 para los materiales a emplearse, presentándose lo siguiente:

Tabla 20

Valores Generales Recomendados por el MOP-001F-2002

%CBR	Abrasión %	Máximo límite líquido	Límite plástico	Porcentaje de deletéreos
≥ 30%	50%	25	≤ 6	0-20%

Nota. Recuperado de (libro MOP- 001F-2002).

Las sub-bases de agregados de clasificarán según el tamaño de los materiales a usarse en la elaboración de la estructura de la vía.

Clase 1: Sub-bases construidas con agregados obtenidos por la trituración de roca o gravas, graduados uniformemente dentro de los límites mostrados para la granulometría Clase 1 de la Tabla 403-1.1 del libro del MOP-001F-2002

Clase 2: Sub-bases construidas con agregados obtenidos mediante trituración o cribado en yacimientos de piedras fragmentadas naturalmente o de gravas, graduados uniformemente dentro de los límites indicados para granulometría Clase 2 de la Tabla 403-1.1

Clase 3: Sub-bases construidas con agregados naturales y procesados, que se hallen bien graduados dentro de los límites de la Tabla 403-1.1

Tabla 21

Tabla 403-1.1

TAMIZ	Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada		
	CLASE 1	CLASE 2	CLASE 3
3/8"(9.5 mm.)	100
2"(50.8 mm.)	...	100	...
1 1/2"(38.1 mm.)	100	70-100	...
N° 4 (4.76 mm.)	30-70	30-70	30-70
N° 40 (0.425 mm.)	oct-35	15-40	...
N° 200 (0.075 mm.)	0-15	0-20	0-20

Nota. Recuperado de (libro MOP- 001F-2002).

Bases

Esta capa se constituye por agregados triturados total o parcialmente o cribados estabilizados con agregado fino proveniente de la trituración o suelos finos seleccionados.

Se toman como referencia las recomendaciones del libro MOP-001F-2002 para las especificaciones y propiedades mecánicas de los materiales a ser usados en esta capa.

Tabla 22

Recomendaciones del Libro MOP-001F-2002

%CBR	Abrasión %	Máximo límite líquido	Límite plástico	Porcentaje de deletéreos
≥ 80%	40%	25	≤ 6	0-15%

Nota. Recuperado de (libro MOP- 001F-2002).

Clase 1: Son bases constituidas por agregados gruesos y finos, triturados en un 100% de acuerdo con lo establecido en la subsección 814-2 y graduados uniformemente dentro de los límites granulométricos indicados para los Tipos A y B en la Tabla 404-1.1. El proceso de trituración que emplee el Contratista será tal que se obtengan los tamaños especificados

directamente de la planta de trituración. Sin embargo, si hiciere falta relleno mineral para cumplir las exigencias de graduación se podrá completar con material procedente de una trituración adicional, o con arena fina, que serán mezclados necesariamente en planta.

Tabla 23

Tabla 404-1.1

TAMIZ	Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada	
	Tipo A	Tipo B
2"(50.8 mm.)	100	...
1 1/2"(38.1 mm.)	70-100	100
1"(25.4 mm.)	55-85	70-100
3/4"(19.0 mm.)	50-80	60-90
3/8"(9.5 mm.)	35-60	45-75
N° 4 (4.76 mm.)	25-50	30-60
N° 10 (2.00 mm.)	20-40	20-50
N° 40 (0.425 mm.)	10-25	10-25
N° 200 (0.075 mm.)	2-12	2-12

Nota. Recuperado de (libro MOP- 001F-2002).

Clase 2: Son bases constituidas por fragmentos de roca o grava trituradas, cuya fracción de agregado grueso será triturada al menos el 50% en peso, y que cumplirán los requisitos establecidos en la subsección 814-4.

Estas bases deberán hallarse graduadas uniformemente dentro de los límites granulométricos indicados en la Tabla 404-1.2.

Tabla 24*Tabla 404-1.2.*

TAMIZ	Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada
1"(25.4 mm.)	100
3/4"(19.0 mm.)	70-100
3/8"(9.5 mm.)	50-80
N° 4 (4.76 mm.)	35-65
N° 10 (2.00 mm.)	25-50
N° 40 (0.425 mm.)	15-30
N° 200 (0.075 mm.)	3-15

Nota. Recuperado de (libro MOP- 001F-2002).

Clase 3: Son bases constituidas por fragmentos de roca o grava trituradas, cuya fracción de agregado grueso será triturada al menos el 25% en peso, y que cumplirán los requisitos establecidos en la subsección 814-4.

Estas bases deberán hallarse graduadas uniformemente dentro de los límites granulométricos indicados en la Tabla 404-1.3.

Tabla 25*Tabla 404-1.3.*

TAMIZ	Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada
3/4"(19.0 mm.)	100
N° 4 (4.76 mm.)	45-80
N° 10 (2.00 mm.)	30-60
N° 40 (0.425 mm.)	20-35
N° 200 (0.075 mm.)	3-15

Nota. Recuperado de (libro MOP- 001F-2002).

Clase 4: Son bases constituidas por agregados obtenidos por trituración o cribado de piedras fragmentadas naturalmente o de gravas, de conformidad con lo establecido en la subsección 814-3 y graduadas uniformemente dentro de los límites granulométricos indicados en la Tabla 404-1.4.

Tabla 26

Tabla 404-1.4.

TAMIZ	Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada
2"(50.8 mm.)	100
1"(25.4 mm.)	60-90
N° 4 (4.76 mm.)	20-50
N° 200 (0.075 mm.)	0-15

Nota. Recuperado de (libro MOP- 001F-2002).

Confinamiento con las botellas plásticas como disipador de cargas

Disipador de carga

Los disipadores de energía son dispositivos o sistemas que se usan en ingeniería civil para poder disipar y absorber cargas y energías dinámicas, como temblores o movimientos sísmicos, así como también fuerte vientos y vibraciones, estos sistemas nos ayudan a proteger la obra civil y así evitar daños causadas por estas cargas y prolongar la vida útil de la misma en situaciones críticas.

Confinamiento de botellas plásticas

El reciclaje de botellas de plástico es una práctica cada vez más común en todo el mundo debido a la necesidad de reducir la cantidad de residuos y de disminuir la huella de carbono. Además de ser una solución efectiva para reducir la cantidad de plástico que se desecha en

vertederos y océanos, el reciclaje de botellas plásticas también ofrece oportunidades para aprovechar sus propiedades en la construcción. Las botellas de plástico pueden ser utilizadas como materiales de construcción debido a su durabilidad, flexibilidad, ligereza y capacidad de aislamiento térmico. Por lo tanto, el reciclaje de botellas plásticas no sólo reduce la cantidad de residuos, sino que también puede proporcionar una solución sostenible y rentable para la construcción.

Por ello se trabajó con estas botellas como forma de confinar el agregado 3/8 y de esta forma evitar o reducir el costo de maquinaria pesada para la compactación.

Propiedades de las botellas plásticas

Las botellas de plástico poseen varias propiedades que las hacen resistentes a distintos factores que las hacen adecuadas para diversas aplicaciones para las cuales no fueron creadas como las siguientes:

- **Ligereza:** esto hace que se diferencie de otros materiales como es el vidrio o metal, siendo así más fáciles de transportar y con mayor cantidad.
- **Flexibilidad:** estos pueden adoptar varias formas y de la misma manera intentan regresar a su forma original, esta propiedad es una de las fundamentales para el comportamiento de nuestro pavimento y disipador de carga.
- **Resistencia Química y Durabilidad:** la resistencia a químicos ayuda a su durabilidad y reciclaje ya que a pesar de los años mantiene intactas sus propiedades ayudándonos a que la vida útil sea mayor debido a los cambios climáticos bruscos que existe en la actualidad y a la resina que se colocara encima de estas.

Comportamiento de las botellas como disipador de carga

Como se mostró en el ítem anterior las propiedades de las botellas las convierten en el dispositivo idóneo para ser utilizado como disipador de carga ya que al ser flexible y resistente a las veces esta tiende a deformarse ya rotar a la misma vez, pero por sus propiedades intenta regresar a su estado original, es como básicamente se comporta el pavimento a diseñar, esto se puede verificar en los ensayos de campo, en donde se deforma, pero regresa a su estado original.

Estructura del pavimento propuesto

Conformación de la capa base

La base para la propuesta de pavimento se comprende una base que le denominaremos a las botellas plásticas y material pétreo con el cuál se rellenaran las botellas.

Botellas plásticas. Para la conformación De la estructura que va a tener nuestro Pavimento drenante Se utilizarán como medio de soporte botellas plásticas Del tipo recicladas con un perímetro de 36 centímetros.

Dado que el diseño se realizará en un Metro cuadrado debemos estimar la cantidad de botellas aproximadas para este caso, Lo podemos realizar estimando su diámetro.

De esta forma se obtiene que para la conformación del mallado necesitaremos 9 filas y 9 columnas de botella de reciclables.

Debido aquí las botellas presentarán una estructura cerrada y no permitirá el paso del agua debemos realizar orificios en la parte inferior, para así garantizar un elemento drenante de nuestro pavimento.

Se debe garantizar la correcta conexión lateral en cada una de las botellas Para ello sería realiza el amarre con el mismo e hilo PET obtenido de las botellas sobrantes, Para esta sujeción se utiliza un cautín para la perforación de los huecos.

Material pétreo. El material pétreo principalmente usado se obtuvo de la cantera de Pintag, para las especificaciones de este material tomaremos como referencia El libro de ministerio de transporte y obras públicas MOP 001-f El capítulo que analizaremos propiamente será el 400 en el cual se detallan las características de los agregados para los diferentes tipos de pavimentos que se pueden aplicar.

Estructura de la base propuesta

Procedimiento, Armado e instalación In-Situ.

- Obtención de botellas. - Para este caso de estudio debido a la facilidad de armado, se busca las botellas de mayor dimensión en el Mercado y con una gran producción, en la elaboración de 1m² se utilizan 81 botellas de 3 litros con un diámetro de 11.46cm.
- Lavado y corte de botellas. - Dado que es un material del tipo reciclable se deben eliminar las impurezas existentes para luego proceder a realizar el corte a una altura de 15cm tomando como referencia la base.
- Perforación de botellas. - Para garantizar el drenaje del pavimento se realizan diferentes agujeros en la base del material plástico usado, además se realizan 5 perforación en transversal al diámetro y en cada uno de los sentidos por los que se va a unir con las demás botellas.
- Deshilar. - Con el sobrante del corte de las botellas y con la ayuda de un deshilador se obtienen hilos de plástico, estos se usan como cuerdas para unir el material disipador de cargas empleado.
- Armado de botellas. - Luego de que el material plástico a usarse esté debidamente preparado con los pasos anteriores se procede a su unión mediante los hilos de plástico obtenidos, hasta la conformación de un metro cuadrado.

- Excavación. - Se procede a excavar un cuadrado de 1 m, a una profundidad de 30 cm, para poder colocar la estructura a base de botellas plásticas.
- Se instala la estructura y se conforma las capas de agregado fino y grueso respectivamente.
- Después de completar la altura de las botellas se debe enrasar con un codal a fin de tener una estructura firme y alineada.
- Asimismo, se excava una zanja para poder evacuar el agua resultante de la lluvia
- Posteriormente, se emplea agua para lavar los agregados que conformaron las capas en las botellas y realizar una prueba de filtración.

Ensayo de placa In-Situ

Equipo. Para ensayar las diferentes muestras se siguió la norma ASTM Asignación: D1194 Método de Ensayo Estándar según esta normativa el equipo que se emplea es el siguiente:

- Carga de reacción: Una plataforma o cajón cargado, de tamaño y peso suficientes para suministrar la carga total requerida en el terreno. Para este fin se puede utilizar un camión cargado, con un peso total mayor o igual a 20 TM.
- Gata hidráulica: De suficiente capacidad para proveer y mantener la carga máxima estimada para las condiciones específicas del suelo, pero no menor de 50 ton. en cualquier caso. Para registrar la fuerza aplicada por la gata hidráulica se debe contar con un medidor de presión (manómetro), un anillo de carga o una celda de carga electrónica. Estos dispositivos deberían ser capaces de registrar la carga con un error que no exceda de $\pm 2\%$ del incremento de carga.

- Placa de carga: Se debe disponer de tres placas de acero circulares, con espesores no menores a 1 pulgada y con diámetros variando de 12 a 30 pulgadas (305 a 762 mm), incluyendo el mínimo y el máximo diámetro especificado, o placas de acero cuadradas de áreas equivalentes.
- Dispositivos de registro de asentamientos: Se requiere de 3 extensómetros, capaces de medir el asentamiento de la placa de carga con una precisión de por lo menos 0.01 pulgadas (0.25 mm).
- Aparatos diversos: Incluye una columna de acero (tubo) para transmitir la carga de la plataforma a la placa, y otras herramientas y equipos requeridos para la preparación del ensayo y el montaje del equipo (nivel, plomada, etc.)

Procedimiento. este procedimiento sigue la norma ASTM Asignación: D1194: Método de Ensayo Estándar.

- Selección del área de ensayo: Una selección representativa de la ubicación del ensayo se realiza en base a los resultados de los sondeos de exploración y de los requerimientos de la estructura. Se debe realizar el ensayo de carga a la profundidad de cimentación propuesta y en las mismas condiciones a las que ésta estará sujeta, a menos que se especifiquen condiciones especiales.
- Pozos de prueba: Se requieren por lo menos tres pozos, los cuales deben estar espaciados por lo menos 5 veces el diámetro mayor de las placas usadas. Se debe nivelar y limpiar cuidadosamente el área donde se colocará la placa de carga, de modo que el área de contacto sea en suelo no disturbado. Previo a la realización del ensayo, proteger el pozo y áreas vecinas contra los cambios de humedad del suelo, a menos que se espere un humedecimiento de éste en un tiempo futuro, como en el caso de estructuras hidráulicas. En este caso,

prehumedecer el suelo en el pozo hasta una profundidad no menor que el doble del diámetro o el largo de la placa.

- **Plataforma de carga:** Soportar la plataforma de carga o cajón en puntos tan distantes del área de ensayo como sea posible, preferiblemente a distancias no menores que 8 pies (2.4 m). La carga total requerida deberá estar disponible en el sitio antes de iniciar el ensayo. - **Carga muerta:** Pesar y registrar como peso muerto todo el equipo usado, tal como la placa de acero, columna de transmisión de carga y gata hidráulica, etc., que es colocada en el área previa a la aplicación de los incrementos de carga.
- **Viga de referencia:** Soportar independientemente la viga de referencia, que sostendrá los extensómetros u otros dispositivos de registro de asentamientos, tan lejos como sea posible, pero no menor que 8 pies (2.4 m) desde el centro del área de carga.
- **Incrementos de carga:** Aplicar la carga al suelo en incrementos iguales y acumulativos, no mayores que 1.0 Ton/ft² (95 KPa), o no más que un décimo de la capacidad portante estimada para el área a ser ensayada. Asegurarse de medir cada carga, y aplicar ésta de manera que el suelo sea cargado en forma estática, sin impactos, fluctuaciones o excentricidades.
- **Intervalo de tiempo de carga:** Después de la aplicación de cada incremento de carga, mantener la carga constante por un intervalo de tiempo seleccionado no menor que 15 minutos. Intervalos de tiempo mayores deben ser determinados manteniendo la carga constante hasta que el asentamiento cese o hasta que la razón de asentamiento sea uniforme. Mantener el mismo intervalo de tiempo seleccionado para cada incremento de carga en todo el ensayo.

- Registro del asentamiento: Mantener un registro continuo de todos los asentamientos. Realizar mediciones del asentamiento tan pronto como sean posibles antes y después de la aplicación de cada incremento de carga, y en intervalos de tiempos iguales cuando ésta es mantenida constante. Realizar por lo menos 6 mediciones del asentamiento entre las aplicaciones de carga.
- Término del ensayo: Continuar cada ensayo hasta que la carga pico sea alcanzada o hasta que la relación de incremento de carga a incremento de asentamiento resulte un mínimo. Si existe suficiente carga disponible, continuar el ensayo hasta que el asentamiento total alcance por lo menos el 10% del diámetro de la placa, a menos que una falla bien definida sea observada. Después de terminar las observaciones para el último incremento de carga, liberar la carga aplicada en aproximadamente tres decrementos iguales. Continuar registrando la recuperación del suelo hasta que la deformación cese, o por un período no menor que el intervalo de tiempo seleccionado para la carga.

Resultados del ensayo Carga con Placa

Tabla 27

Datos en Capa de Rodadura

Ensayo de Carga con Placa - Capa de Rodadura			
Nº	Carga (Ton)	Esfuerzo (Lb/in ²)	Deformación Promedio (in)
0	0	0	0
1	2.28	400	0.0060
2	4.56	800	0.0135
3	6.84	1200	0.0210
4	9.12	1600	0.0270
5	11.40	2000	0.0350

Ensayo de Carga con Placa - Capa de Rodadura			
6	13.68	2400	0.0440

Nota: Datos del ensayo de Carga con Placa en la capa de rodadura

Tabla 28

Datos Botellas Confinadas

Ensayo de Carga con Placa - Base			
Nº	Carga (Ton)	Esfuerzo (Lb/in ²)	Deformación Promedio (in)
0	0.00	0	0.0000
1	1.42	250	0.0070
2	2.85	500	0.0125
3	4.27	750	0.0190
4	5.70	1000	0.0230
5	7.12	1250	0.0295
6	8.55	1500	0.0367

Nota: Resultados del ensayo de Carga con Placa en la estructura del pavimento.

Propiedades mecánicas de la capa de rodadura dosificada con resina

Las propiedades mecánicas de la capa de rodadura son importantes para garantizar la durabilidad del pavimento a continuación se presentan algunas de estas:

Fatiga: esta es capaz de soportar grandes cargas sin causar ningún daño.

Ductilidad: el pavimento tiene la capacidad de deformarse sin romperse ni agrietarse con el paso del tráfico.

Resistencia al desgaste: tiene una buena resistencia evitando la erosión y pérdida del material.

Composición de la capa de rodadura propuesta

La capa de Rodadura se compone principalmente por Material pétreo del tipo agregado grueso 3/8, al tratarse de un pavimento drenante se busca la correcta relación entre la permeabilidad de la capa de rodadura y el no desprendimiento del material granular, por ello se decide trabajar con este agregado.

Para esta capa se une el material pétreo previamente seleccionado, el cuál entrará en contacto con la resina de alta resistencia, la cual se conforma de dos componentes, la resina epóxica Epon 828 y el agente curador KH836 en proporciones de 2:1 respectivamente.

Se presentan tres dosificaciones para posterior análisis con los ensayos correspondientes para el análisis de la capacidad de esta capa.

Procedimiento de instalación de la capa de rodadura propuesta.

- Debido a que se tiene una gran presencia de finos en los agregados se realizó previamente un lavado de los agregados y su secado a temperatura ambiente.
- De acuerdo a las dosificaciones descritas, se realizó en un embace la mezcla respectiva entre los áridos, la resina y el agente curador, con ello inmediatamente se procedió a regar el material sobre el sitio para su posterior tiempo de secado, este proceso se ejecutó hasta concluir con el litro de resina para la primera capa de rodadura.
- Hay que esperar el tiempo descrito en la especificación técnica para que exista una correcta adherencia entre partículas.
- Para la determinación de las dosificaciones adecuadas para el tipo de tráfico se deben considerar diferentes porcentajes de resina y su resistencia que se explican en el siguiente apartado.

Ensayo de briquetas con dosificaciones del 2.25%, 2.75%, 3.25%

Tracción indirecta

El principio del método consiste en imponer una deformación por compresión diametral a una probeta cilíndrica situada horizontalmente entre los platos de una prensa de forma que los esfuerzos aplicados a la probeta sean sobre dos generatrices opuestas. El parámetro a medir es la carga de rotura de la probeta. También, optativamente, se pueden determinar el desplazamiento vertical y la deformación horizontal del diámetro de la probeta durante la realización del ensayo si se dispone de los sistemas pertinentes para medirlos.

El ensayo a tracción indirecta está normalizado según la norma NLT-346/90 “Resistencia a compresión diametral (ensayo brasileño).

Equipo. Para ensayar las diferentes probetas con el ensayo de tracción indirecta se siguió la norma NLT-346/90, según esta normativa el equipo que se emplea es el siguiente:

- Prensa. Para ensayar las probetas se empleará cualquier tipo de prensa de compresión mecánica o hidráulica, que pueda proporcionar durante la aplicación de la carga una velocidad uniforme de desplazamiento del sistema de carga de $0.85 \pm 0.02 \text{ mm/s}$ (50.8 mm/min) y una carga de 100 kN (10^4 kgf) como mínimo.
- Recinto termostático. Un recinto de capacidad suficiente para guardar las probetas para ensayo y mantenerlas a una temperatura de $25 \pm 1^\circ \text{C}$
- Calibrador. Para medir con precisión de $\pm 0.1 \text{ mm}$ el diámetro y la altura de las probetas para el ensayo.
- Dispositivo de sujeción de la probeta (Optativo). El dispositivo permitirá la sujeción mediante contacto de la probeta por sus caras planas, utilizando dos tornillos de ajuste, así como la colocación de la probeta de forma que dos de sus generatrices, diametralmente opuestas estén contenidas en el plano diametral perpendicular a los platos de la prensa. El contacto de estas dos generatrices

con los elementos transmisores de la carga se puede hacer por medio de dos bandas de apoyo de madera contrachapada o cartón sin defectos, de 3 mm de espesor, 25 mm de ancho y de longitud igual o ligeramente superior a la generatriz de la probeta. Las bandas de apoyo no se utilizarán en más de un ensayo. También se puede situar la probeta directamente entre los dos platos de la prensa, siempre que se asegure el paralelismo entre ellos durante la carga, que es nuestro caso.

Procedimiento

Siguiendo el procedimiento mencionado e la norma NLT-346/90, los pasos que se emplean son los siguientes:

1. Medida geométrica de las probetas o testigos. - Con el calibrador se determina el diámetro ± 0.1 mm, de la probeta en seis planos, dos a dos perpendiculares: dos en el plano superior de la probeta, dos en el plano medio y dos en el plano inferior. El diámetro medio, d , es la media aritmética de las seis medidas. La diferencia entre dos medidas individuales no será superior a 1 mm.
2. La altura de la probeta se mide también con precisión de ± 0.1 mm en cuatro puntos definidos por los extremos dos planos diametrales perpendiculares, con un radio de 10mm inferior al radio de la probeta. La altura media, h , es la media aritmética de las cuatro medidas. La diferencia entre dos medidas individuales no será superior al 5 % de la altura media, con un máximo de 5 mm.
3. Acondicionamiento térmico de las probetas. Se introducen las probetas en el baño termostático regulado a 25 ± 1 C. durante 6 h, y se sacan del mismo, una a una, inmediatamente antes de ensayarlas.

4. Se sitúa en el dispositivo de sujeción, o directamente entre los platos de la prensa, según sea el caso, con dos de sus generatrices opuestas en contacto con los mismos.
5. Si se dispone de elementos de medida de deformación vertical y horizontal se colocan en posición de medida y se ajustan a cero.
6. Se aplica la carga a la probeta manteniendo la velocidad de deformación de $0,85 \pm 0,02$ mm constante hasta que se rompa la probeta
7. El tiempo transcurrido entre el momento en que se retira una probeta del recinto termostático y la rotura de la misma en la prensa no debe exceder de 30 segundos.
8. Se registran o anotan los valores de la carga de rotura y los de desplazamiento vertical y deformación horizontal, si este es el caso.

Resultados

Para el cálculo de los resultados, siguiendo la norma NLT-346/90, se presentan las siguientes fórmulas:

$$R_{\tau} = \frac{2 * P}{\pi * h * d}$$

Donde:

- R_{τ} = Resistencia a compresión diametral; (kg/cm²)
- P = Carga máxima de rotura, Kg.
- π = Constante 3,14 159...
- h = Altura de la probeta, cm ($\pm 0,1$ mm).
- d = Diámetro de la probeta, cm ($\pm 0,1$ mm).

Tabla 29

Dosificación= 2,25%

Muestra	Diámetro Promedio (cm)	Altura Promedio (cm)	Peso (gr)	Carga Máxima de rotura (Kg)	Estabilidad (lb)	Resistencia a compresión diametral (Kg/cm ²)
1	10,5	6,40	749,20	1161,00	2080,51	11,00
2	10,57	6,33	737,90	1174,00	2103,81	11,17
3	10,53	6,17	713,40	1160,00	2078,72	11,37

Nota: Tabla de resultados para las briquetas de dosificación de 2,25%

Tabla 30

Dosificación=2,75%

Muestra	Diámetro Promedio (cm)	Altura Promedio (cm)	Peso (gr)	Carga Máxima de rotura (Kg)	Estabilidad (lb)	Resistencia a compresión diametral (Kg/cm ²)
1	10,5	6,07	689,50	1161,00	2080,51	11,60
2	10,53	6,07	704,40	1259,00	2256,13	12,54
3	10,53	6,17	745,60	1588,00	2845,70	15,56

Nota: Tabla de resultados para las briquetas de dosificación de 2,75%

Tabla 31

Dosificación=3,25%

Muestra	Diámetro Promedio (cm)	Altura Promedio (cm)	Peso (gr)	Carga Máxima de rotura (Kg)	Estabilidad (lb)	Resistencia a compresión diametral (Kg/cm ²)
1	10,53	6,60	779,80	1890,00	3386,88	17,31
2	10,53	6,30	737,60	1946,00	3487,232	18,67
3	10,57	5,63	641,20	1672,00	2996,224	17,88

Nota: Tabla de resultados para las briquetas de dosificación de 3,25%

Tabla de tolerancias según la MOP 001F

Tabla 32

Tolerancias MOP 001F

Ensayo de acuerdo al método Marshall	TRÁFICO					
	PESADO		MEDIO		LIVIANO	
	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
Nº de Golpes	75		50		35	
	1.8	...	1.2	...	750	...
Estabilidad (libras)Flujo (pulgada/100) % vacíos con aire:	8	16	8	18	8	20
Carpeta	3	5	3	5	3	5
Base	3	8	3	8	3	8

Nota. Recuperado de (libro MOP- 001F-2002).

La composición de la capa de rodadura incluye una dosificación óptima con el fin de optimizar recursos principalmente de resina epóxica. Tomando en cuenta el valor de los materiales empleados para $1 m^2$ de superficie, en conjunto con una dosificación 22:11 en función de la estabilidad alcanzada con el ensayo de Tracción indirecta.

Con la relación 2:1 se calculó 22 gramos de resina epóxica Epon 828 (componente A) y 11 gramos de agente curador KH836 (componente B), dando un total de 33 gramos de resina que actúa como agente ligante que sirven para 1.50 kg de agregado grueso 3/8.

$$\begin{array}{lcl} 0.033 \text{ kg de resina epóxica} & \rightarrow & 1.50 \text{ kg de agregado} \\ 1 \text{ kg de resina epóxica} & \rightarrow & x \end{array}$$

$$x = 45.45 \text{ kg de agregado}$$

Ya para el cálculo de cuanto agregado alcanza con 1 litro (1000g) de resina epóxica que es como se vende en el mercado se determinó un valor de 45.45 kg de agregado grueso.

Evaluación de impactos ambientales

Nuestro planeta ha ido cambiando a lo largo de los años, la evolución tecnológica, los constantes cambios en la matriz productiva mundial nos han llevado a modificar el medio que nos rodea y muchas veces nuestra sed de cambio, nuestra búsqueda insaciable de un mejoramiento nos produce daños a futuro que ni siquiera llegamos a comprender o no analizamos su magnitud, en los últimos años se promueven nuevas alternativas para reducir nuestra huella de carbono y ayudar a la remediación ambiental que será crucial en años venideros, para así evitar la escasez significativa de alimento y la extinción paulatina de las especies.

Uno de los principales problemas es la falta de educación ambiental o muchas veces su desconocimiento, se debe tener una conciencia de protección de los recursos naturales, comprender que la naturaleza nos proporciona todo lo necesario para nuestra subsistencia, pero nosotros no estamos haciendo nada por reforestar, conservar las especies, en una búsqueda entre el equilibrio de las actividades humanas desarrolladas y el medio que nos rodea se comienza a gestar la idea de un análisis de los impactos ambientales producidos por las actividades constructivas realizadas evaluar su magnitud, su afectación a un recurso en específico y mediante este análisis proponer nuevas alternativas mediante el uso de material reciclado.

Se debe ser consciente de que cada proyecto, cada obra o actividad que se desarrolle, ocasiona sobre el entorno en que se ubica un cambio, una modificación en las condiciones existentes. Si dicha modificación significa una perturbación, o un impacto negativo, la misma debiera ser minimizada en base a estudios de Impacto ambiental. (DELLAVEDOVA, 2016)

Definición

La EVALUACION DE IMPACTO AMBIENTAL, denominada coloquialmente EIA, es considerada una herramienta de gestión para la protección del medio. Su objetivo consiste en establecer un método de estudio y diagnóstico con el fin de identificar, predecir, interpretar y comunicar el impacto de una acción sobre el funcionamiento y modificación de la naturaleza. (DELLAVEDOVA, 2016)

Principales Factores Ambientales Analizados

Medio natural. Se constituye por las relaciones del ambiente natural con el hombre.

Medio inerte. Aire, tierra, agua.

Medio biótico. Flora y fauna.

Recurso ambiental. Son todos aquellos recursos que la naturaleza nos puede ofrecer y poner a disposición.

Gestión Ambiental. Es la estrategia o plan dentro de un proceso de decisiones que ayudan a la defensa, conservación, mejora y protección del medio ambiente, en donde la participación ciudadana juega un rol muy importante. Una correcta planificación ambiental nos ayuda a corregir conflictos actuales y prevenir a futuro ayudando a revertir procesos de deterioro ambiental.

Desarrollo sostenible

Se encarga de satisfacer las necesidades del presente sin alterar las capacidades a generaciones futuras.

Este desarrollo debe considerarse como un mejoramiento sostenible y sustentable en el tiempo, mejorando la conservación y protección del medio ambiente. También ayuda a fomentar el continuo crecimiento económico con la protección, equidad social y correcta administración del medio ambiente.

Método cualitativo (Matriz de Leopold)

El método cualitativo preliminar este nos ayuda a valorar las distintas alternativas de un mismo proyecto. El modelo más usado se denomina Matriz de Leopold, que básicamente es un cuadro de doble entrada en el que se coloca como filas los factores ambientales que pueden llegar a ser afectados y como columnas las propuestas que pueden ayudar a mitigar este impacto ambiental.

Procedimiento para realizar la matriz Leopold. Para que la matriz de Leopold se convierta en un instrumento que permita identificar los impactos ambientales y proponer un plan de manejo ambiental, se debe seguir un procedimiento para su correcta realización. (ANDRADE, 2008).

1. Colocar en las filas los factores ambientales afectados.
2. Colocar en las columnas las actividades a realizarse en el proyecto.
3. Trazar una diagonal en las celdas donde se puede producir un impacto.

4. Se coloca el número que representará la magnitud del impacto en la parte superior izquierda de la celda.
5. A lado de la magnitud se coloca el signo (+) o el (-) si el impacto es beneficioso o perjudicial para el medio.
6. En la parte inferior derecha de la celda, se coloca el valor de la importancia en una escala ascendente de 1 a 10.
7. Aumentar filas y columnas de celdas de cálculos.
8. Multiplicar el valor de la magnitud con el de la importancia de cada casillero.
9. La “Agregación de impactos” será el valor obtenido al adicionar los resultados del paso 8 según cada columna.
10. Realizar el mismo proceso para las filas.

Factores ambientales del entorno susceptibles de recibir impactos. Para la identificación de los principales factores que reciben impactos por la actividad a desarrollarse debemos tener muy claro que estos factores se relacionan entre sí, perteneciendo a los sistemas tales como medio biótico, perceptual, inerte, rural y urbano y a sus sub sistemas correspondientes.

Dado todo lo anterior se identifican los factores ambientales ayudándonos a seleccionar aquellos aspectos que generen un impacto positivo o negativo y con ello a tomar cartas en el asunto:

Criterios para su definición. Tiene que ser un elemento representativo producido sobre el medio ambiente, información clara de la magnitud e importancia del impacto, fácil identificación en cuanto a topografía, trabajos de campo estadísticas, etc., para que su calificación sea fácil.

Identificación de relaciones causa-efecto entre acciones del proyecto y factores del medio. Valoración cualitativa del impacto.

Tipología de impactos. Impacto se denomina al efecto o cambio que provoca una alteración, negativa o positiva, en la calidad de vida del ser humano. Se distinguen algunas clasificaciones de los distintos tipos de impactos que se verifican comúnmente, considerando que algún impacto concreto puede pertenecer a la vez a dos o más grupos tipológicos.

(DELLAVEDOVA, 2016)

Por la variación de la calidad ambiental (CA).

- Positivo
- Negativo

Por la intensidad o grado de destrucción.

- Mínimo o Bajo
- Medio-Alto
- Muy Alto

Por la extensión (EX).

- Puntual
- Parcial
- Total

Por el momento (MO) en que se manifiesta.

- Latente
- Inmediato

Persistencia.

- Permanente
- Temporal
- Fugaz
- Recuperable
- Mitigable
- Irrecuperable
- Irreversible
- Reversible

Causa y efecto.

- Directo
- Indirecto o Secundario

Tabla 33

Valores Sugeridos Matriz de Leopold

MAGNITUD		
Intensidad	Afectación	Calificación
Baja	Baja	±1
Baja	Media	±2
Baja	Alta	±3
Media	Baja	±4
Media	Media	±5
Media	Alta	±6
Alta	Baja	±7
Alta	Media	±8
Alta	Alta	±9
Muy alta	Alta	±10

Nota. En la tabla se pueden ver los valores sugeridos de la Matriz de Leopold.

Tabla 34

Valores Sugeridos Matriz de Leopold

IMPORTANCIA		
Duración	Influencia	Calificación
Temporal	Puntual	+1
Media	Puntual	+2
Permanente	Puntual	+3
Temporal	Local	+4
Media	Local	+5
Permanente	Local	+6
Temporal	Regional	+7
Media	Regional	+8
Permanente	Regional	+9

IMPORTANCIA		
Permanente	Nacional	+10

Nota. En la tabla se pueden ver los valores sugeridos de la Matriz de Leopold.

Análisis de la Matriz de Impactos ambientales

En este apartado se procede a realizar una comparación entre un pavimento común y su impacto en la naturaleza, y el pavimento drenante propuesto a base de botellas plásticas.

Acciones que pueden causar efectos ambientales.

Modificación del Régimen

- Modificación del hábitat
- Alteración de la cubierta terrestre
- Alteración de la Hidrología
- Alteración del drenaje
- Riego
- Ruidos y vibraciones

Transformación del suelo y construcción

- Carreteras y caminos
- Desmontes y rellenos

Extracción de recursos

- Excavaciones superficiales

Alteración del terreno

- Actuaciones sobre el paisaje

Recursos Renovables

- Reposición forestal

- Reciclado de residuos

Cambios en el tráfico

- Caminos

Tratamiento y vertido de Residuos

- Emisiones de gases (industrias y vehículos)

Características o condiciones del medio susceptibles de alterarse

Tierra

- Materiales de construcción
- Suelos
- Geomorfología

Agua

- Calidad

Atmósfera

- Calidad (gases, partícula)
- Clima (Micro y macro)
- Temperatura

Procesos

- Erosión
- Deposición (Sedimentación y precipitación)
- Estabilidad
- Sismología (Terremotos)

Flora

- Árboles

- Arbustos
- Plantas Acuáticas
- Espacios en peligro
- Barreras Ecológicas

Fauna

- Pájaros
- Animales terrestres incluso reptiles
- Peces y crustáceos

Usos del territorio

- Minas y canteras

Recreativos

- Camping
- Zonas de recreo

Nivel Cultural

- Salud y seguridad
- Empleo

Servicios e Infraestructuras

- Red de transportes
- Red de servicios

Pavimento convencional

Las actividades a evaluarse serán las mismas para los dos casos:

Tabla 35

Impacto Pavimento Convencional

Componente	Subcomponente	Impacto por subcomponente	Impacto por componente	Impacto total del proyecto
a. Características físicas y químicas	1. Tierra	-442		
	2. Agua	-102	-756	
	3. Atmósfera	-81		
	4. Procesos	-131		
b. Condiciones biológicas	1. Flora	-189	-253	-712
	2. Fauna	-64		
c. Factores culturales	1. Usos del territorio	-80		
	2. Recreativos	110	297	
	3. Nivel cultural	93		
	4. Servicios e inf	174		

Nota. En la tabla se pueden ver los valores del impacto de un pavimento convencional.

Pavimento drenante propuesto

Tabla 36

Impacto Pavimento Propuesto

Componente	Subcomponente	Impacto por subcomponente	Impacto por componente	Impacto total del proyecto
a. Características físicas y químicas	1. Tierra	-242		
	2. Agua	-42		
	3. Atmósfera	-41	-456	
	4. Procesos	-131		
b. Condiciones biológicas	1. Flora	-9		
	2. Fauna	-64	-73	-60
c. Factores culturales	1. Usos del territorio	-80		
	2. Recreativos	110	469	
	3. Nivel cultural	248		
	4. Servicios e inf	191		

Nota. En la tabla se pueden ver los valores del impacto del pavimento propuesto.

Capítulo V

Selección de la zona de implementación el Molinuco y análisis de la estructura de pavimento.

Consideraciones preliminares

Alcance

El desarrollo de este capítulo tiene por objeto determinar la zona donde se implementará la estructura de pavimento. Dada la biodiversidad con la que cuenta el Ecuador es necesario fomentar la inversión turística que fortalezca la economía del país y a la vez permita la integración de las comunidades, por ende, contar con una infraestructura vial adecuada y sostenible permite atraer mayor cantidad de turistas. En consecuencia, se ha tomado al sector del Molinuco como lugar idóneo para nuestra propuesta de pavimento, debido a que el sitio cuenta únicamente con una capa de empedrado como superficie de rodadura, además, existe altos niveles de precipitaciones que deterioran la vía existente.

En cuanto a caracterizar la zona del Molinuco, se pretende analizar el corredor vial que da acceso al sitio turístico mediante el estudio de sus propiedades mecánicas, físicas, y ambientales. Sumado a la toma de muestras de suelo en cinco diferentes abscisas del proyecto a nivel de la subrasante y DCP in situ.

Por consiguiente, con esta información se caracterizará al material y servirá de base para tener diferentes alternativas de diseño de la estructura de pavimento y lograr eficiencia en el costo-beneficio del proyecto.

Antecedentes

El corredor vial que da acceso al Refugio el Molinuco tiene su inicio por el año 2005 como un proyecto destinado a las actividades turísticas, con el pasar de los años el lugar ha tenido bastante acogida a pesar de no existir un camino que preste las condiciones adecuadas para acceder al mismo (Carvajal, 2018)

En los últimos años en el Ecuador existen muchos sitios destinados al turismo, con lo cual se pretende conservar los ecosistemas naturales para un desarrollo sostenible. Sin embargo, en ocasiones la inadecuada infraestructura de la zona influye negativamente en la actividad turística.

Metodología de evaluación

Se debe realizar un análisis de distintos parámetros que influyen en las condiciones de la vía que da acceso al sitio turístico el Molinuco, para ello se recorrerá los tramos más críticos y también se utilizará información referente a la ubicación de la zona de estudio, para así generar datos importantes para la ejecución del proyecto, empezando por un diagnóstico ambiental y otros aspectos que se detallan a continuación.

Delimitación del objeto de estudio

Como resultado de la propuesta de una capa de rodadura en base a resina epóxica y agregados se pretende enfocar la implementación en la vía que da acceso al refugio el Molinuco, ubicado en el Cantón Rumiñahui, Provincia de Pichincha para lo cual se tomó como punto de partida recorridos por un tramo de 2.0 km de la vía empedrada, para evaluar sus condiciones actuales, donde se identificó la necesidad de contar una capa de rodadura que drene el agua dada las frecuentes lluvias en la zona.

Estado actual de la vía

El corredor vial que da acceso al sitio turístico el Molinuco conecta con la con la vía colectora Antonio Tandazo. Este corredor vial se compone de 1 tramo que tiene 2 carriles en sentidos opuestos sin ninguna señalización que oriente a los usuarios viales.

Figura 10

Evaluación del Estado Actual de la Vía



Nota. La imagen nos muestra las condiciones de la vía que da acceso al Molinuco

Características de la vía

Se presenta las condiciones actuales de la vía y las fallas que presenta la misma

- Una calzada de dos carriles en cada sentido con un ancho total: 6.0 m
- Ancho de acera: No tiene
- Ancho de parterre: No tiene
- Longitud de tramo analizado: 0+000 – 2+000

Trabajo en campo

En este punto el trabajo de campo sitúa la toma de muestras de suelo, a través de la excavación de calicatas en 5 puntos, ubicados en las abscisas del corredor vial el Molinuco.

Las calicatas fueron excavadas bajo el uso del equipo de protección personal y a la intemperie de la zona con una profundidad de 1.5 m considerando que los intervalos entre los 5 puntos de análisis son 500 m respectivamente.

Asimismo, se realizó el ensayo DCP in situ a fin de obtener el valor del parámetro de CBR en campo.

Trabajo en oficina

Una vez obtenidas las muestras de suelo se analizarán mediante diferentes ensayos, que permitan conocer las propiedades mecánicas del suelo, como se detalla a continuación:

- Clasificación Manual Visual del suelo
- CBR de campo

Ubicación de las calicatas

Figura 11

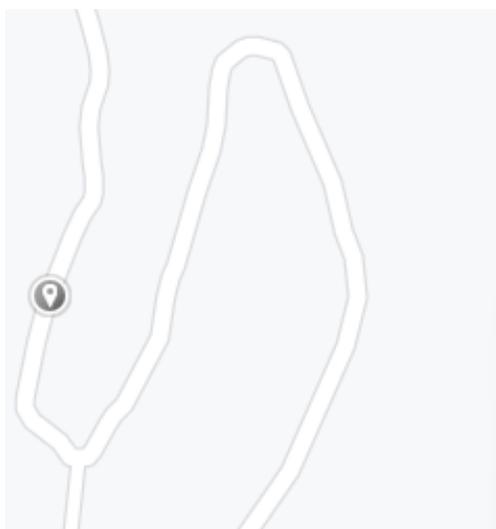
Detalle de la Sección del Corredor Vial el Molinuco



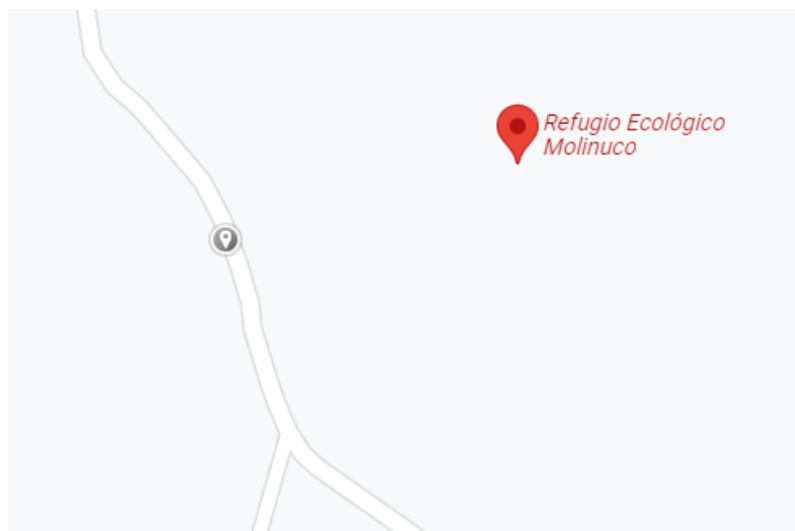
Nota. El gráfico representa el corredor vial donde se ubicarán las cinco calicatas. Recuperado de: Google Earth.

Figura 12*Ubicación de la Primera Calicata*

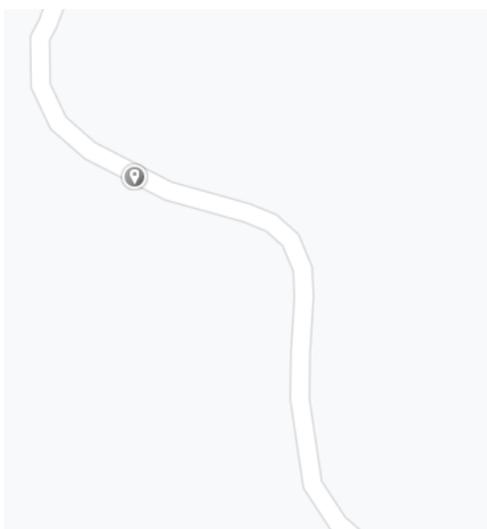
Nota. El gráfico representa la calicata #1 a una elevación de 2829 m y coordenadas $0^{\circ}24'47.15''$ S $78^{\circ}24'26.73''$ O. Recuperado de: Google Earth

Figura 13*Ubicación de la Segunda Calicata*

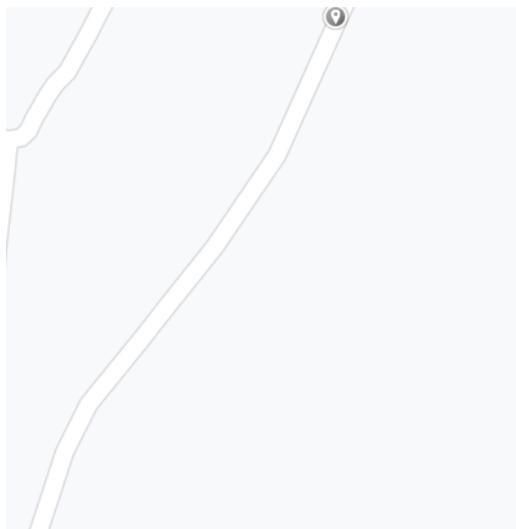
Nota. El gráfico representa la calicata #2 a una elevación de 2832 m y coordenadas $0^{\circ}24'54.43''$ S $78^{\circ}24'26.76''$ O. Recuperado de: Google Earth

Figura 14*Ubicación de la Tercera Calicata*

Nota. El gráfico representa la calicata #3 a una elevación de 2891 m y coordenadas 0°25'12.74" S 78°24'20.24" O. Recuperado de: Google Earth

Figura 15*Ubicación de la Cuarta Calicata*

Nota. El gráfico representa la calicata #4 a una elevación de 2869 m y coordenadas 0°25'05.96" S 78°24'24.64" O. Recuperado de: Google Earth

Figura 16*Ubicación de la Quinta Calicata*

Nota. El gráfico representa la calicata #3 a una elevación de 2858 m y coordenadas 0°24'55.67" S 78°24'21.32" O. Recuperado de: Google Earth

Tabla 37*Ubicación de las Calicatas Efectuadas*

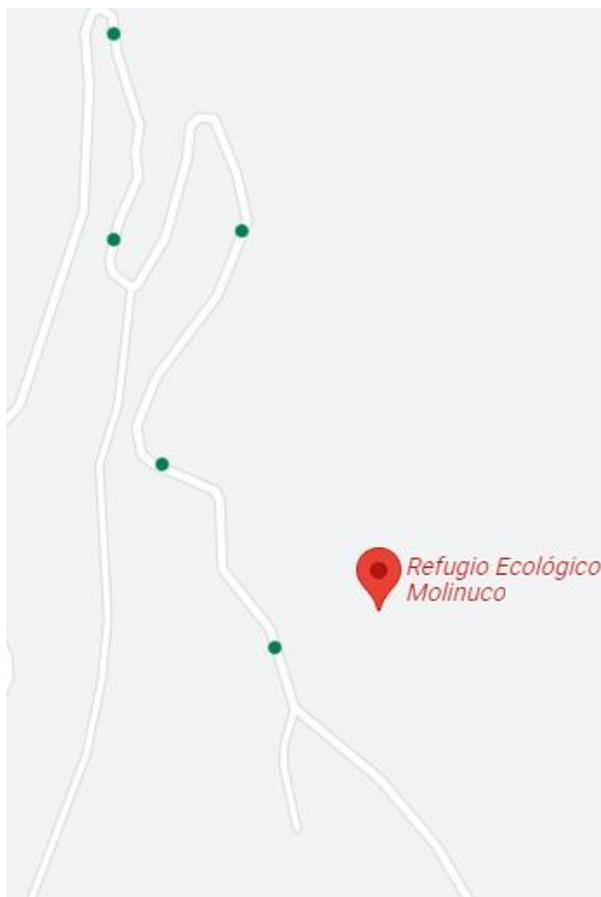
Pozo N°	Abscisa	Ubicación
1	0+000	Marginal a la Hda. El Arriero
2	0+500	Vial a la Hda. El Arriero
3	1+000	Marginal a la Hda. El Arriero
4	1+500	Marginal a la Hda. El Arriero
5	2+000	Vial a la Hda. El Arriero

Nota. La localización de las calicatas fue por medio de un recorrido donde se identificó los puntos más críticos

La realización de todas las excavaciones de las calicatas fue a 1.5 m de profundidad tomando 1 muestra por cada calicata correspondiente al material natural encontrado, cabe mencionar que en ninguno de los cinco puntos se encontró presencia de nivel freático.

Figura 17

Ubicación de las Calicatas Realizadas



Nota. Recuperado de: Google Earth

Análisis de Calicata #1. Efectivamente se puede observar un primer estrato con espesor de 0.20 m como empedrado que en la actualidad funciona como la capa de rodadura.

Figura 18*Excavación de la Calicata #1*

Nota. La excavación se realizó a 1.50 m mediante la utilización del EPP y herramientas

Tabla 38*Perfil Estratigráfico de la Calicata #1*

Profundidad (m)	Muestreo	Descripción	SUCS	Observaciones
0		Capa vegetal de 0,30 m de espesor		
0,3				
0,5	Excavación Manual	Suelo café oscuro sin olor, poco húmedo, con presencia de finos como arcilla.	SM	Diámetro de gravas $\phi = 3,5$ cm, presencia de arcillas
1		Suelo café oscuro sin olor, muy húmedo, nula plasticidad y con débil cementación.	SM	Diámetro de gravas $\phi = 2,50$ cm.
1,5		Suelo café oscuro sin olor, muy húmedo, nula plasticidad y con débil cementación.	SM	Diámetro de gravas $\phi = 2,00$ cm.

Nota. La clasificación de suelos se realizó mediante una inspección manual-visual de las muestras tomadas.

Análisis de Calicata #2. Asimismo, se puede observar un primer estrato con espesor de 0.25 m como empedrado que en la actualidad funciona como la capa de rodadura.

Figura 19

Excavación de la Calicata #2



Nota. La excavación se realizó a 1.50 m para posteriormente tomar las muestras representativas

Tabla 39

Perfil Estratigráfico de la Calicata #2

Profundidad (m)	Muestreo	Descripción	SUCS	Observaciones
0		Capa vegetal de 0,30 m de espesor		
0,3				
0,5	Excavación Manual	Suelo café oscuro sin olor, poco húmedo, con presencia de finos como arcilla.	SC	Diámetro de gravas $\phi = 3,5$ cm, presencia de arcillas

Profundidad (m)	Muestreo	Descripción	SUCS	Observaciones
1	Excavación Manual	Suelo café oscuro sin olor, muy húmedo, nula plasticidad y con débil cementación.	SC	Diámetro de gravas $\phi = 2,50$ cm.
1,5		Suelo café oscuro sin olor, muy húmedo, nula plasticidad y con débil cementación.	SC	Diámetro de gravas $\phi = 2,00$ cm.

Nota. La clasificación de suelos se realizó mediante una inspección manual-visual de las muestras tomadas.

Análisis de Calicata #3. De igual manera, se puede observar un primer estrato con espesor de 0.15 m como empedrado que en la actualidad funciona como la capa de rodadura.

Figura 20

Excavación de la Calicata #3



Nota. La excavación se realizó a 1.50 m para la identificación del tipo de suelo y la ejecución del ensayo DCP

Tabla 40*Perfil Estratigráfico de la Calicata #3*

Profundidad (m)	Muestreo	Descripción	SUCS	Observaciones
0		Capa vegetal de 0,30 m de espesor.		
0,3				
0,5		Suelo café oscuro sin olor, ligeramente húmedo, con presencia de finos como arcilla.	SM	Diámetro de gravas $\phi = 3,8$ cm, presencia de arcillas
1	Excavación Manual	Suelo café oscuro sin olor, húmedo, nula plasticidad y con débil cementación.	SM	Diámetro de gravas $\phi = 2,50$ cm.
1,5		Suelo café oscuro sin olor, muy húmedo, nula plasticidad y con débil cementación.	SM	Diámetro de gravas $\phi = 2,50$ cm.

Nota. La clasificación de suelos se realizó mediante una inspección manual-visual de las muestras tomadas.

En resumen, las calicatas #1, #2, #3, #4 y #5 presentan las siguientes características visuales:

Figura 21

Clasificación manual-visual a 0.5m; 1.0m; 1.5m



Nota. Para una correcta interpretación del porcentaje de gravas, arena y finos se evaluó las muestras después de 24 h.

- Color: Café oscuro
- Al manipular el suelo se determinó medianamente presencia de grava
- Es inoloro
- El color del suelo se queda impregnado en la palma de la mano
- Nula plasticidad el suelo se rompe con facilidad
- El contenido de agua es poco

Estratigrafía de las calicatas

En las cinco calicatas realizadas se visualiza la conformación de diferentes estratos, a lo largo de la profundidad excavada, mediante una clasificación manual visual se determinó el tipo de suelo, como se indica en la siguiente tabla:

Tabla 41

Resumen Estratigráfico de las Calicatas

Pozo N°	Espesor (m)	Clasificación SUCS
1	De 0,5 a1,5	SM
2	De 0,5 a1,5	SC
3	De 0,5 a1,5	SM
4	De 0,5 a1,5	SC
5	De 0,5 a1,5	SC

Nota. La clasificación de suelos se dio mediante una inspección manual-visual de las muestras

Es así como, tomando como referencia la tabla SUCs, mediante el análisis de las características observadas en campo, tales como contenido de humedad, porcentaje de agregados, dilatancia y tenacidad, sumado al color, olor se pudo llegar a la conclusión que en la zona de estudio encontramos un suelo SM, correspondiente a Arenas limosas, mezcla de arena y limo.

Ensayo DCP

Síntesis

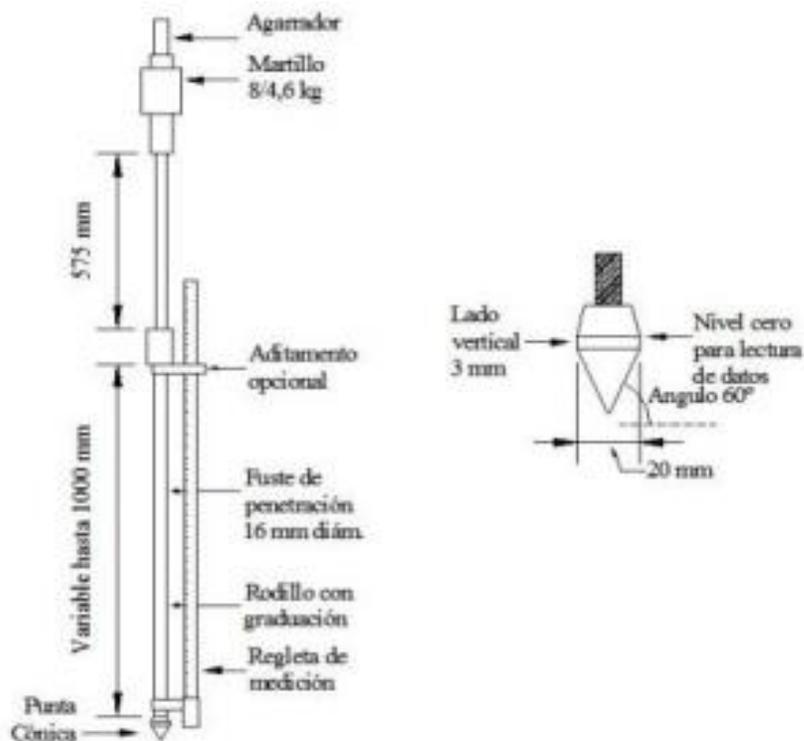
Con respecto al diseño de una estructura de pavimento flexible es frecuente el ensayo DCP para determinar un CBR de campo, a diferencia del CBR de laboratorio se necesita llevar muestras representativas de suelo, pero en ciertas ocasiones las condiciones de campo dificultan esta toma. Es así como, el ensayo DCP es una solución económica y rápida para solventar este problema.

El DCP se recomienda para la evaluación a nivel de subrasante, las cuales no deben ser compactadas con lo cual se puede estimar el valor del CBR. Además, este ensayo brinda un mayor conocimiento aproximado a la capacidad estructural de las capas que conforman la estructura de pavimento es decir presenta la uniformidad en la compactación del material (ASTM, 2003).

Para el desarrollo del ensayo de campo el personal introduce la punta del DCP en la superficie del suelo, a su vez se levanta el martillo de 8 kg hasta la empuñadura y se suelta, este proceso se repite a una velocidad uniforme. Los datos se registran en unidades de mm/golpe, necesarios para caracterizar la rigidez que presenta el suelo y estimar eficientemente el CBR in situ, mediante correlaciones.

Figura 22

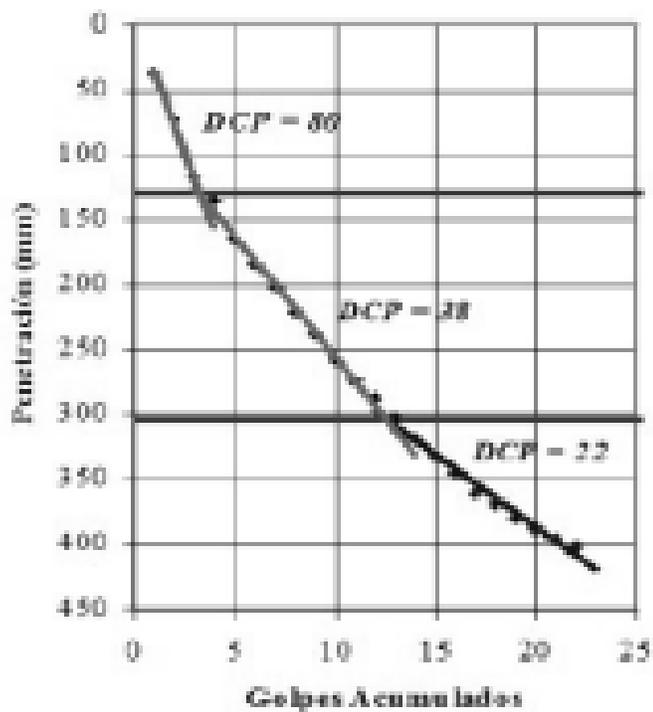
Esquema de los Instrumentos que Conforman el DCP



Nota. El gráfico representa un bosquejo de equipo DCP que se sitúa en campo. Recuperado de: ASTM – 6951

Representación curva DCP

En cuanto a la curva DCP permite conocer el número de golpes en función de la penetración acumulada, donde existe variación en las pendientes con lo cual nos muestra la resistencia que tienen las capas. (ASTM, 2003)

Figura 23*Penetración vs Golpes Acumulados*

Nota. El gráfico representa la variación en las pendientes de la curva DCP. Recuperado de:
ASTM – 6951

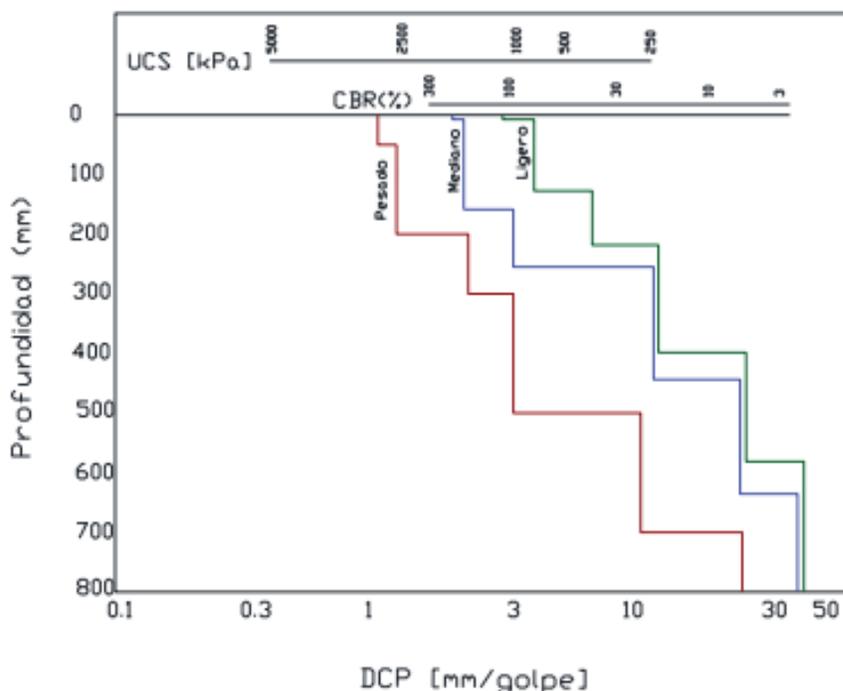
De la misma forma el número DCP es una representación de los golpes en unidades de mm/golpe, teniendo en cuenta que: a mayor verticalidad de la pendiente existirá menor resistencia del suelo.

Diagrama estructural

El DN viene a ser el número que define la penetración del penetrómetro por medio de una determinada capa expresada en mm/golpe, además representa la pendiente de las rectas. Concluyendo que si el DN es menor entonces la resistencia del material será mayor al ser atravesado por una energía dada (Angelone y otros, 1994).

Figura 24

Curvas Estructurales para Diferentes Solicitaciones de Tráfico



Nota. El gráfico representa la variación del diagrama estructural para tráfico liviano, moderado y pesado. Recuperado de: ASTM – 6951

Significado y uso

Este método se recomienda para evaluar la resistencia en sitio de suelos inalterados o compactados. La razón de penetración DCP de 8Kg puede ser usada para estimar el CBR (in situ) para identificar espesores de capas, las resistencias al corte de estratos de suelos y otras características de los materiales. (ASTM, 2003)

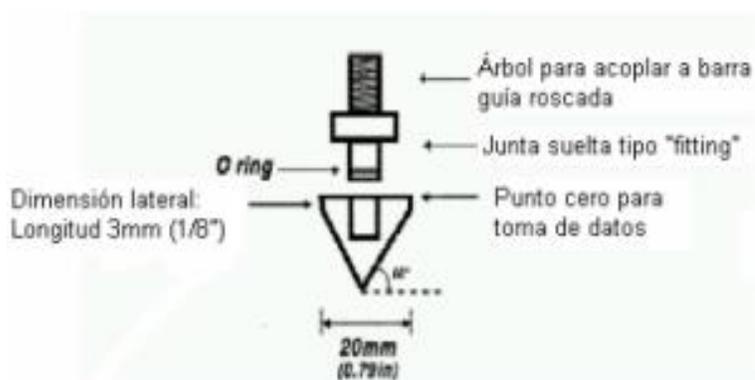
De ahí que el DCP es frecuentemente utilizado para estructuras como: pavimentos, losas. Por su aplicación para obtener un reconocimiento rápido del terreno y sobre todo la verificación de los equipos encargados de la compactación en obra.

De manera que el instrumento que se utiliza se emplea para materiales que tenga profundidades hasta 1000 mm debajo de la superficie, cabe mencionar que la profundidad puede cambiar en función del proyecto al igual que los parámetros de correlación.

Tanto la masa como la inercia del equipo pueden variar producto de la fricción por el contacto superficial de las barras. Si se considera un DCP de 8 kg este puede ser usado para estimar parámetros de soporte en suelos gruesos, finos y materiales granulares. Asimismo, DCP de 8 kg no es recomendable su uso en materiales cementantes al igual que si el material granular presenta agregados mayores a 500 mm (2") (ASTM, 2003)

Figura 25

Punta para la Penetración del Suelo



Nota. El gráfico representa la conformación de la punta para el ensayo DCP. Recuperado de: ASTM – 6951

La penetración medida relaciona la resistencia al corte "in situ" de los materiales y la resistencia que estos ejercen a distintas profundidades, de esta manera se caracteriza a las capas que conforman la estructura. El DCP tiene amplias ventajas debido a su bajo costo para la ejecución del ensayo, y el tratamiento de los datos mediante estadísticas que permiten relacionar el CBR con el Módulo Resiliente.

Figura 26

Registro de Datos DCP

Project: Forest Service Road Location: STA 30+50, 1 M RT of C/L Depth of zero point below Surface:0 Material Classification: GW/CL Pavement conditions: Not applicable				Date: 7 July 2001 Personnel: JLS & SDT Hammer Weight: 8-kg (17.6-lb) Weather: Overcast, 25°C, (72°F) Water Table Depth: Unknown			
Number of Blows ^A	Cumulative Penetration (mm) ^B	Penetration Between Readings (mm) ^C	Penetration per Blow (mm) ^D	Hammer Factor ^E	DCP Index mm/blow ^F	CBR % ^G	Moisture % ^H
0	0	--	--	--	--	--	--
5	25	25	5	1	5	50	
5	55	30	6	1	6	40	
15	125	70	5	1	5	50	
10	175	50	5	1	5	50	
5	205	30	6	1	6	40	
5	230	25	5	1	5	50	
10	280	50	5	1	5	50	
5	310	30	6	1	6	40	
5	340	30	6	1	6	40	
5	375	35	7	1	7	35	
5	435	60	12	1	12	18	

Nota. Recuperado de: ASTM – 6951

Donde:

$$C = B_{i1} - B_{i2}$$

$$D = \frac{C}{A}$$

$$F = D - E$$

A: Número de golpes del martillo entre lecturas del ensayo

B: Penetración acumulada después de cada intervalo de golpes del mazo

C: Diferencia en la penetración acumulada entre lecturas (B_{i1}-B_{i2})

D: Relación entre la penetración entre lecturas y el número de golpes (C/A)

E: Para el martillo de 8 kg es 1

F: Factor de martillo que multiplica a la penetración por golpe (DxE)

G: De la correlación entre CBR y el índice DCP

H: Contenido de Humedad si se dispone del valor

Procedimiento

Primero: se realiza la verificación de todos los instrumentos que conforman el equipo y se toma en cuenta el desgaste de la punta-cono, además de que se encuentren calibrados y aptos para la realización del ensayo.

Segundo: Se arman el equipo DCP, después entre 2 personas se ejecuta el ensayo teniendo el aparato por la empuñadura se levanta y suelta el martillo desde una altura estándar.

Tercero: Soltar el martillo, entonces la primera persona levanta y suelta el martillo seguidamente mientras el segundo operador registra la penetración producida.

Cuarto: Repetición del paso 3 del ensayo

La profundidad recomendada es 1000 mm, pero esto muchas veces queda a criterio del técnico que este encargado en campo, puesto que depende de la aplicabilidad o requerimiento del proyecto.

Quinto: Culminado la prueba se desarma el equipo.

Toma de datos

En síntesis, las lecturas se toman luego de una cantidad de golpes, donde la penetración obtenida corresponde a número establecido y estas se anotan al mm más cercano.

Figura 27

Correlación CBR y DCP

Índice DCP mm/golpe	CBR %	Índice DCP mm/golpe	CBR %	Índice DCP mm/golpe	CBR %
<3	100	39	4.8	69-71	2.5
3	80	40	4.7	72-74	2.4
4	60	41	4.6	75-77	2.3
5	50	42	4.4	78-80	2.2
6	40	43	4.3	81-83	2.1
7	35	44	4.2	84-87	2.0
8	30	45	4.1	88-91	1.9
9	25	46	4.0	92-96	1.8
10-11	20	47	3.9	97-101	1.7
12	18	48	3.8	102-107	1.6
13	16	49-50	3.7	108-114	1.5
14	15	51	3.6	115-121	1.4
15	14	52	3.5	122-130	1.3
16	13	53-54	3.4	131-140	1.2
17	12	55	3.3	141-152	1.1
18-19	11	56-57	3.2	153-166	1.0
20-21	10	58	3.1	166-183	0.9
22-23	9	59-60	3.0	184-205	0.8
24-26	8	61-62	2.9	206-233	0.7
27-29	7	63-64	2.8	234-271	0.6
30-34	6	65-66	2.7	272-324	0.5
35-38	5	67-68	2.6	>324	<0.5

Nota. Recuperado de: ASTM – 6951

Fórmula para correlación

Mediante el índice DCP y la penetración obtenida se puede obtener el CBR in situ.

Donde la relación entre la variable de penetración vs golpe puede ser representada a través de una gráfica.

La correlación utilizada para la penetración por golpe se muestra a continuación:

$$CBR = \frac{292}{DCP^{1.12}}$$

Cabe aclarar que la fórmula es utilizada para todos los suelos, a excepción de los suelos arcillosos que presentan baja plasticidad CL, y con CBR menor a 10.

Es así como la selección de una correlación adecuada depende del criterio profesional y experiencia, dado la existencia de estratos diferentes se visualizará cambios en la pendiente del gráfico profundidad vs golpes acumulados.

Resumen de resultados de la Correlación CBR y DCP

Tabla 42

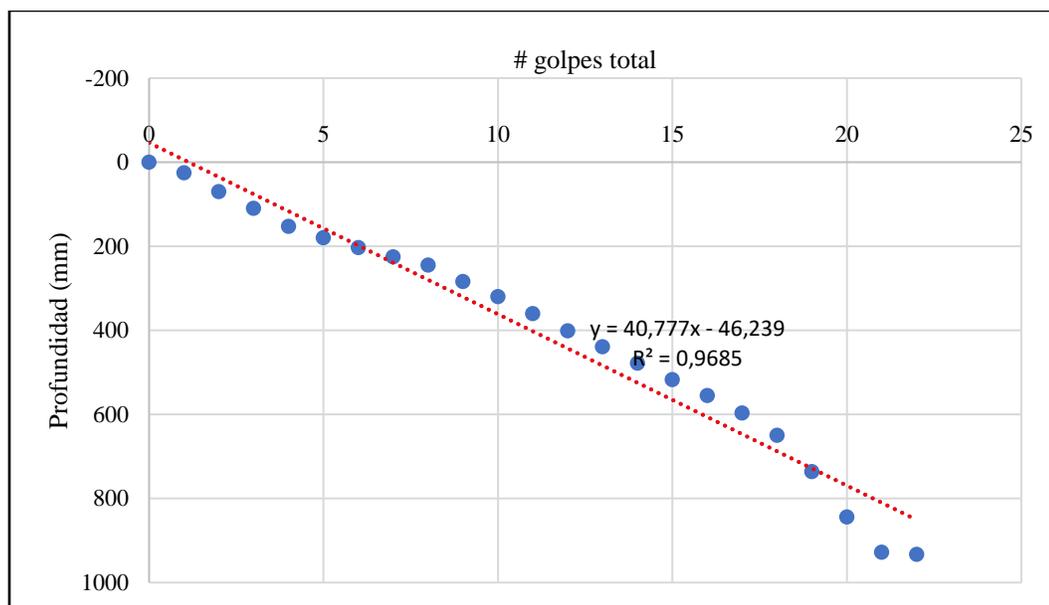
CBR en Campo 0+000 Calicata #1

RESULTADOS POR CAPA				
# CAPA	Profundidad (mm)		Índice DCP	CBR
	Inicio	Hasta	mm/golpe	(%)
1	0	245	30,63	6,32
2	245	517	33,29	5,76
3	517	933	54,00	3,35
CBR 'in situ'			4,89	

Nota. En el primer ensayo DCP realizado se obtuvo una subrasante categorizada como mala

Figura 28

Profundidad vs Cantidad de Golpes Acumulados



Nota. La gráfica muestra una pendiente del 40% aproximadamente teniendo una resistencia al suelo baja

Tabla 43

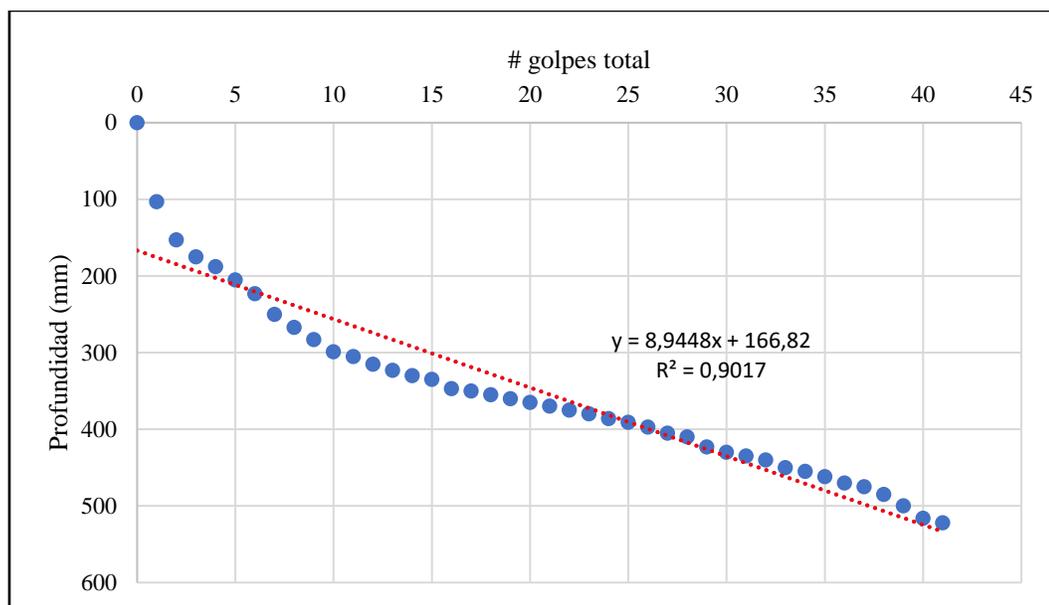
CBR en Campo 0+500 Calicata #2

RESULTADOS POR CAPA				
# Capa	Profundidad (mm)		Índice DCP mm/golpe	CBR (%)
	Inicio	Hasta		
1	0	323	24,85	7,99
2	323	405	5,36	44,56
3	405	522	8,62	26,17
CBR 'in situ'			24,93	

Nota. En el segundo ensayo DCP realizado se obtuvo una subrasante categorizada como buena

Figura 29

Profundidad vs Cantidad de Golpes Acumulados

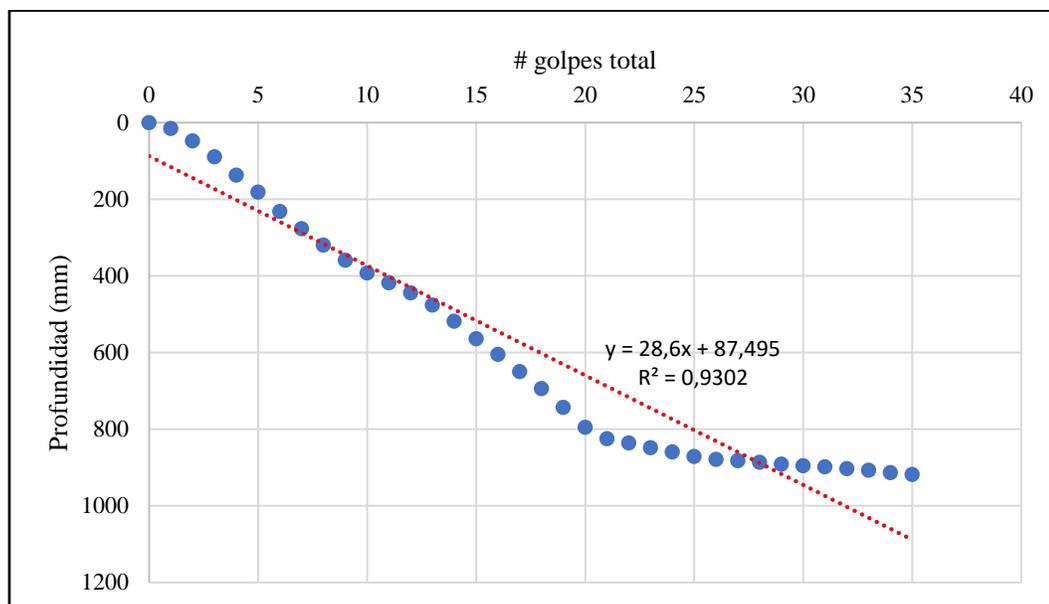


Nota. La gráfica muestra una pendiente del 9% aproximadamente teniendo una resistencia al suelo moderada

Tabla 44*CBR en Campo 1+000 Calicata #3*

RESULTADOS POR CAPA				
# CAPA	Profundidad (mm)		Índice DCP mm/golpe	CBR (%)
	Inicio	Hasta		
1	0	418	38,00	4,97
2	418	848	33,67	5,69
3	848	918	4,92	49,06
CBR 'in situ'			18,91	

Nota. En el tercer ensayo DCP realizado se obtuvo una subrasante categorizada como buena

Figura 30*Profundidad vs Cantidad de Golpes Acumulados*

Nota. La gráfica muestra una pendiente del 28.6 % aproximadamente teniendo una resistencia al suelo moderada baja

Tabla 45

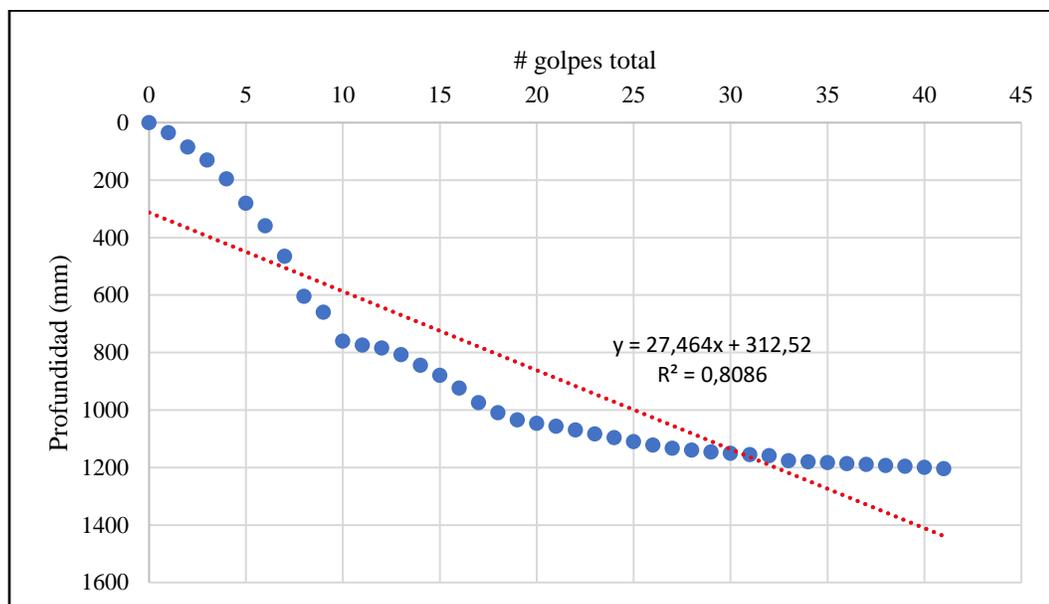
CBR en Campo 2+000 Calicata #4

RESULTADOS POR CAPA				
# Capa	Profundidad (mm)		Índice DCP mm/golpe	CBR (%)
	Inicio	Hasta		
1	0	807	62,08	2,87
2	807	1133	20,64	9,84
3	1133	1204	5,00	48,14
CBR 'in situ'			19,27	

Nota. En el tercer ensayo DCP realizado se obtuvo una subrasante categorizada como buena

Figura 31

Profundidad vs Cantidad de Golpes Acumulados



Nota. La gráfica muestra una pendiente del 27.4 % aproximadamente teniendo una resistencia al suelo moderada baja

Tabla 46

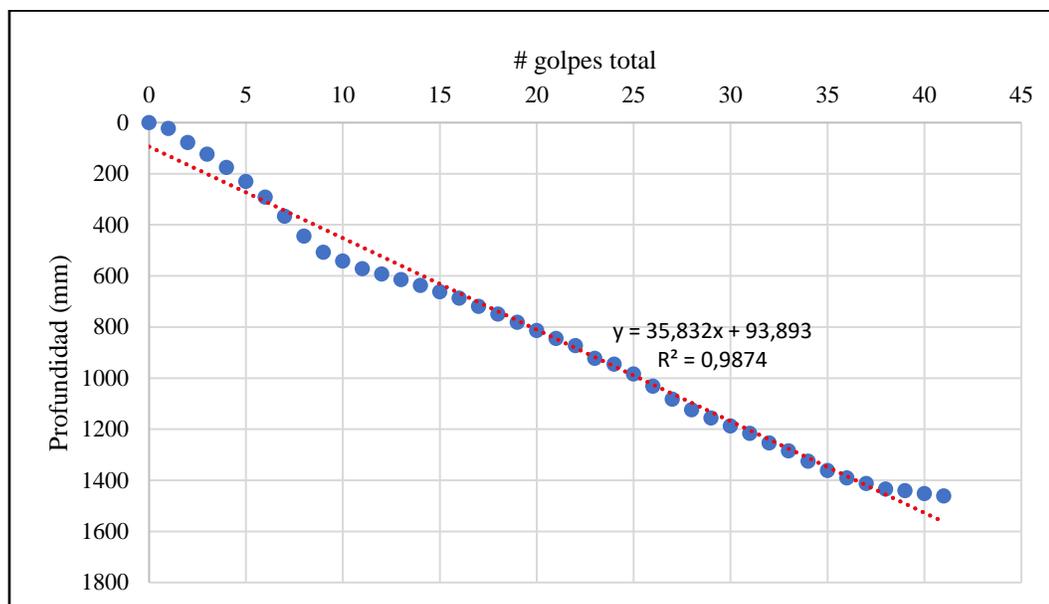
CBR en Campo 2+000 Calicata #4

RESULTADOS POR CAPA				
# Capa	Profundidad (mm)		Índice DCP mm/golpe	CBR (%)
	Inicio	Hasta		
1	0	614	47,23	3,89
2	614	1082	31,79	6,07
3	1082	1461	25,92	7,62
CBR 'in situ'			5,57	

Nota. En el cuarto ensayo DCP realizado se obtuvo una subrasante categorizada como mala

Figura 32

Profundidad vs Cantidad de Golpes Acumulados



Nota. La gráfica muestra una pendiente del 35.8 % aproximadamente teniendo una resistencia al suelo baja

Tabla 47

Resumen de CBR de Campo en el Corredor Vial el Molinuco

ABCSISAS	CBR In Situ
0+000	4,89
0+500	24,93
1+000	18,91
1+500	19,27
2+000	5,57

Nota. Se puede observar que los valores varían entre 4.89% y 24.93%.

De esta manera la clasificación de acuerdo con el CBR de campo obtenido nos refleja que la calidad de la subrasante es regular.

Para el análisis del pavimento se empleará la información respecto a las condiciones preliminares detalladas en este capítulo, cabe recalcar que no se puede implementar el diseño por el método AASHTO 93 debido al medio continuo con el que estamos trabajando, razón por la cual se llevará a cabo un análisis por la teoría elástica para definir esfuerzos, deflexiones y deformaciones.

CBR de la subrasante

Método estadístico

Este modelo se basa en la resolución de la siguiente expresión:

$$CBR = \mu - t * \varepsilon$$

Donde:

μ = *Valor promedio de los valores CBR*

t = *Factor de seguridad igual a 2*

$\varepsilon =$ Desviación estándar

Asimismo, debe existir un número de sondeos respecto al valor del CBR para poder desarrollar el modelo mediante la aplicación de la siguiente ecuación:

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{n * \sum CBR^2 - (\sum CBR)^2}{n(n-1)}}$$

Finalmente se obtiene el valor del CBR de diseño aplicando la ecuación del modelo estadístico.

Tabla 48

Cálculo CBR de Diseño

N°	CBR	% Desv. Est	t
1	4,89	8,98	2,00
2	24,93	8,98	2,00
3	18,91	8,98	2,00
4	19,27	8,98	2,00
5	5,57	8,98	2,00
μ		14,71	

Nota. Determinación del CBR promedio y desviación estándar

$$\sum CBR^2 = 1405.4$$

$$(\sum CBR)^2 = 5412.5$$

$$\varepsilon = 8.98$$

$$CBR = \mu - t * \varepsilon$$

$$CBR = 14.71 - 2 * \frac{8.98}{100} = 14.53\%$$

Mediante la siguiente tabla se puede identificar el nivel de subrasante en función del valor obtenido del CBR de diseño.

Tabla 49

Clasificación de la Subrasante

CBR	Clasificación	Uso	SUCS	AASHTO
0-3	Muy pobre	Subrasante	CH, MH	A5, A6, A7
3-7	Pobre – Regular	Subrasante	CH, MH	A4, A5, A6, A7
7-20	Regular	Subrasante	CL, ML, SC, SM, SP	A2, A4, A6, A7
20-50	Bueno	Base-Subbase	GM, GC, SW, SM, SP, GP	A1b, A2-5, A3 A2-6
>50	Excelente	Base	GW, GM	A1a, A2-4, A3

Nota. Al tener un valor de CBR de 14.53% la subrasante se clasifica como regular. Recuperado de Manual de laboratorio de suelos para ingeniería civil. Bowles J, (1980).

Módulo de resiliencia de la subrasante (MR)

Las cargas que se producen sobre la estructura del pavimento son cíclicas y dinámicas donde el suelo de la subrasante experimenta deformaciones. Asimismo, el MR nos indica el grado que tiene la subrasante para adaptarse y recuperarse.

Existe un sin número de correlaciones en función del CBR de diseño a continuación, tomamos 3 expresiones para el cálculo del Módulo de Resiliencia:

Correlación entre MR y CBR

$$MR = 1500 * CBR \quad \text{Para } CBR < 10\%$$

$$MR = 3000 * CBR^{0.65} \quad \text{Para } 10\% \leq CBR < 20\%$$

$$MR = 4326 * \ln(CBR) + 241 \quad \text{Para } CBR \geq 20\%$$

Nota. Recuperado de: AASHTO, AASHTO Guide for Design of Pavement Structures, 1993, EEUU.

Se toma como CBR de diseño el 14.53 % considerando el tránsito que se espere circule por el pavimento.

$$MR = 1500 * 14.53\%$$

$$MR = 21795 \text{ psi}$$

Análisis físico, geológico y ambiental de la zona el Molinuco

Componente Abióticos

Componentes Atmosféricos. Son aquellos componentes como: clima, temperatura, precipitación, etc. Para esto se toma la información emitida por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidráulica (INAMHI) de la estación que se halle más cercana al área de estudio.

Recurso Suelo y Agua. En este punto se consideran aspectos como: geología, composición y uso del suelo por ende se buscará información de estudios existentes en la zona. Además, se analizarán los factores como: hidrología y calidad del agua fundamentado en estudios anteriores.

Componente Biótico. En este componente se considera la flora y fauna existente en la zona, donde se describen características, a la vez de un registro fotográfico.

Diagnostico Ambiental

Existe un grupo de bosques que pertenecen a la subcuenca del río Pita característicos de la región andina, conocido como bosque nublado donde se observa varios tipos de flora, al igual que plantas propias de la zona por ejemplo alisos, eucalipto y pinos. En cuanto a la fauna

el refugio del Molinuco alberga varias especies de animales, como: conejos y especies de pájaros.

Medio Físico

Este factor refiere a los cambios en la temperatura, humedad, precipitación y condiciones meteorológicas en una determinada región, en el caso del Ecuador la región litoral es la zona donde las precipitaciones son altas a diferencia de la región de la Sierra. El cantón Rumiñahui se sitúa en una zona que presenta un clima templado-frío, con dos estaciones invierno y verano. Para el análisis de los aspectos meteorológicos es necesario la utilización de la base de datos del INAMHI.

Clima

Evidentemente la temperatura es de suma importancia, debido a que es un parámetro que al tener constantes variaciones influye directamente en el crecimiento, desarrollo y la productividad de los cultivos agrícolas. Es así como, conocer la cantidad y duración sirve para determinar un valor para caracterizar el clima de la zona de estudio.

Tabla 50

Estación Meteorológica Izobamba M003

Años	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	Promedio
Temperatura (°C)	12,1	12	11,3	12,2	12,1	11,6	11,9	12,4	11,95

Nota. De acuerdo con datos de la estación M003 se presenta una temperatura ambiente.

Recuperado de: Anuarios Meteorológicos, INAMHI.

Además, es necesario diferenciar el cambio de temperatura existente entre las áreas rural y urbana, puesto que cerca del 75% del cantón tiene un clima mesotérmico húmedo, y el 15 y 10 % resto se encuentre con un clima frío húmedo respectivamente.

Precipitación. Esta variable tiene su importancia en el análisis de la distribución de la precipitación mes a mes, a fin de determinar los meses más y menos lluviosos, mediante valores obtenidos de la estación meteorológica Izobamba M003

Tabla 51

Estación Meteorológica Izobamba M003

Años	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	Promedio
Precipitación (mm)	1465.4	1783.6	2032.3	1516.2	1774.4	1487.8	1400.6	1160.7	1577.63

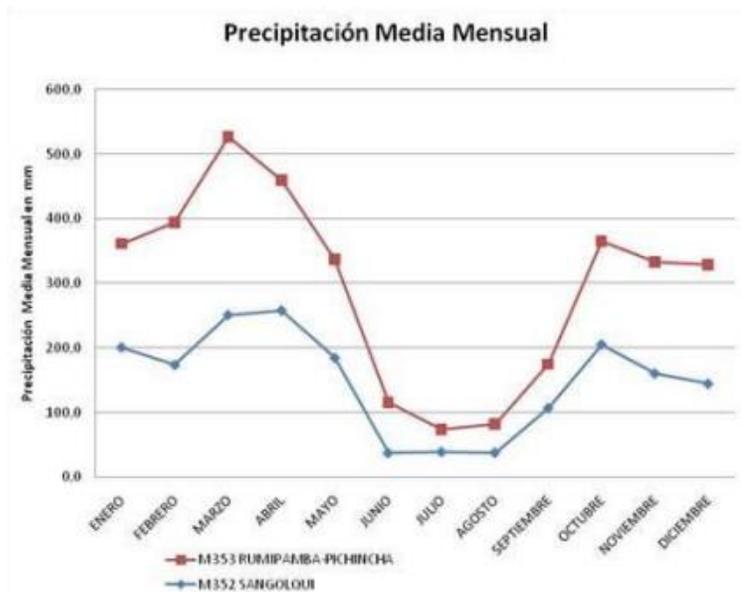
Nota. De acuerdo con datos de la estación M003 se presenta la precipitación durante años.

Recuperado de: Anuarios Meteorológicos, INAMHI.

En el siguiente gráfico mostrado se puede observar cómo los picos más bajos corresponden a los meses de junio, julio y agosto, es decir son los meses más secos a diferencia de mayo y septiembre donde la precipitación media es alta.

Figura 33

Precipitación Media Mensual (mm)



Nota. El gráfico representa la variación media de precipitación. Recuperado de: Plan de Desarrollo y Ordenamiento territorial Cantón Rumiñahui, por Instituto Espacial Ecuatoriano & MAGAP, 2013.

Recurso Agua

El cantón Rumiñahui se sitúa en la microcuenca del río San Pedro, teniendo como afluente principal el río Pita, el cual se abastece de vertientes de los volcanes cercanos a Cotopaxi y Pasochoa. Asimismo, el cantón se encuentra sobre el río Esmeraldas, en la subcuenca del río Guayllabamba.

Tabla 52

Microcuencas del Cantón Rumiñahui

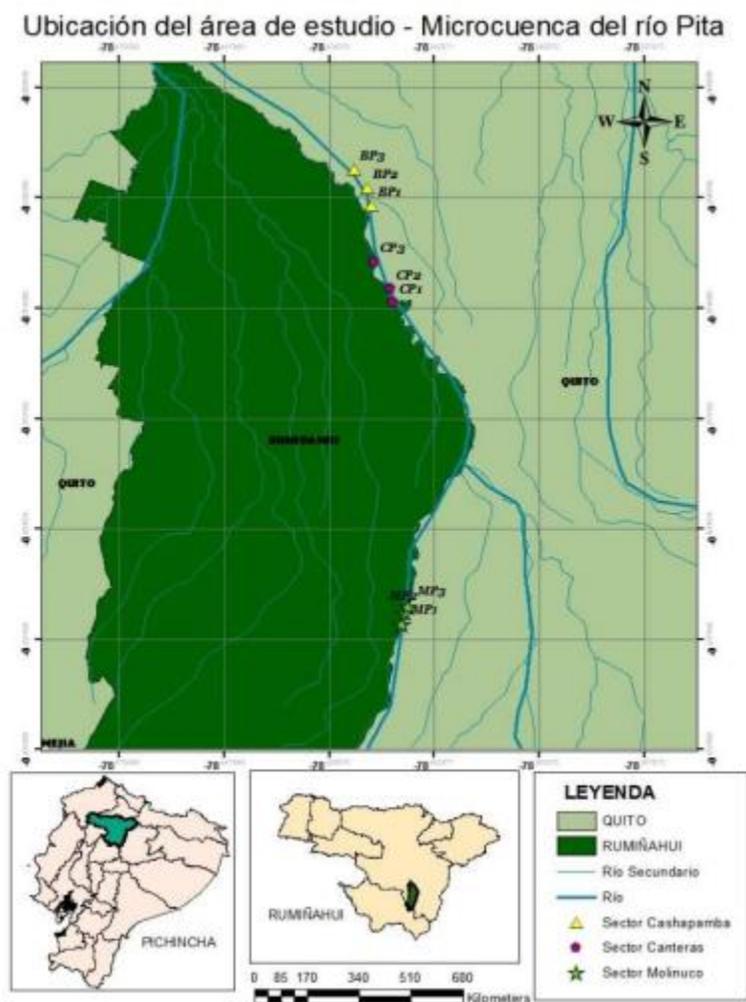
Microcuencas	Área (km2)
Río San Nicolás	26,3
Río Capelo	3,5
Río Salto	9,1
Río Pedregal	0,0
Río Santa Clara	49,3
CANTÓN TOTAL	88,2

Nota. Recuperado de: Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial Cantón Rumiñahui, (2012-2025).

Hidrología. Considerando que el ciclo del agua es fundamental para los procesos de evapotranspiración, condensación y precipitaciones, siendo este último el responsable del origen de cuencas hidrográficas. Estas se encuentran delimitadas por divisorias de aguas, es decir el límite que existen entre cuencas contiguas. En el siguiente gráfico se presenta los ríos que pertenecen al cantón Rumiñahui.

Figura 35

Ubicación del Área de Estudio



Nota. El gráfico representa la microcuenca que involucra la zona del Molinuco. Recuperado de: Instituto Espacial Ecuatoriano, 2013.

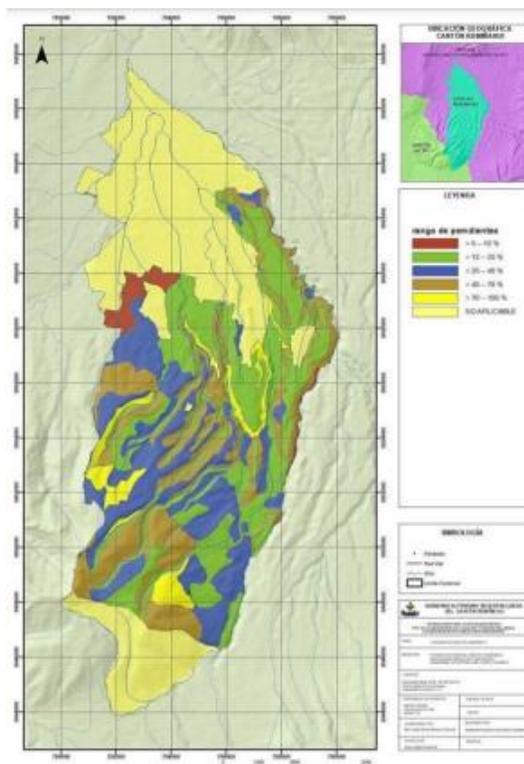
Geomorfología

Para caracterizar este parámetro es necesario observar sus curvas de nivel para definir que el cantón presenta un plano con pequeñas ondulaciones montañosas, a la vez pendientes cercanas al 10-25%, con ciertos rasgos geomorfológicos que se desatacan, como la elevación en el Pasochoa y la subida al Molinuco. Asimismo, acciones volcánicas determinaron la

geomorfología de la zona, debido a que se visualiza en ciertos puntos flujos de lava y relieves volcánicos los cuales están conformados por andesitas piroxénicas.

Figura 36

Geomorfología del Cantón Rumiñahui



Nota. El gráfico representa la geomorfología que involucra la zona del Molinuco. Recuperado de: Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial Cantón Rumiñahui, (2012 – 2025).

Por su parte el relieve de la zona del Molinuco perteneciente al cantón Rumiñahui tiene la influencia de una serie de procesos denudativos y acumulativos, los cuales fueron caracterizado la zona como una superficie ondulada. Además, la morfología del terreno es regular y suave, dado que es un relieve tipo Valle del 38% aproximadamente, desde formas planas hasta ondulaciones montañosas mismas que en su mayoría se encuentran en la zona urbana del cantón.

Geología

El Molinuco se ubica dentro del basamento del Graben por hallarse entre los volcanes Pasochoa e Ilaló donde recaen sobre la falla central de depresión interandina (Rumiñahui, 2019) Es así como encontramos formación de Cangahua, sedimentos, depósitos aluviales y coluviales a lo largo del corredor vial el Molinuco. Teniendo en su mayoría suelos del tipo arcilloso-arenoso y suelos de orden de los molisoles.

Topografía

En el diseño de vial es de suma importancia conocer y determinar la topografía de la zona en la que se implantará dicho proyecto, reconociendo que este parámetro brinda características, como: altimetría y planimetría del terreno y con ella se podrá llevar a cabo un diseño ecológico racional. Por esta razón se ha determinado curvas de nivel y pendiente de la zona analizada, como se muestra a continuación:

Figura 37

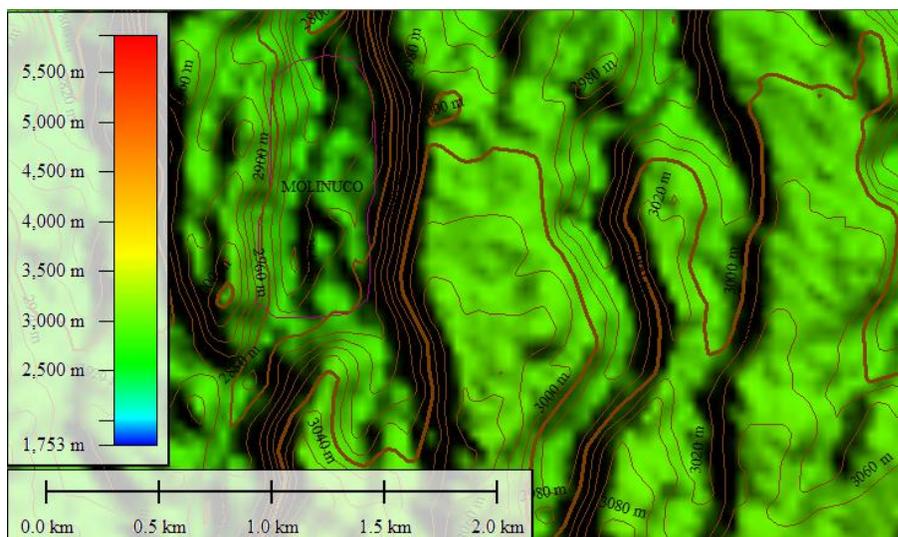
Delimitación de la Zona de Estudio



Nota. El gráfico representa la zona turística del Molinuco. Recuperado de: Google Earth

Figura 38

Modelo Digital del Terreno en 2D



Nota. El gráfico representa las curvas de nivel cada 20 m pertenecientes a la zona del Molinuco. Recuperado de: Global Mapper

Mediante la delimitación previamente realizada en Google Earth, se procesó los datos en el programa Global Mapper donde se puede apreciar que la zona del Molinuco tiene un terreno montañoso además dicho tramo se encuentra una altitud que va entre 2916 msnm y 2879 msnm. Por lo cual el perfil obtenido en dicho tramo que va desde la abscisa 0+000 hasta la abscisa 2+000 tiene el siguiente perfil.

Figura 39

Perfil de Elevación del Terreno



Nota. El gráfico muestra la altitud máxima y mínima a lo largo del perfil. Recuperado de: Google Earth

Esquema de la estructura de pavimento propuesta para el análisis

Metodologías para el diseño de pavimentos flexibles

Los métodos de diseño de pavimentos flexibles recaen sobre el modelo empírico-mecanicista el cual se fundamenta por el desempeño de los materiales y la mecánica del medio continuo, como es el caso de la capa de rodadura a base de resina epóxica y agregados propuesta en este trabajo. Sumado a la verificación en campo del funcionamiento de la estructura de pavimento, razón por la cual hace que se logre una erogación de recursos económicos para el mantenimiento y rehabilitación de los corredores viales (Coría Gutiérrez, 2018)

El análisis de una metodología de diseño eficiente es fundamental para evitar problemas en los pavimentos producto del paso reiterado de vehículos de distinto tipo de eje. La respuesta inmediata que genera la estructura del pavimento son esfuerzos, deflexiones y deformaciones como resultado de las cargas dinámicas y cíclicas, estos tres parámetros se reproducen en cada una de las capas.

Desde el punto de vista del diseñador se consideran dos deformaciones: la primera a tensión que son la causante del fenómeno de piel de cocodrilo en los pavimentos y la segunda permanente. Asimismo, en el criterio estructural la deflexión juega un rol importante para la identificación de la calidad de estructura y la capacidad que esta puede ofrecer ante la demanda creciente de vehículos.

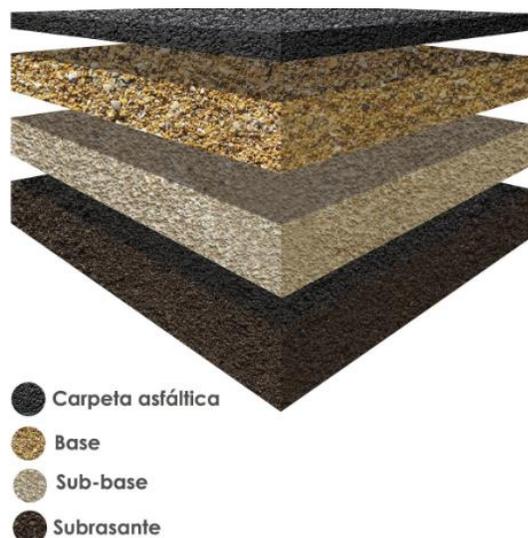
En definitiva, se consideran modelos elásticos que permiten observar el comportamiento del pavimento, donde la parte empírica recae sobre las reacciones del pavimento flexible de modo similar el proyectar la vida útil del pavimento viene dado por observaciones de campo.

Desempeño de los materiales. Un pavimento es una estructura conformada por diferentes capas de materiales que cumplen funciones específicas como la de disipar los

esfuerzos que llegan a la subrasante. Generando una estructura multicapa que en conjunto brindan confort a los usuarios del corredor vial.

Figura 40

Conformación de la Estructura de Pavimento



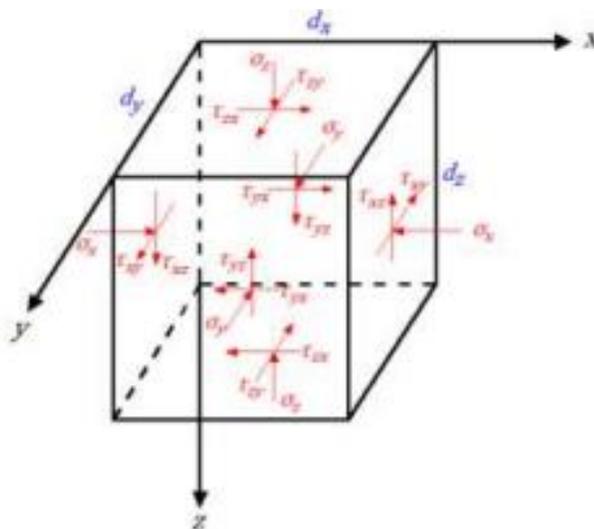
Nota. Recuperado de Tipos de Pavimento, por Loría Guillermo, 2022.

El pavimento flexible cumple la función principal de brindar un nivel eficiente de serviciabilidad a los usuarios paralelamente en la parte estructural debe transmitir y distribuir las cargas dinámicas. Evidentemente resulta importante la verificación de la calidad de los materiales, por tal motivo para la implementación en la zona de estudio el Molinuco los materiales que conforman la capa de rodadura, base y subbase deben cumplir con las especificaciones MOP001F 2002.

Elasticidad en los materiales. Considerando que un material elásticamente lineal conlleva una relación esfuerzo vertical sobre deformación vertical. Este concepto es muy fundamental para entender el límite elástico donde los materiales sufren disminuciones en la rigidez, además, si consideramos que el coeficiente de Poisson forma parte de la isotropía del material se puede obtener deformaciones axiales ideales y homogéneas.

Figura 41

Esfuerzos Normales y Cortantes Bajo el Sistema X, Y, Z



Nota. Recuperado de Instituto Mexicano del Transporte (IMT), 2015.

Presión que actúa sobre la estructura de pavimento. En el diseño de pavimentos la categoría del vehículo es fundamental, debido a que ha mayor peso se produce mayor deterioro de la capa de rodadura, por consiguiente, es necesario clasificar por tipos de acuerdo con la Tabla de Pesos y Dimensiones del MOP 2003.

Eje Simple: Es aquel elemento conformado por un solo eje, siendo una o dos ruedas sencillas en sus extremos.

Eje Tándem: Es aquel elemento conformado por dos ejes sencillos, siendo con ruedas dobles en los extremos a fin de repartir las cargas en partes iguales.

Eje Trídem: Es aquel elemento conformado por tres ejes sencillos, siendo con ruedas dobles en sus extremos, manteniendo una separación menor a 2.4 metros.

Figura 42

Efecto de la Presión de Inflado en Contacto con la Capa de Rodadura



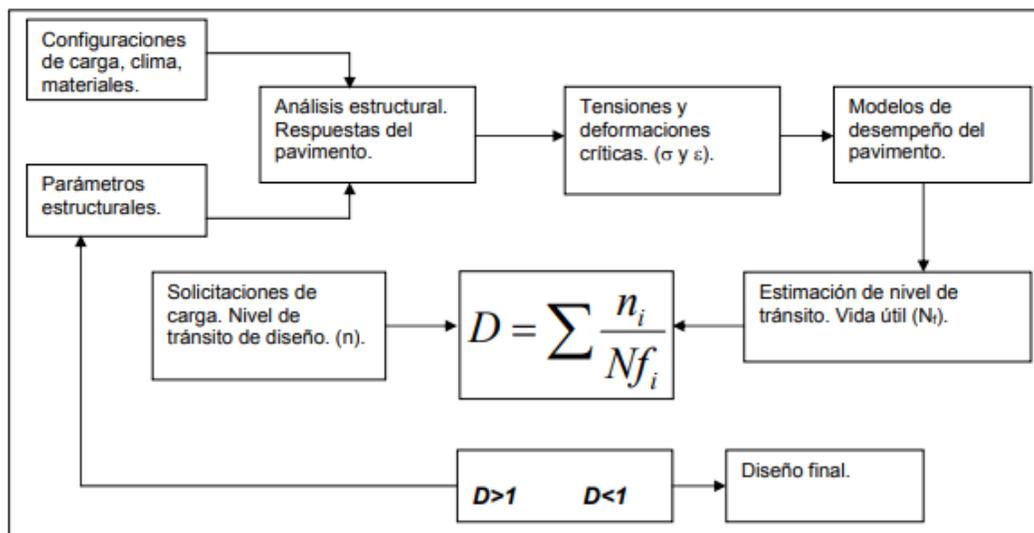
Nota. Recuperado LT LATERCERA, por Gutiérrez José, 2019.

Si se desprecia el efecto del neumático sobre el pavimento tenemos que la presión de contacto entre el neumático y la capa de rodadura resultara igual a la presión del aire en el neumático.

De tal forma que cuando se aplica la carga del neumático esta se flexiona, generando esfuerzos y deformaciones a lo largo de cada una de las capas, donde la magnitud de estos parámetros depende netamente del tipo de eje. Finalmente, se puede diseñar el pavimento por fatiga y deformación a tensión y compresión.

Análisis para el diseño de pavimentos flexibles. Para definir unos espesores es necesario considera una metodología empírico-mecanicista la cual previamente conoce la calidad de los materiales utilizados en la estructura de pavimento, donde los espesores de cada capa resultan de un proceso de iteraciones. Por ello si estos no soportan el tránsito generado se debe variar sus valores hasta obtener un diseño final confiable. A continuación, se detalla un procedimiento de esta metodología.

Figura 43

Metodología Empírico-Mecanicista

Nota. Recuperado de Nueva guía de diseño mecánica-empírica para estructuras de pavimento, por Leiva Fabricio, Universidad de Costa Rica.

Con este procedimiento una de las ventajas es que se permite una óptima evaluación de las posibles consecuencias que pueda sufrir el pavimento y predecir modos de falla, bajo condiciones como: el incremento de carga, cambios en la presión de inflado, y otras variables. Desde el criterio de diseñador con esta metodología se incrementa la confiabilidad.

Para llevar a cabo el diseño por esta metodología implica una serie de valores y criterios, sumado a la complejidad en los cálculos razón por lo cual se empleó un modelo de una capa a ser desarrollado en este capítulo, con el fin de realizar una evaluación tentativa de la subrasante.

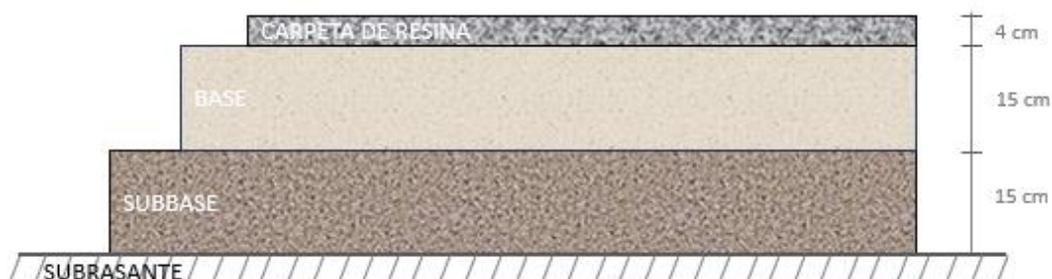
Modelos tentativos propuestos para evaluar la respuesta del pavimento.

Para tener una selección de diseño tentativo se plantean dos modelos, siendo el primero el sistema de una capa y el segundo un sistema multicapa a desarrollarse en el siguiente capítulo.

Configuración inicial del pavimento propuesto

Figura 44

Dimensionamiento Inicial del Pavimento



Nota. Se muestra un esquema que incluye las capas que conforman el pavimento flexible

En este punto partimos de una suposición inicial de la estructura de pavimento, para lo cual tenemos 3 capas como se observa en la figura cada una con su espesor y para la capa de base y subbase son gravas de 3/8 y 3/4 respectivamente. En cada una de las capas se conoce las propiedades de los materiales tanto el módulo de elasticidad como el coeficiente de Poisson.

Caracterización de los materiales

Tabla 53

Parámetros de Entrada

Parámetros	Módulo de Young (KN/m ²)	Poisson μ
Capa de rodadura	5330000	0,35
Base	4000000	0,30
Subbase	50000	0,25
Subrasante	48000	0,30

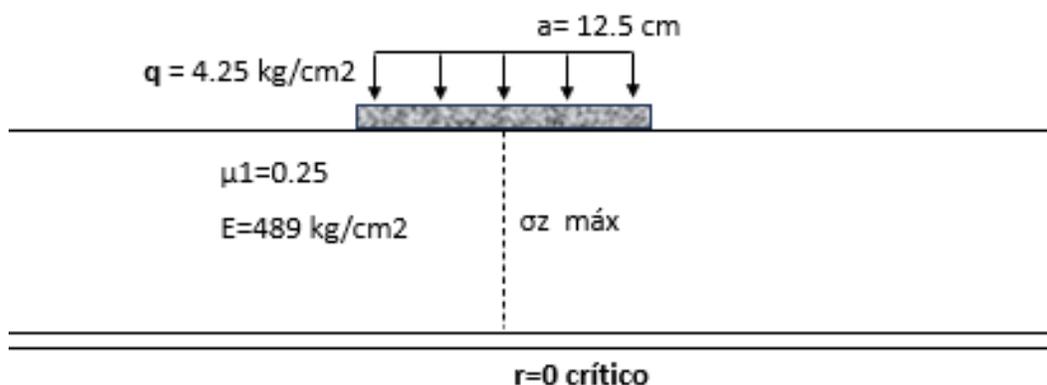
Nota. En esta tabla se muestra los datos tomados del ensayo de carga de placa.

Primer modelo: Sistema de una capa. Boussinesq en sistemas monocapa determina la distribución de esfuerzos producto de una carga puntual en condiciones homogéneas, linealmente elásticos e isotrópicos. Asimismo, integró este modelo a cargas de área circular a lo largo del eje de simetría (Coria Gutiérrez et al., 2018)

Entonces, se considera una carga circular de 8.2 ton que está repartida de manera uniforme la cual corresponde a un eje estándar de diseño a una determina profundidad z , como resultado se tendrá máximos esfuerzos verticales cuando $r=0$. El siguiente sistema homogéneo está representado por una subrasante del tipo SM.

Figura 45

Modelo de Boussinesq Propuesto



Nota. La imagen nos muestra las propiedades de la subrasante y la carga aplicada

Con estos datos se determinan esfuerzos y deformaciones en una carretera que tiene una subrasante con un CBR del 14.53%.

Esfuerzo máximo vertical

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

Deformación máxima vertical

$$\varepsilon_z = \frac{(1 + \mu)}{E} q \left[1 - 2\mu + \frac{2\mu z}{(a^2 + z^2)^{0.5}} - \frac{z^3}{(a^2 + z^2)^{1.5}} \right]$$

Deflexión máxima vertical

$$w_0 = \frac{2(1 - \mu^2)}{E} qa$$

Mediante el uso de las ecuaciones planteadas, obtenemos los siguientes resultados:

Tabla 54

Resultados de Esfuerzo y Deformación Vertical

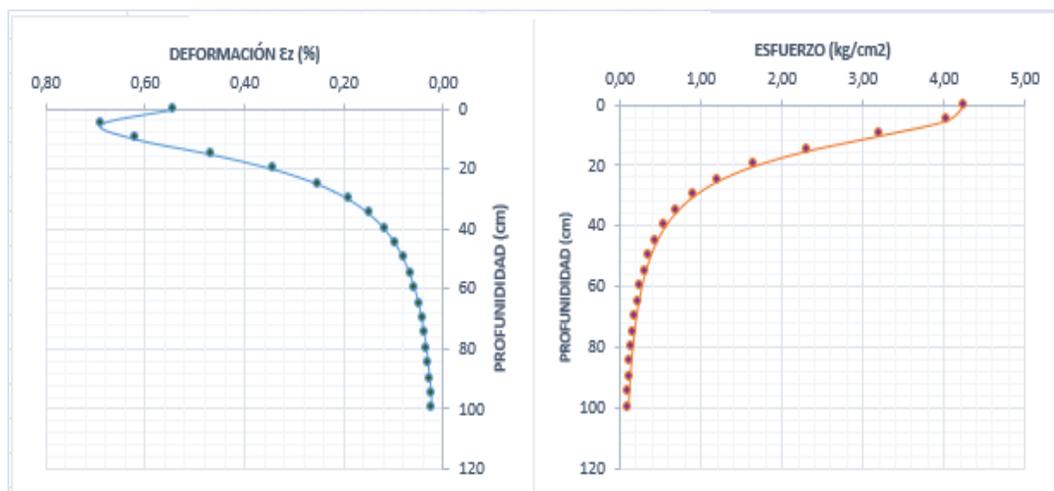
Profundidad	σ_z (Kg/cm ²)	ε_z (%)
0	4,2500	0,5432
5	4,0323	0,6893
10	3,2139	0,6177
15	2,3231	0,4679
20	1,6584	0,3413
25	1,2089	0,2517
30	0,9073	0,1901
35	0,7004	0,1474
40	0,5544	0,1170
45	0,4484	0,0948
50	0,3694	0,0782
55	0,3092	0,0655
60	0,2624	0,0557
65	0,2253	0,0478
70	0,1955	0,0415
75	0,1711	0,0364
80	0,1510	0,0321
85	0,1342	0,0285

Profundidad	σ_z (Kg/cm ²)	ϵ_z (%)
90	0,1201	0,0255
95	0,1080	0,0230
100	0,0977	0,0208

Nota. En esta tabla se muestra los datos obtenidos de la aplicación de las ecuaciones de esfuerzo y deformación

Figura 46

Análisis de las Curvas Esfuerzo y Deformación



Nota. La imagen nos muestra la disminución tanto de esfuerzo como de deformación a mayor profundidad

Del análisis de las gráficas se concluye que los 30 cm iniciales de la subrasante asumen cerca del 70 % de los esfuerzos transmitidos por la carga de contacto de 6 kg/cm². De igual forma en la distribución de esfuerzos se observa que no depende del desempeño del material más bien de la carga aplicada sobre el neumático.

El cálculo de la deflexión vertical máxima que ocurre en la superficie se da por la siguiente expresión:

$$w_0 = \frac{2(1 - 0.25^2)}{489} * 4.25 \frac{kg}{cm^2} * 12.5cm$$

$$w_0 \approx 2.2 mm$$

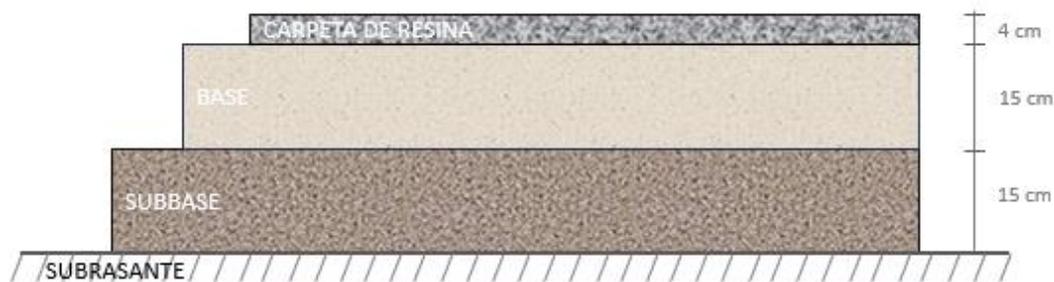
Segundo Modelo: Sistema de capas múltiples. Para la aplicación de este segundo modelo es necesario la aplicación de un software con enfoque en el diseño empírico-mecanicista donde se incluya factores y criterios. Continuando con el procedimiento mostrado anteriormente se realizan una serie de cálculos complejos para evaluar estructuras tentativas de pavimentos flexibles a la vez los niveles de desempeño.

Inicialmente los datos requeridos para desarrollar este modelo corresponden a la estructura del pavimento, es decir aspectos principales como tipo de material y el espeso tentativo. Posteriormente se ingresan características de cada uno de los materiales como Módulo de elasticidad, Coeficiente de Poisson, Módulo resiliente entre otros de cada capa.

Por ende, se propone una estructura de pavimento de 34 cm de altura conformado en distintas capas como se muestra en la figura.

Figura 47

Conformación de la Estructura de Pavimento



Nota. Los valores de altura para base y subbase son de 15 cm y una carpeta de resina epóxica de 4 cm

En consecuencia, con el diseño tentativo mostrado se analizará la estructura de pavimento con el software Plaxis, donde se determinará si cumple o no cumple con el criterio de desempeño y las solicitaciones de tránsito esperadas.

Capítulo VI

Software PLAXIS

Generalidades del software

PLAXIS es un programa de elementos finitos bidimensionales diseñado específicamente para la realización de análisis de deformación y estabilidad de problemas geotécnicos. Las situaciones modelizables corresponden a problemas de deformación plana o con axisimetría. El programa utiliza una interface gráfica que permite a los usuarios generar rápidamente un modelo geométrico y una malla de elementos finitos basada en una sección transversal vertical representativa del problema que se trate. Es necesario que los usuarios estén familiarizados con el entorno Windows (Brinkgreve, 2004).

La interfaz de usuario está constituida por cuatro subprogramas (Input (Entrada)), Calculations (Cálculos), Output (Resultados) y Curves (Curvas) (Brinkgreve, 2004).

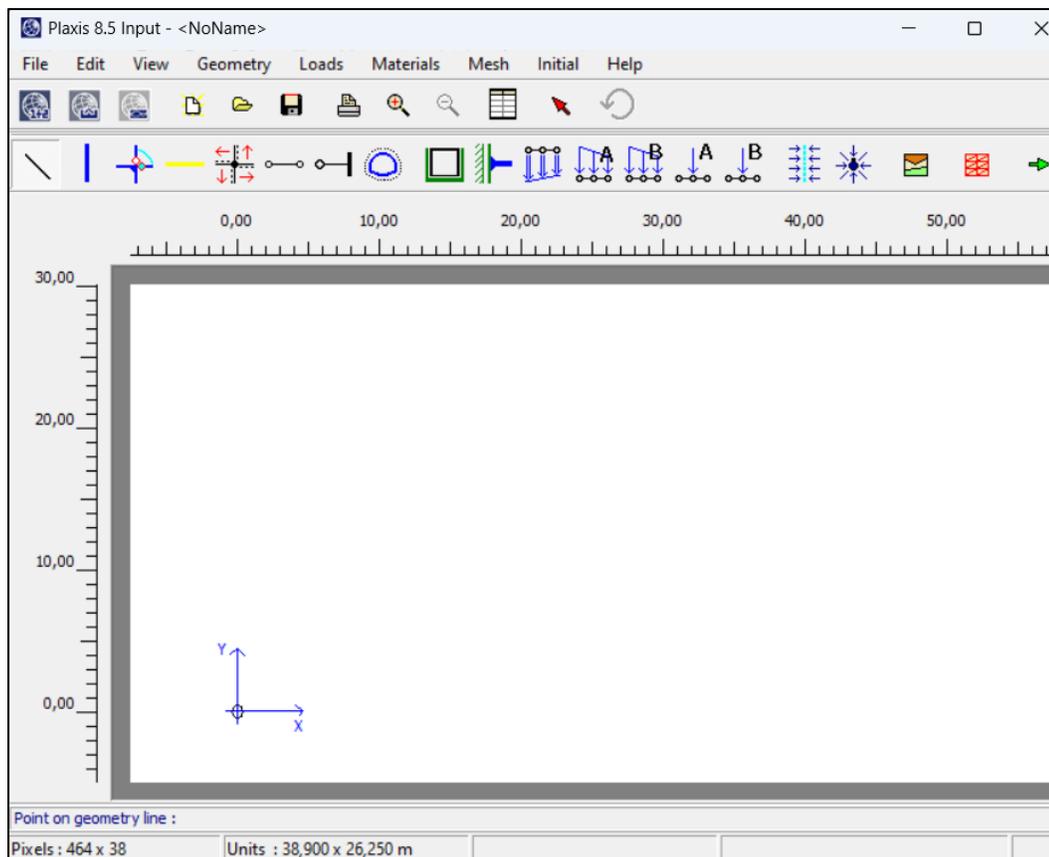
Conformación del software

El software PLAXIS se encuentra dividido en cuatro programas para el desarrollo de los problemas geotécnicos, que se detallan a continuación:

Programa de Introducción de datos (Input). Es el programa encargado de la generación de datos iniciales, permite la modelación geométrica, así como de los distintos elementos que lo conforman (placas, geomallas, anclajes, etc.), crea la malla de elementos finitos y establece las condiciones externas del modelo.

Figura 48

Interfaz del Programa de Introducción de Datos (Input)



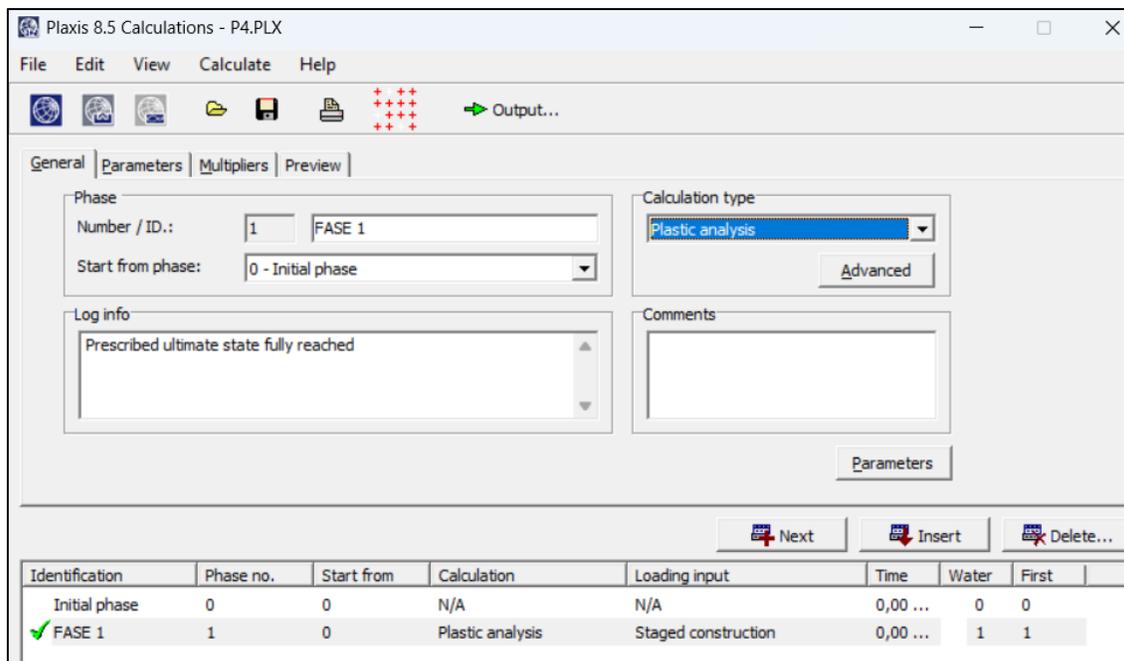
Nota. La imagen nos muestra el interfaz del subprograma input de PLAXIS para la generación de datos iniciales.

Programa de Cálculo (Calculations). Este programa permite establecer los parámetros pertinentes para poder desarrollar el cálculo requerido, a partir de modelo de elementos finitos realizado en el programa Input. Se puede crear fases de cálculo para definir el orden de las mismas y determinar el punto inicial de desarrollo.

El programa permite cuatro tipos de cálculos que son: análisis plástico, análisis de consolidación, análisis de seguridad (Φ -c reduction) y el análisis dinámico.

Figura 49

Interfaz del Programa de Cálculo (calculations)



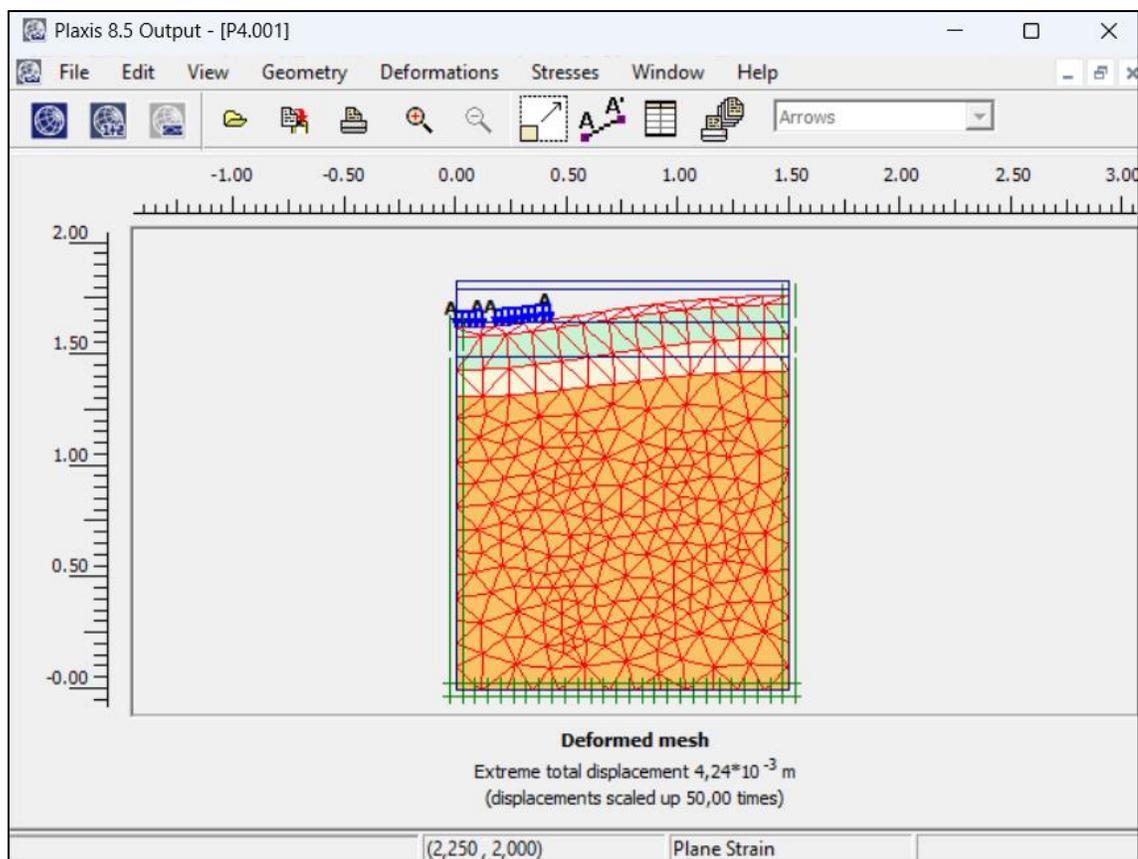
Nota. La imagen nos muestra el interfaz del subprograma calculations de PLAXIS para el desarrollo del cálculo mediante el modelo de elementos finitos.

Programa de Resultados (Output). Este programa dispone de los dispositivos para poder observar y analizar los resultados correspondientes al caso de estudio, a partir de los parámetros definidos en los programas anteriores. Los resultados que se pueden observar son las deformaciones en los nodos, las tensiones, los grados de sobreconsolidación, los puntos plásticos y la presión intersticial.

Inclusive en el caso de haber modelado elementos estructurales (como placas, mallas o anclajes), se presentan los esfuerzos a los que se encuentran sometidos y su rigidez. Además los valores numéricos pueden ser representados en tablas de: desplazamientos, tensiones y deformaciones, nodos y puntos de tensión, esfuerzos en interfaces y estructuras.

Figura 50

Interfaz del Programa de Resultados (output)



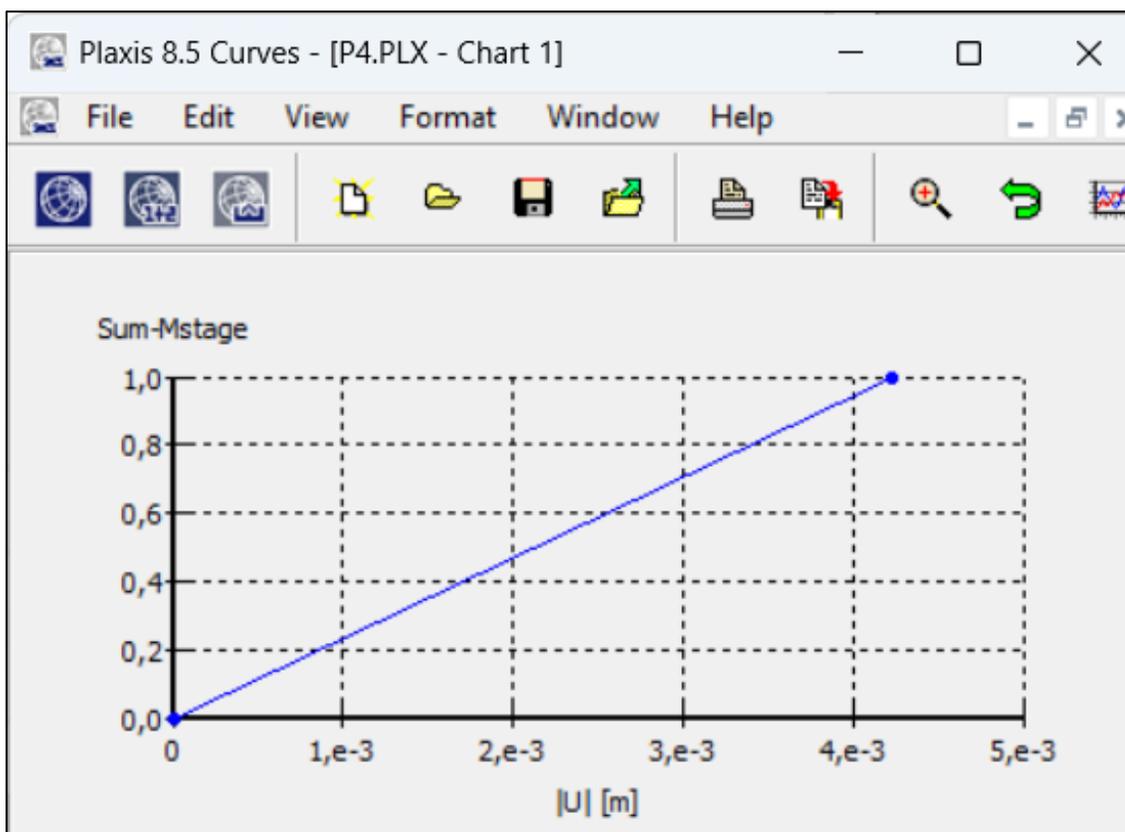
Nota. La imagen nos muestra el interfaz del subprograma output de PLAXIS para el análisis de los resultados obtenidos.

Programa de Curvas (Curves). El programa Curvas puede ser utilizado para el trazado de curvas de carga-desplazamiento o de tiempo-desplazamiento, diagramas tensión-deformación y trayectorias de tensión o de deformación de puntos previamente seleccionados de la geometría. En estas curvas se visualiza la evolución de ciertas variables de interés a lo largo del proceso de cálculo, lo que proporciona una mejor comprensión del comportamiento global y local del suelo. (Brinkgreve, 2004)

Este programa también permite múltiples curvas en un único gráfico, para poder comparar el desarrollo de desplazamientos y esfuerzos, en puntos de la geometría seleccionados anteriormente. Así como la regeneración de curvas para poder actualizar el gráfico existente a los nuevos datos.

Figura 51

Interfaz del Programa de Curvas (curves)



Nota. La imagen nos muestra el interfaz del subprograma curves de PLAXIS para la generación de gráficos de los datos obtenidos.

Parámetros de entrada del software

PLAXIS nos permite realizar la modelación con distintos métodos de análisis, en este caso de estudio se emplea el modelo lineal elástico, por lo que, para la parametrización de los

materiales de la estructura del pavimento, se requiere conocer unos coeficientes base para su desarrollo, los mismos que se explican a continuación:

Geometría. En el programa de introducción de datos (Input) se requiere conocer la geometría del caso de estudio, es decir, los espesores de los elementos del pavimento (capa de rodadura, base, sub base y sub rasante) que se encuentran resumidos en la **tabla 55**, así como las cargas o deformaciones a las que se encuentra sometido el modelo. En la **figura 52** podemos observar la geometría que se implementó en el software.

Tabla 55

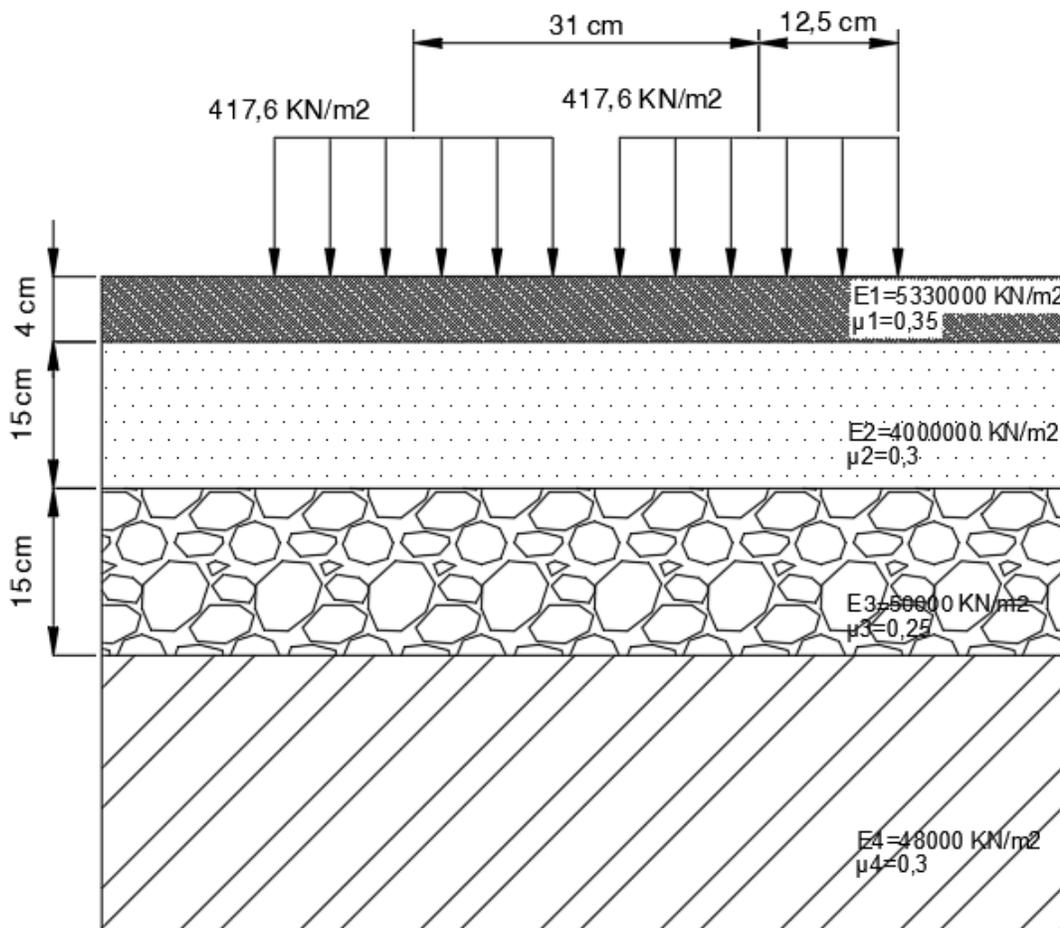
Parámetros de las Capas del Pavimento Propuesto

Capas	Módulo de Young (KN/m²)	Relación de Poisson (ν)	Espesor de la Capa (cm)
Capa de Rodadura	5330000	0,35	4
Base	4000000	0,3	15
Sub Base	50000	0,25	15
Sub Rasante	48000	0,3	150

Nota. En esta tabla se muestra las propiedades de cada una de las capas constituyentes del pavimento propuesto.

Figura 52

Estructura del Pavimento Propuesto y Cargas Aplicadas



Nota. La imagen nos muestra la estructura del pavimento propuesto, con las cargas correspondientes a un eje simple de cuatro neumáticos.

Módulo de Young (E). El módulo de elasticidad es importante en el modelo constitutivo elástico, así como con el de Mohr-Coulomb, y es tratado como un módulo de rigidez básico. Al usar un valor constante para la caracterización de cada capa se debe tener una mayor consideración para que el comportamiento del suelo siga la trayectoria de las tensiones esperadas.

En la modelación de la capa de rodadura y la base, se emplean los datos obtenidos en el ensayo de carga con placa que se encuentran resumidos en la **tabla 27** y **tabla 28**. Los módulos de elasticidad de la sub base y sub rasante se obtuvieron a partir de la **tabla 56**.

Tabla 56

Rangos Típicos de Módulos de Young para Suelos Tipo

Tipo de suelo	Consistencia del Suelo	Módulo de Young (KN/m ²)
Limo	Muy Suave	2000-15000
	Suave	5000-25000
	Medio	15000-50000
	Duro	50000-100000
Arena Loess	Arenoso	25000-250000
	Limosa	7000-21000
	Suelta	10000-24000
Arena y Grava	Densa	48000-80000
	Suelta	50000-145000
	Densa	100000-190000

Nota. Recuperado de *Basic and Applied Soil Mechanics* (p. 330), por Gopal Ranjan, 2000.

Coefficiente de Poisson (ν). Este parámetro expresa la relación entre deformaciones unitarias transversales y axiales. En modelaciones con comportamiento drenado se genera una reducción representativa del volumen desde el inicio de la carga, por lo que el valor del coeficiente de Poisson es fundamental. Cabe recalcar que en condiciones drenadas los suelos tienen valores típicos de 0.3 como podemos observar en la **tabla 57**.

Tabla 57*Rangos Típicos de Relaciones de Poisson para Suelos Tipo*

Tipo de suelo	Relación de Poisson (ν)
Limos saturados	0,4-0,5
Limos no saturados	0,1-0,3
Limos arenosos	0,3-0,35
Limoso	0,3-0,35
Arena (densa)	0,15-0,25
Arena Gravosa	0,3-0,7
Roca	0,1-0,4
Loess	0,1-0,3
Hormigón	0,15

Nota. Recuperado de *Basic and Applied Soil Mechanics* (p. 331), por Gopal Ranjan, 2000.

Permeabilidad (k_x y k_y). La permeabilidad es necesaria en los análisis de consolidación y en los cálculos de flujo, debido a que establece una dimensión de velocidad. El programa diferencia la permeabilidad tanto en sentido vertical como en horizontal, dado que existen materiales y suelos en los que si pueden representar una diferencia. Si se quiere representar una permeabilidad nula, el valor deberá ser mínimo como por ejemplo para el caso de hormigones o rocas no agrietadas. La permeabilidad de las capas estructurales se usó la tabla 58.

Tabla 58*Rangos Típicos de Coeficientes de Permeabilidad para Suelos Tipo*

Tipo de suelo	k (cm/s)
Grava limpia	100-1
Arena Gruesa	1-0,01
Arena Fina	0,01-0,001
Arcilla limosa	0,001-0,00001
Arcilla	0,000001

Nota. Recuperado de *Fundamentos de Ingeniería Geotécnica* (p. 122), por Braja M. Das., 2015.

Peso saturado y no saturado (γ_{sat} y γ_{unsat}). El peso saturado representa la relación entre el peso del sólido por unidad de volumen y el peso no saturado incluye el líquido intersticial. El uso de cada uno depende de la ubicación del nivel freático y también de la porosidad del material, siempre el peso no saturado va a ser menor al saturado y puede existir una gran diferencia dependiendo del nivel de saturación, por ejemplo, en las arenas. Y las presiones intersticiales que se encuentran arriba del nivel freático siempre se consideran como cero. Los valores se obtuvieron del ensayo de gravedad específica y absorción en el agregado grueso correspondiente a la norma ASTM C 127, los datos se encuentran resumidos en la tabla 60.

Tabla 59*Rangos Típicos de Gravedad Específica para Suelos Tipo*

Tipo de suelo	Gravedad Específica
Arena (densa)	0,15-0,25
Arena Gravosa	0,3-0,7
Roca	0,1-0,4

Tipo de suelo	Gravedad Específica
Loess	0,1-0,3
Hormigón	0,15

Nota. Recuperado de *Basic and Applied Soil Mechanics* (p. 14), por Gopal Ranjan, 2000.

Modelo Constitutivo de los Materiales

Existen nueve modelos constitutivos dependiendo de las características propias de cada material, cada uno de ellos permiten describir el comportamiento de los elementos dependiendo de unos parámetros base que permiten definir su relación de deformaciones y esfuerzos, tanto en situaciones de análisis estáticos como dinámicos. Los principales son: el método lineal elástico y el método Mohr Coulomb, que establecen el comportamiento de medios continuos.

Modelo Lineal Elástico. El modelo constitutivo lineal elástico se fundamenta en la ley de Hooke en una condición de isotropía para la elasticidad línea. En este modelo son importantes principalmente dos parámetros, los cuales son: el módulo de elasticidad E, y el coeficiente de poisson.

Su uso se enfoca principalmente a capas rígidas de suelo, en las que estudios dinámicos simplificados pueden ser realizados para el análisis de deformaciones en los elementos.

Modelo de Mohr-Coulomb. El modelo de Mohr-Coulomb refleja de una manera más precisa el comportamiento del suelo, para ello requiere de cinco parámetros, que son los siguientes: el módulo de elasticidad E, el coeficiente de poisson ν , el ángulo de dilatación, el ángulo de fricción y la cohesión del material.

Modelo para Roca Fracturada. El modelo para análisis de roca fracturada, sigue un análisis elástico plástico, en este caso anisótropo a diferencia del modelo lineal elástico. En este análisis las tensiones tangenciales se encuentran limitadas a generar un número de rotura por cada dirección de desplazamiento. Por ello es útil para simular suelos con roca fracturada.

Modelo de Suelo con Endurecimiento. En este caso el modelo de suelo endurecido toma en cuenta un comportamiento plástico debido al endurecimiento que genera la fricción, por lo que se considera una variante elastoplástica. Otro factor importante es la compresión por lo cual se genera el endurecimiento, que es irreversible en unas condiciones iniciales. Además, otras funcionalidades son la modelación de arenas y gravas, pero también de suelos con un comportamiento blando como es el caso de las arcillas.

Modelo de Suelo Blando. Este modelo se enfoca en suelos arcillosos, en situaciones de compresiones iniciales o primarias, la tipología que permite analizar es tipo CamClay que evalúa arcillas consolidadas o limos de distinto tipo.

Métodos de análisis del software

Existen tres tipos de cálculos para el procesamiento de los datos que se pueden especificar para cada una de las fases: el análisis en función de la seguridad, el análisis en base a la consolidación y el cálculo plástico. En el caso de estudio se desarrolla el análisis en función del cálculo plástico para poder desarrollar una deformación elástico plástica.

Cálculo Plástico. El modelo elástico plástico se desarrolla en esta opción de cálculo, por lo que no considera el parámetro del tiempo referente a la presión intersticial que puede llegar a ocasionar amortiguamientos. El cálculo plástico se encuentra en función de el teorema de las pequeñas deformaciones. En este caso la geometría original, es decir sin deformaciones, es la determina la matriz de rigidez para el cálculo. Es por ello que es útil en una amplia gama de problemas geotécnicos.

Análisis de Consolidación. El análisis de consolidación tiene en cuenta el parámetro del tiempo respecto a las presiones intersticiales a diferencia del modelo plástico. Permite trabajar con suelos arcillosos en estado saturado para determinar disipaciones de consolidación en un periodo de tiempo. Este tipo de cálculo se lleva a cabo después de un análisis plástico, y no se aplican cargas adicionales generalmente. Un inconveniente a tener en cuenta es la posible rotura del estrato si es que se llegara a aplicar cargas durante el análisis.

Análisis de Seguridad (Phi-c Reduction). El cálculo en función de la seguridad (Phi- c Reduction), realiza un análisis estricto del comportamiento de suelo, al reducir los parámetros de resistencia. Es necesario en modelamientos donde se requiera conocer factores de seguridad para el caso de estudio. También es posible desarrollarlo después de cada fase de cálculo, es decir que se podría analizar cada fase de la construcción. La limitación es no poder tomar como línea base los resultados obtenidos en este tipo de cálculo, debido a que concluiría en estados de fractura.

Diseño en el software PLAXIS

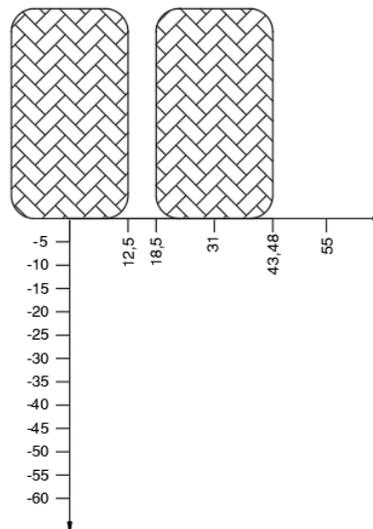
El análisis de deformaciones y esfuerzos en las capas del pavimento obtenidos mediante el software PLAXIS, se desarrolló mediante la metodología siguiente:

1. El primer paso es ingresar en el programa de introducción de datos (Input), para determinar las dimensiones y parámetros de la geometría. Se elige el modelo de deformación plana debido a que se requiere analizar una sección transversal uniforme, y 15 nodos para una mayor densidad de datos. Las unidades de trabajo como la fuerza, longitud y tiempo en KN, m y día respectivamente.
2. Establecer la geometría de la estructura que se quiere analizar, en este caso 1.50m que corresponde a la mitad del carril de 3m, los espesores de las capas son los que se encuentran detallado en la tabla 55, se colocaron las restricciones y la carga distribuida correspondiente al eje simple.

3. En la pestaña Material Sets se crean los nuevos materiales, en función de las propiedades descritas en la tabla 60 y se colocan a las capas correspondientes.
4. Se procede a generar la malla del método de elementos finitos, así como los esfuerzos iniciales para poder continuar con el siguiente programa de cálculo.
5. En el programa de cálculo se utiliza el análisis plástico debido a que permite desarrollar un análisis de deformaciones elástico-plástica, se determinan las fases y se colocan los valores de las cargas.
 - Las cargas corresponden a un eje simple con doble neumático.
 - La huella del vehículo de diseño tiene como radio 12.5 centímetros, el cuál corresponde al radio de contacto de áreas circulares cargadas.
 - Al diseñar un eje simple de 8.2 toneladas, la presión de contacto que se distribuye a cada neumático tiene un valor de 60.57 psi o 417.6 KN/m².
 - La distancia entre los ejes de cada neumático es de 31 centímetros como se puede observar en la figura 52.

Figura 53

Esquema de Aplicación de Carga [cm]



Nota. El gráfico representa la aplicación de cargas generados para el modelo en PLAXIS.

6. Finalmente, en el programa de resultados podemos obtener las deformaciones de la malla, desplazamientos, deformaciones unitarias y esfuerzos totales. Así como los resultados tabulados y gráficas en el programa de curvas.

Tabla 60

Parámetros de las Capas de Pavimento Propuesto en PLAXIS

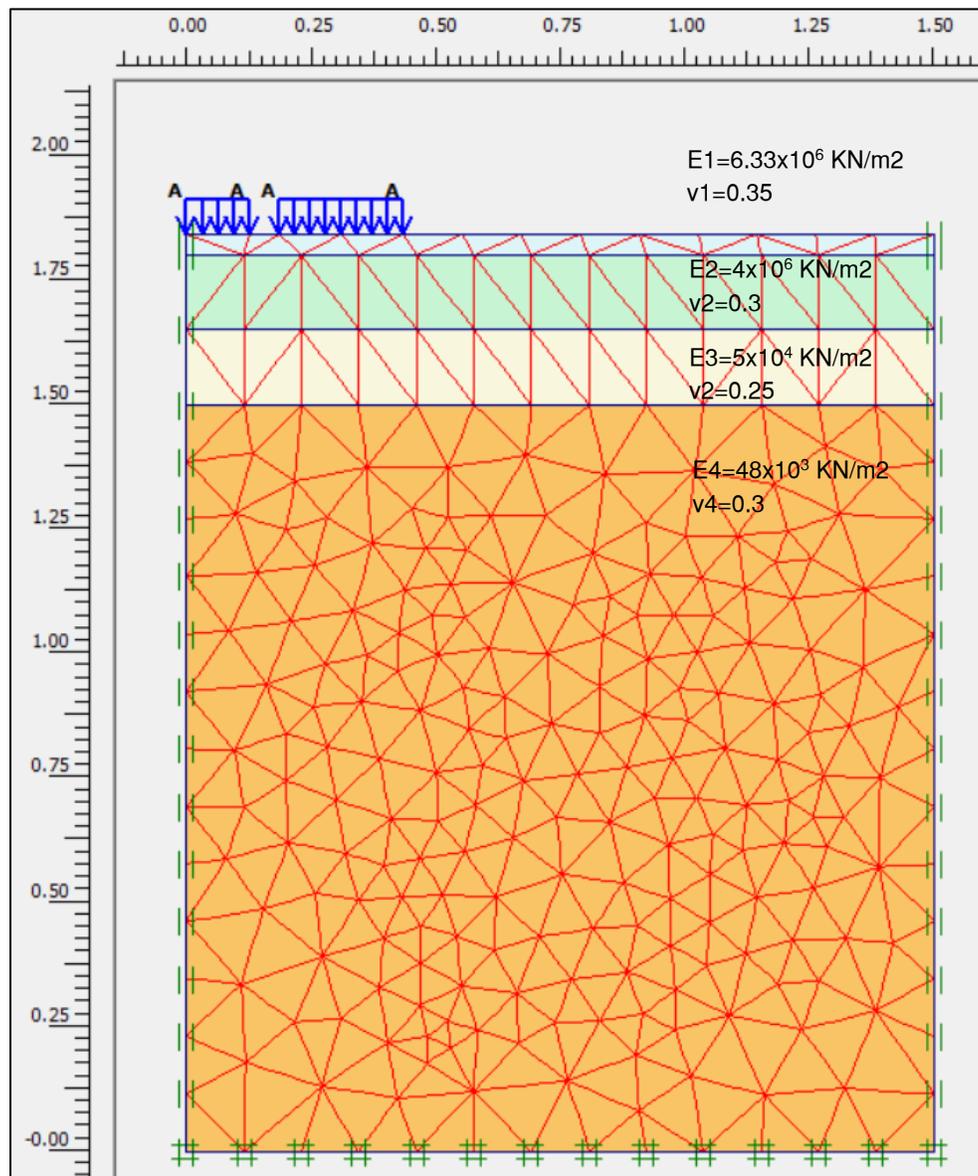
Parámetros	Símbolo	Capa de Rodadura	Base	Sub Base	Sub Rasante	Unidad
Modelo del Material	Modelo	Elástico Lineal	Elástico Lineal	Elástico Lineal	Elástico Lineal	-
Tipo de Comportamiento del Material	Tipo	Drenado	Drenado	Drenado	Drenado	-
Peso Específico del Suelo No Saturado	γ_{unsat}	23	23,18	23	18	KN/m ³
Peso Específico del Suelo Saturado	γ_{sat}	23,5	24,36	23,67	21,2	KN/m ³
Permeabilidad en Dirección Horizontal	Kx	100	3	1	1	m/día
Permeabilidad en Dirección Vertical	Ky	100	3	1	1	m/día
Módulo de Young's	E_{ref}	5330000	4000000	50000	48000	KN/m ²
Relación de Poisson	ν	0,35	0,3	0,25	0,3	-

Nota. La tabla resumen contiene los datos ingresados al software PLAXIS, correspondientes a cada capa de la estructura del pavimento para su modelación.

Resultados en el software PLAXIS

Figura 54

Discretización del Modelo del Pavimento Propuesto en PLAXIS

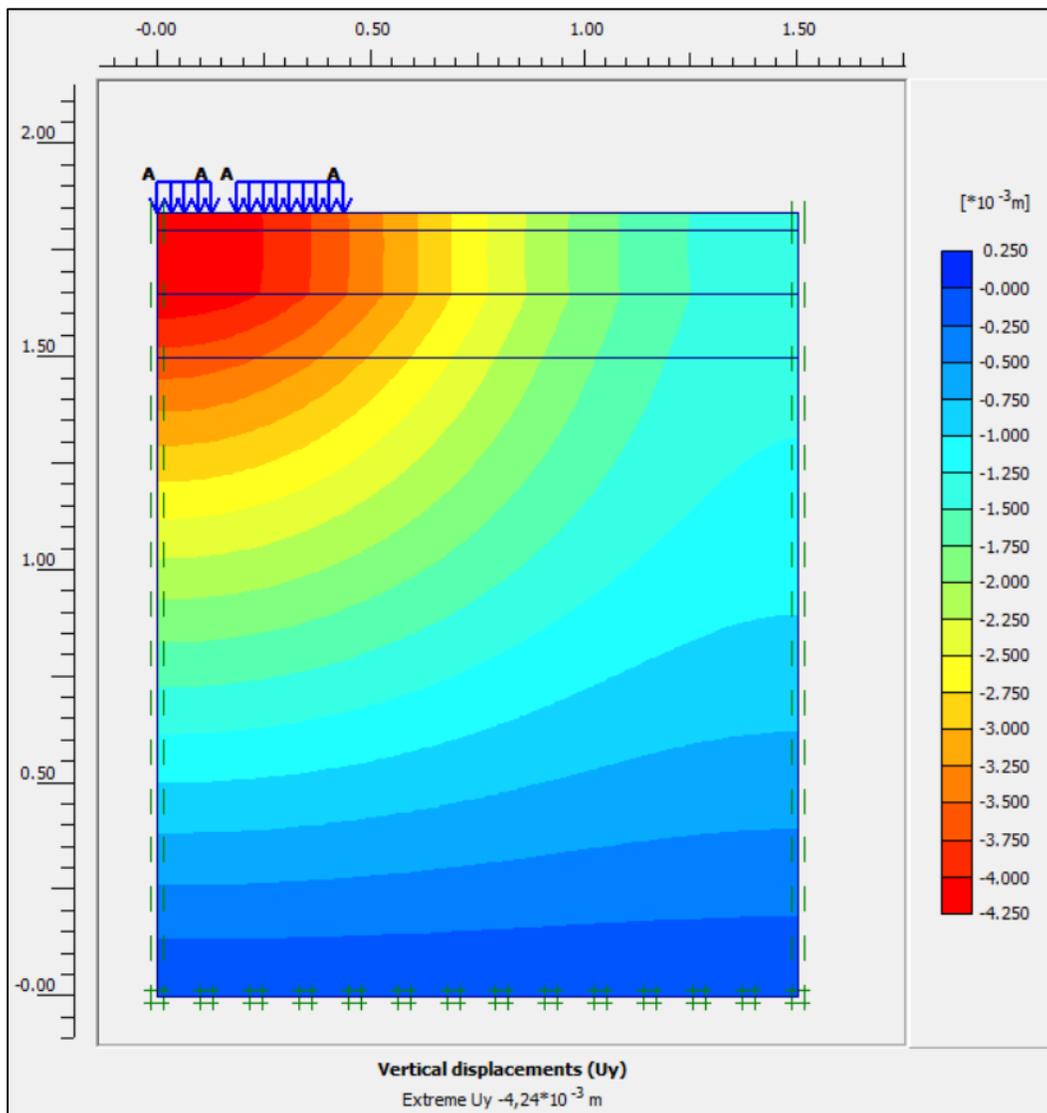


Nota. El gráfico representa el mallado generado para el modelo del pavimento propuesto en PLAXIS.

Desplazamientos Verticales en PLAXIS

Figura 55

Desplazamientos Verticales en PLAXIS



Nota. El gráfico representa los desplazamientos verticales generados en la estructura del pavimento por una carga de un eje simple en el software PLAXIS.

Tabla 61*Desplazamientos Verticales en PLAXIS*

Desplazamientos Verticales - Software PLAXIS							
Z [cm]	x [cm]						
	0	10	20	30	40	50	60
	Δz [cm]						
0	-0,4233	-0,4189	-0,4066	-0,3880	-0,3630	-0,3343	-0,3001
-5	-0,4243	-0,4198	-0,4075	-0,3887	-0,3634	-0,3346	-0,3001
-10	-0,4243	-0,4199	-0,4076	-0,3887	-0,3631	-0,3347	-0,3002
-15	-0,4237	-0,4193	-0,4072	-0,3882	-0,3627	-0,3345	-0,3002
-20	-0,4223	-0,4180	-0,4059	-0,3871	-0,3621	-0,3340	-0,3002
-25	-0,4034	-0,4017	-0,3941	-0,3717	-0,3404	-0,3217	-0,2919
-30	-0,3852	-0,3857	-0,3740	-0,3566	-0,3300	-0,3096	-0,2813
-35	-0,3674	-0,3641	-0,3544	-0,3395	-0,3197	-0,2975	-0,2706
-40	-0,3482	-0,3452	-0,3338	-0,3192	-0,3012	-0,2796	-0,2571
-45	-0,3297	-0,3310	-0,3217	-0,3005	-0,2873	-0,2689	-0,2493
-50	-0,3111	-0,3144	-0,3051	-0,2832	-0,2773	-0,2627	-0,2297
-55	-0,2936	-0,2983	-0,2858	-0,2722	-0,2664	-0,2477	-0,2278
-60	-0,2767	-0,2756	-0,2770	-0,2545	-0,2483	-0,2388	-0,2187

Nota. La tabla contiene los valores de los desplazamientos verticales generados en la estructura del pavimento por una carga de un eje simple en el software PLAXIS.

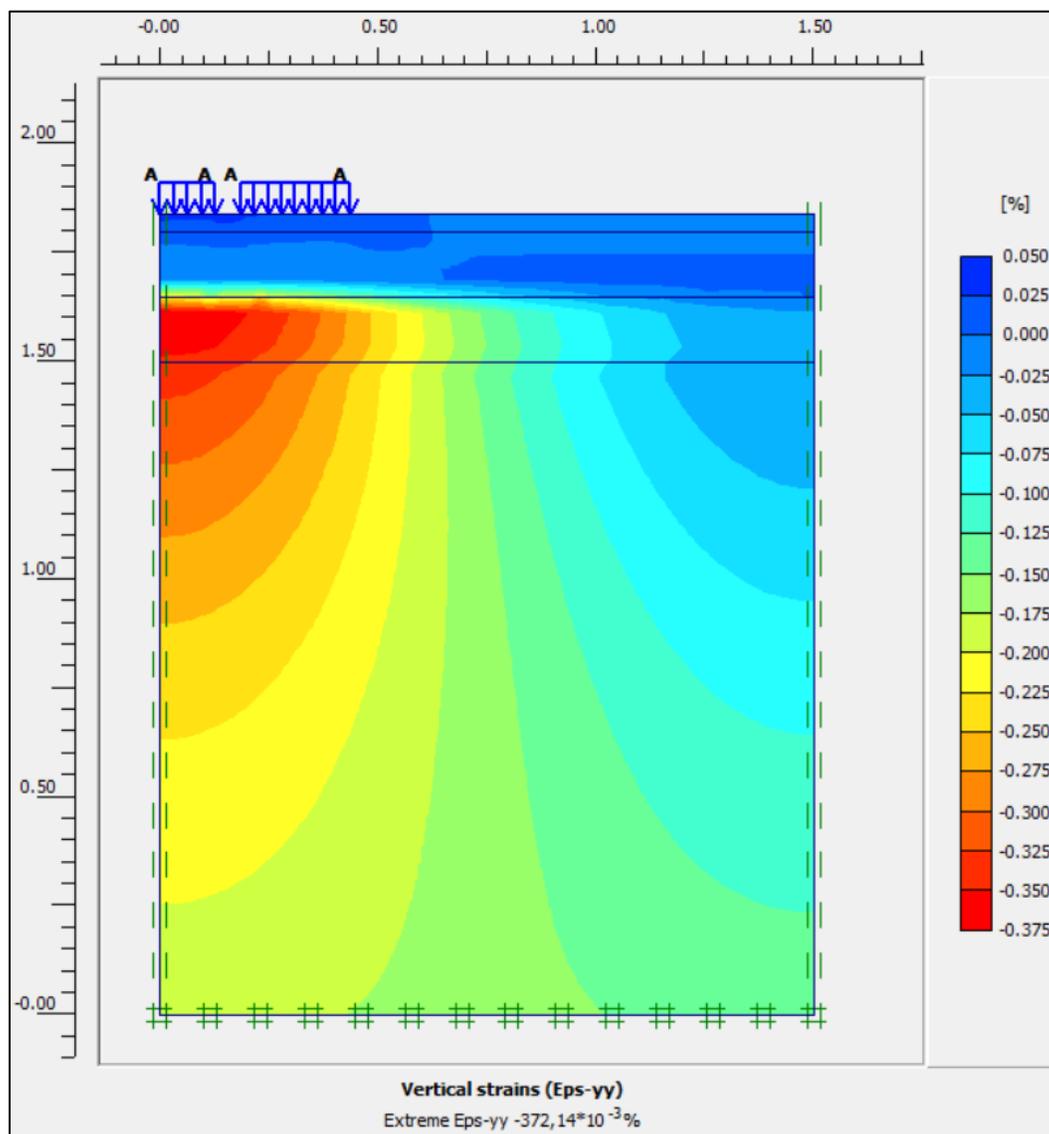
Tal como muestra la figura 53, los desplazamientos verticales en la estructura del pavimento propuesta alcanzan un valor máximo de 4.23 mm en el eje de la llanta externa, considerando una carga distribuida de 417.6 KN/m² correspondiente a un eje simple. El espesor total de la estructura es de 34 cm por lo tanto en la frontera subbase - subrasante

existen un desplazamiento de 3.67 mm, y como podemos observar en la tabla 61 a una profundidad de 60 cm el desplazamiento vertical se reduce a 2.77 mm.

Deformación Unitaria Vertical en PLAXIS

Figura 56

Deformaciones Unitaria Verticales en PLAXIS



Nota. El gráfico representa las deformaciones unitarias verticales generadas en la estructura del pavimento por una carga de un eje simple en el software PLAXIS.

Tabla 62*Deformaciones Unitarias Verticales en PLAXIS*

Deformaciones Unitarias Verticales - Software PLAXIS							
Z [cm]	x [cm]						
	0	10	20	30	40	50	60
	ϵ_z [%]						
0	0,0322	0,0309	0,0280	0,0231	0,0156	0,0099	0,0010
-5	0,0084	0,0052	0,0096	0,0100	0,0019	0,0047	0,0006
-10	-0,0053	-0,0077	-0,0027	-0,0054	-0,0077	0,0000	0,0001
-15	-0,0189	-0,0209	-0,0167	-0,0145	-0,0137	-0,0062	-0,0017
-20	-0,3768	-0,0346	-0,0319	-0,3290	-0,0204	-0,0114	-0,1976
-25	-0,3690	-0,3576	-0,3495	-0,3227	-0,2850	-0,2455	-0,1995
-30	-0,3612	-0,3506	-0,3418	-0,3166	-0,2814	-0,2446	-0,2019
-35	-0,3534	-0,3319	-0,3339	-0,2953	-0,2782	-0,2432	-0,2034
-40	-0,3301	-0,3248	-0,3151	-0,2872	-0,2584	-0,2278	-0,1913
-45	-0,3210	-0,3175	-0,3071	-0,2789	-0,2545	-0,2255	-0,1916
-50	-0,3098	-0,3093	-0,2959	-0,2717	-0,2517	-0,2240	-0,1917
-55	-0,3010	-0,3013	-0,2898	-0,2670	-0,2478	-0,2214	-0,1915
-60	-0,2924	-0,2885	-0,2833	-0,2670	-0,2439	-0,2190	-0,1908

Nota. La tabla contiene los valores de las deformaciones unitarias verticales generados en la estructura del pavimento por una carga de un eje simple en el software PLAXIS.

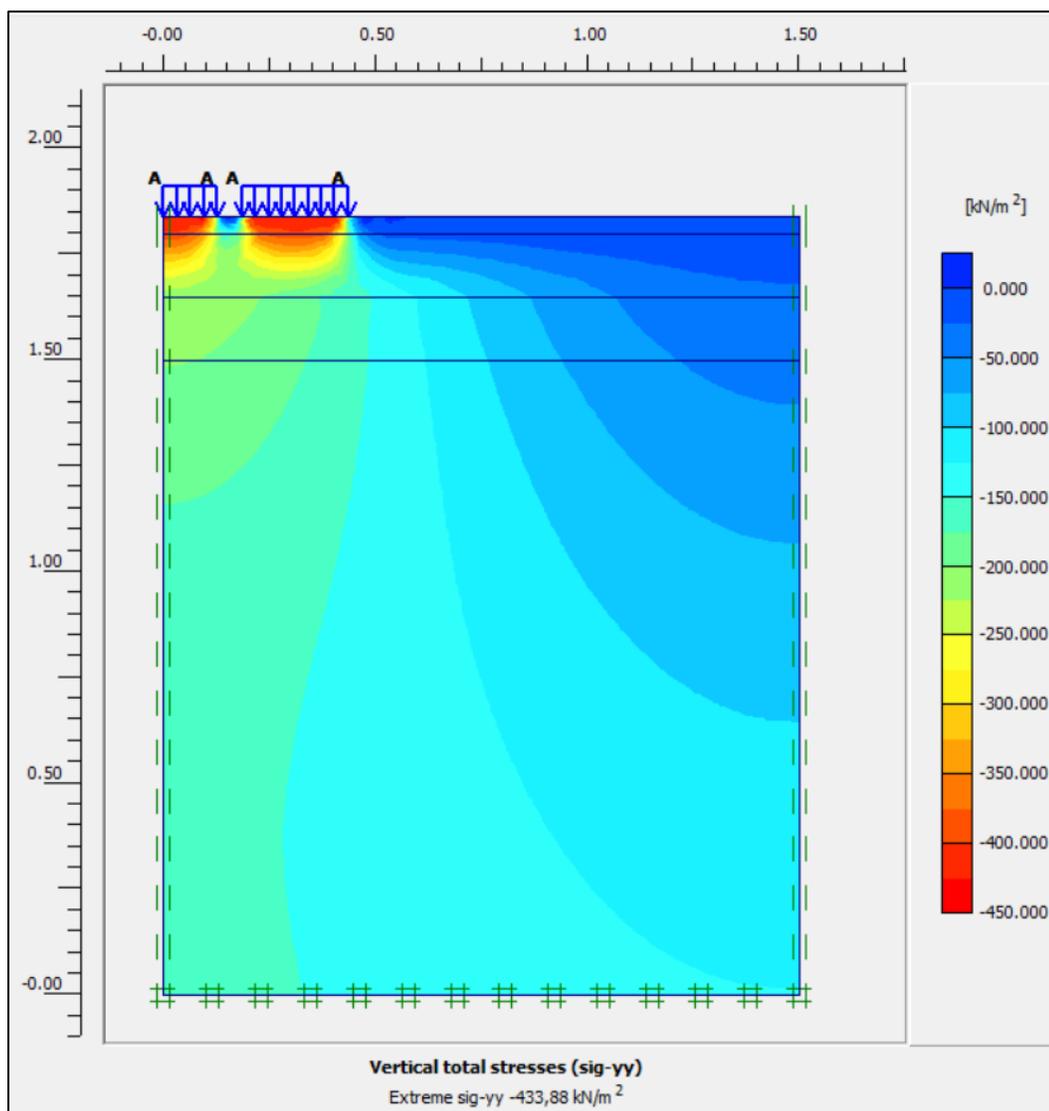
Como podemos analizar en la tabla 62 las deformaciones unitarias en la subrasante son mayores debido a que tienen un módulo de elasticidad mucho menor que la de las capas conformantes del pavimento propuesto. Además, al ser un análisis elástico plástico la dimensión de las deformaciones unitarias, se van a encontrar en función del módulo de Young y del coeficiente de poisson de cada material.

Las deformaciones unitarias verticales a compresión son las responsables del ahuellamiento del pavimento, por lo que la base de la estructura compuesta por la malla de botellas permite minimizar este deterioro.

Esfuerzos Verticales en PLAXIS

Figura 57

Esfuerzos Verticales en PLAXIS



Nota. El gráfico representa los esfuerzos verticales totales generados en la estructura del pavimento por una carga de un eje simple en el software PLAXIS.

Tabla 63

Esfuerzos Verticales en PLAXIS

Esfuerzos Verticales - Software PLAXIS							
Z [cm]	x [cm]						
	0	10	20	30	40	50	60
σ_z [kN/m ²]							
0	-439,27	-423,91	-409,76	-406,21	-418,05	-3,68	0,14
-5	-397,81	-333,00	-288,40	-398,53	-327,55	-19,84	-12,85
-10	-330,98	-255,14	-278,77	-318,76	-238,80	-94,02	-44,59
-15	-263,74	-227,19	-225,12	-238,97	-186,24	-127,19	-94,50
-20	-215,11	-210,42	-200,45	-189,89	-169,06	-146,28	-122,03
-25	-210,34	-208,69	-200,73	-186,27	-167,71	-144,04	-123,68
-30	-205,77	-204,67	-195,85	-182,97	-165,95	-144,02	-125,60
-35	-201,43	-197,57	-191,22	-179,44	-164,47	-144,09	-127,18
-40	-196,52	-193,81	-186,18	-175,22	-163,10	-143,86	-128,49
-45	-191,31	-190,15	-183,21	-171,44	-161,62	-143,52	-129,13
-50	-186,22	-185,67	-179,50	-168,40	-159,87	-142,88	-129,79
-55	-182,27	-181,49	-176,01	-167,00	-157,17	-142,56	-130,35
-60	-178,68	-178,51	-173,24	-166,35	-155,74	-142,02	-130,91

Nota. La tabla contiene los valores de los esfuerzos verticales generados en la estructura del pavimento por una carga de un eje simple en el software PLAXIS.

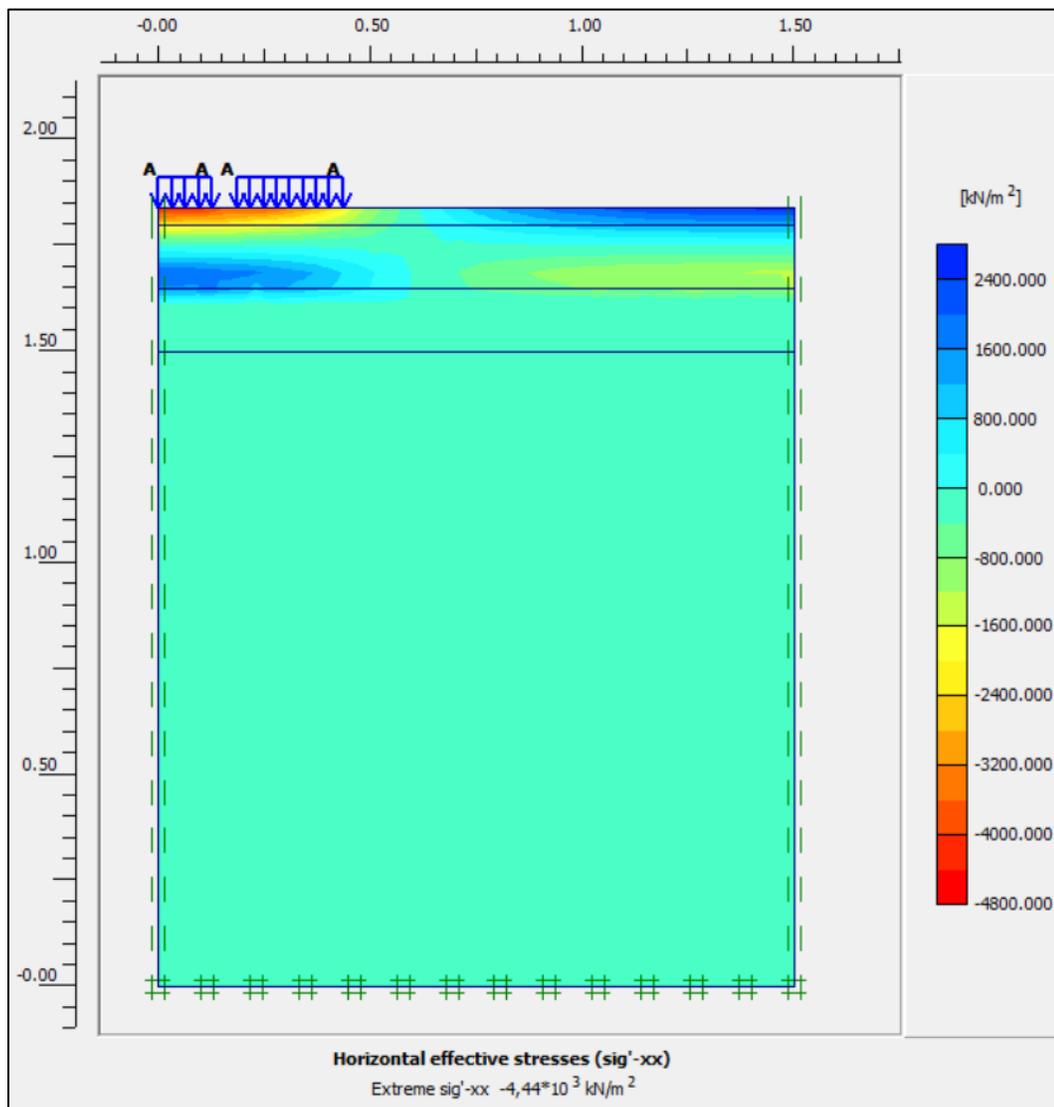
En la figura 55 se muestra la distribución de los esfuerzos en las capas del pavimento propuesto, pudiéndose observar que en la frontera entre subbase y subrasante se alcanza un 46.84% del esfuerzo generado por el eje simple, lo cual corresponde a 201.43 KN/m² en el eje de la llanta externa. Teniendo en cuenta que la subrasante tiene un módulo resiliente de 21795

psi (150271.24 KN/m²) la disipación de esfuerzos es adecuada para la capa de rodadura propuesta.

Esfuerzos Cortantes en PLAXIS

Figura 58

Esfuerzos Cortantes en PLAXIS



Nota. El gráfico representa los esfuerzos horizontales totales generados en la estructura del pavimento por una carga de un eje simple en el software PLAXIS.

Tabla 64

Esfuerzos Cortantes en PLAXIS

Esfuerzos Cortantes - Software PLAXIS							
Z [cm]	x [cm]						
	0	10	20	30	40	50	60
τ [KN/m ²]							
0	-4452,68	-4260,03	-3896,13	-3427,79	-2535,47	-1074,78	-176,46
-5	-1788,01	-1201,32	-1575,03	-1351,60	-958,09	-530,55	-116,55
-10	-231,12	194,12	-511,62	-231,75	-333,11	-146,46	-49,43
-15	1315,03	1618,21	1118,09	848,02	974,99	346,65	-7,62
-20	-33,58	3058,62	2788,77	2421,87	1691,85	785,93	15,53
-25	-29,51	-31,03	-32,60	-33,22	-35,42	-40,07	-42,76
-30	-26,04	-27,55	-28,73	-31,15	-34,06	-38,69	-42,45
-35	-23,17	-42,10	-25,78	-45,56	-33,01	-37,74	-42,26
-40	-40,32	-40,71	-41,91	-44,17	-47,06	-50,35	-53,59
-45	-39,15	-39,80	-41,28	-43,51	-46,66	-50,09	-53,56
-50	-38,71	-39,33	-40,93	-43,50	-46,61	-50,09	-53,73
-55	-38,84	-39,28	-41,02	-43,78	-46,72	-50,31	-54,00
-60	-39,42	-40,01	-41,25	-44,50	-47,02	-50,63	-54,59

Nota. La tabla contiene los valores de los esfuerzos cortantes generados en la estructura del pavimento por una carga de un eje simple en el software PLAXIS.

Los esfuerzos de corte representados en la figura 56 determina un valor máximo de -4440 KN/m² al nivel de la capa de rodadura (Z=0 cm). Mientras que a nivel de subbase existe un valor de 2400 KN/m² (Z=19 cm). Finalmente, a nivel de la subrasante (Z=34 cm) el esfuerzo de corte es casi nulo.

Capítulo VII

Presupuesto referencial, marco legal basado en el RGLOSNCNP y especificaciones técnicas

Un presupuesto es el cálculo económico de costos ocasionados para la construcción de una obra en su totalidad durante un determinado periodo de tiempo. Para el progreso del presupuesto se analiza componentes que se describen a continuación:

- **Rubro:** Es el servicio, actividad o bien en el que se definen unidades de medida y posteriormente son calculados sus cantidades necesarias para la ejecución de la obra.
- **Unidad:** Medio por el cual se puede cuantificar el rubro en análisis.
- **Cantidad de Obra:** Son definidos de acuerdo con el diseño plasmado en los planos y sus características, según el tamaño o volumen de la actividad a ejecutar.
- **Costo Unitario:** Corresponde al valor económico que involucra la realización del rubro por unidad de obra.
- **Costo Total:** Hace referencia al valor económico necesario para la ejecución de una actividad en su totalidad para satisfacer lo previsto en una obra.

Marco legal basado en el Servicio Nacional de Contratación Pública

Por medio de las generalidades emitidas en el título I del Reglamento General a la Ley Orgánica del Sistema Nacional de Contratación Pública se brinda pautas para contratos que involucran adquisiciones en el extranjero destinado a los actores que forman parte de instituciones públicas

Importación de bienes por medio de instituciones públicas

En cuanto al valor del costo de la resina considerado para la elaboración de la capa de rodadura resulta alto debido a que se compró directamente de proveedores pequeños en el Ecuador. Pero este valor puede reducirse significativamente si tomamos en cuenta la Ley Orgánica del Sistema Nacional de contratación Pública, la cual determina principios y normas para regular la adquisición de bienes que realicen las entidades previstas en el art. 1.

Por lo que es importante ya que nuestra propuesta de estructura de pavimento busca fomentar la inversión en sitios turísticos. Entonces, con la aplicación del RGLOSNCNP se mantendrá una línea base respecto al presupuesto de un pavimento convencional, llegando al punto de tener factibilidad para la ejecución.

Para esto es necesario tomar en cuenta el art. 3 Contrataciones en el extranjero, donde se menciona que:

- No será sujeto por las normas en la LOSNCP, para bienes que por su naturaleza deben ser importadas fuera del Ecuador
- Se someterá a las normas sujetas por el País que se contrate
- Cuando se realicen adquisiciones directas por las entidades públicas se requerirá del (VPN)

Asimismo, en el art. 4 De la adquisición de bienes a través de importación, afirma que:

- La entidad pública contratante deberá estar dentro de las instituciones detalladas en el art. 1 de la LOSNCP.
- La obtención de la licencia de autorización de importación se hará por medio de la Ventanilla Única Ecuatoriana-VUE perteneciente al sistema ECUAPASS de la aduana.
- Se deberá verificar que el producto a importar no conste dentro de la categorización emitida por el CPCs de productos que tienen fabricación nacional.

Finalmente, se considera el art. 5 de autorización de la importación con lo cual se iniciará los procedimientos respectivos, siguiendo la información emitida por el SERCOP:

Certificado de Producción Nacional, autorización de Importación emitido por el SERCOP, contrato firmado con el proveedor en origen, incluyendo la factura Comercial Original a nombre de la entidad contratante (Ministerio de Producción, 2020).

Una vez planteado esta alternativa se buscó en el mercado una resina de alta calidad dando como resultado la resina Epoxy Resin importado desde China en conjunto con Dongguan Sanho Adhesive Material Co Ltd., alcanzando un precio de \$ 5.50 por kilogramo. Tomando como referencia este dato se detallará en el APU correspondiente a la capa de rodadura de resina epóxica.

Importancia

La relevancia del presupuesto de obra en un proyecto es muy relevante ya que es el documento básico que establece el marco económico para la ejecución de actividades de la obra. De esta manera con los valores conseguidos, se obtendrá los precios que concursan entre ofertante y conseguirán ganar o perder la adjudicación, sin embargo, en el caso de una consultoría o diseño se tendrá como un presupuesto referencial.

Es importante saber que su descripción debe ser clara, concisa en sus unidades y acoplado a los precios del mercado local y legal.

Presupuesto referencial del pavimento flexible

Mediante el desarrollo de este capítulo se busca analizar el costo que abarca la instalación de la estructura de pavimento propuesta en 400 metros de prueba del corredor vial el Molinuco. Considerando factores como: presupuesto referencial, tiempo de construcción de la estructura y la confortabilidad que esta pueda ofrecer.

Con la información recolectada se valorará una alternativa para lograr un alcance costo-beneficio del proyecto y su ejecución en un futuro. Adicionalmente, se presenta las especificaciones técnicas para la construcción de la capa de rodadura y la base conformada por botellas plásticas y agregados.

En la siguiente tabla se resume la unidad y cantidad de los de los materiales empleados para 1 metro cuadrado de capa de rodadura.

Tabla 65

Resumen de materiales que conforman la capa de rodadura

CAPA DE RODADURA		
Materiales	Unidad	Cantidad
Agregado grueso 3/8"	m3	0,04
Resina epóxica	kilogramos	2,2

Nota. El costo total de los materiales se resume en el APU correspondiente al rubro capa de rodadura de resina epóxica.

Análisis de Precios Unitarios / Capas del Pavimento

Para el desarrollo y cálculo de los APU's que conforman el pavimento se basó en el estudio preliminar realizado en esta investigación.

Capa de Rodadura de resina epóxica

Tabla 66

APU Capa de rodadura de resina epóxica

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE						
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y LA CONSTRUCCIÓN						
PROYECTO: Diseño de una capa de rodadura drenante dosificada con resina epóxica y elaboracion de una estructura de pavimento granular confinado con botellas plásticas como disipador dinámico de cargas						
ÁNALISIS DE PRECIOS UNITARIOS						
RUBRO:	Capa de Rodadura de resina epóxica				UNIDAD	m2
EQUIPOS						
Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo Hora	Rendimiento	Costo	
Herramienta menor (5% M.O.)					0.02	
Volquete 8 m3	1	30	30	0.01	0.39	
Rodillo vib. Liso	1	40	40	0.01	0.52	
Concreteira	2	5.5	11	0.01	0.14	
SUBTOTAL					1.07	
MANO DE OBRA						
Descripción	Cantidad	Jornal/HR	Costo Hora	Rendimiento	Costo	
Peón	3	4.05	12.15	0.01	0.16	
Op. Rodillo, Estruc Ocp. C2	1	4.33	4.33	0.01	0.06	
Ayudante de maquinaria	1	4.16	4.16	0.01	0.05	
Chofer: Volquetes (Est. Oc. C1)	1	5.95	5.95	0.01	0.08	
SUBTOTAL					0.35	
MATERIALES						
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Costo		
Agregado grueso 3/8 " incluye transporte	m3	0.24	21.5	5.16		
Resina Epóxica	Kg	2.2	5.5	12.10		
SUBTOTAL					17.26	
TRANSPORTE						
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Costo		
TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)					18.68	
COSTO INDIRECTO					15%	
COSTO TOTAL DEL RUBRO					21.48	
VALOR UNITARIO					21.48	

Nota. La tabla muestra el valor unitario de veinte y uno dólares 48/100 para la capa de rodadura de resina epóxica

Tabla 67

Base propuesta (malla de botellas más agregado)

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE						
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y LA CONSTRUCCIÓN						
PROYECTO: Diseño de una capa de rodadura drenante dosificada con resina epóxica y elaboración de una estructura de pavimento granular confinado con botellas plásticas como disipador dinámico de cargas						
ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS						
RUBRO:	Base propuesta (malla de botellas más agregado), Tendido y Compactación				UNIDAD	m3
EQUIPOS						
Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo Hora	Rendimiento	Costo	
Herramienta menor (5% M.O.)					0.04	
Compactador Vibratorio 8 ton	1	35	35	0.03	1.1515	
Mini cargadora de ruedas	1	20	20	0.03	0.66	
Tanquero	1	25	25	0.03	0.82	
SUBTOTAL					2.67	
MANO DE OBRA						
Descripción	Cantidad	Jornal/HR	Costo Hora	Rendimiento	Costo	
Peón	3	4.05	12.15	0.03	0.40	
Op. Rodillo, Estruc Ocp. C2	1	4.33	4.33	0.03	0.14	
Ayudante de maquinaria	1	4.16	4.16	0.03	0.14	
Op. Mini cargadora	1	4.33	4.33	0.03	0.14	
SUBTOTAL					0.82	
MATERIALES						
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Costo		
Base con agregado grueso 3/8" incluye transporte	m3	0.6	21.5	12.90		
Arena de río cribado	m3	0.3	10.5	3.15		
Botellas plásticas	Kg	1.5	0.46	0.69		
Agua	m3	0.25	0.72	0.18		
SUBTOTAL					16.92	
TRANSPORTE						
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Costo		
TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)					20.41	
COSTO INDIRECTO				15%	3.06	
COSTO TOTAL DEL RUBRO					23.48	
VALOR UNITARIO					23.48	

Nota. La tabla muestra el valor unitario de veinte y tres 48/100 dólares para la capa de base (malla de botellas más agregado).

Tabla 68

Sub base propuesta con agregados

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE						
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y LA CONSTRUCCIÓN						
PROYECTO: Diseño de una capa de rodadura drenante dosificada con resina epóxica y elaboracion de una estructura de pavimento granular confinado con botellas plásticas como disipador dinámico de cargas						
ÁNALISIS DE PRECIOS UNITARIOS						
RUBRO:	Subbase propuesta (con agregado), Tendido y Compactación				UNIDAD	m3
EQUIPOS						
Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo Hora	Rendimiento	Costo	
Herramienta menor (5% M.O.)					0.03	
Compactador Vibratorio 8 ton	1	35	35	0.03	1.1515	
Mini cargadora de ruedas	1	20	20	0.03	0.658	
Tanquero	1	25	25	0.03	0.8225	
SUBTOTAL					2.67	
MANO DE OBRA						
Descripción	Cantidad	Jornal/HR	Costo Hora	Rendimiento	Costo	
Peón	2	4.05	8.10	0.03	0.27	
Op. Rodillo, Estruc Ocp. C2	1	4.33	4.33	0.03	0.14	
Ayudante de maquinaria	1	4.16	4.16	0.03	0.14	
Op. Mini cargadora	1	4.33	4.33	0.03	0.14	
SUBTOTAL					0.69	
MATERIALES						
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Costo		
Agregado grueso 3/4 " incluye transporte	m3	0.9	12	10.80		
Agua	m3	0.25	0.72	0.18		
SUBTOTAL				10.98		
TRANSPORTE						
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Costo		
TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)				14.33		
COSTO INDIRECTO			15%	2.15		
COSTO TOTAL DEL RUBRO				16.48		
VALOR UNITARIO				16.48		

Nota. La tabla muestra el valor unitario de diez y seis 48/100 dólares para la capa de subbase (con agregado).

Grado de confort. Generalmente este indicador se asocia con la calidad de terminado de la capa de rodadura y de las capas subsiguientes garantizando la transmisión menor de esfuerzos hacia la subrasante.

El pavimento flexible y a la vez drenante tiene un impacto significativo a la recirculación del agua ya que esta podría ser usada en la agricultura para el riego. Asimismo, con la filtración del agua de la capa de rodadura hacia los subdrenes viales contribuimos a evitar problemas de hidro planeo disminuyendo las posibilidades que se generen superficies de agua que reduzcan la fricción entre el neumático y el firme.

Tiempo de construcción. Se debe considerar que el desarrollo de esta propuesta de estructura de pavimento puede ser realizada en 2 etapas, siendo la primera el movimiento de tierras y la conformación de la subrasante debidamente compactada más la colocación de la subbase siguiendo las especificaciones MOP 001F. Seguidamente el tiempo para la colocación de la base y capa de rodadura varían dependiendo del proceso de armado de la estructura de botellas.

A continuación, se presenta un Presupuesto Referencial de los rubros principales para la ejecución de nuestra propuesta de pavimento flexible, el cual por 400 metros lineales se deberá tener un presupuesto de \$ 95 448,75.

Optimización en los APU's que conforman la estructura del pavimento

Si se busca encontrar una factibilidad en el proyecto existen puntos a considerar como la importación de la resina epóxica que abarata el costo de materiales que conforman la capa de rodadura, además de considerar los precios locales para la zona del Molinuco a fin optimizar el costo por m².

En cambio, en el rubro Base propuesta (Malla de botellas + agregado) tiene un grado de mayor importancia para la optimización del proyecto dado que el costo por botellas se puede

eliminar del componente materiales siempre y cuando el Estado promueva un ente reciclador. Actualmente el Estado no gestiona de manera ambiental una bodega de reciclaje de botellas, esto se debe al no contar con proyectos que fomenten dicha práctica, razón por la cual con nuestra propuesta de pavimento se fomentará un modelo de gestión ambiental, que promueva que los GAD's provinciales, seccionales, cantonales y municipales formen parte de esta iniciativa.

Asimismo, en la zona de prueba el Molinuco donde se instalará el pavimento se cuenta con fuentes de agua por la presencia de distintos afluentes como el río Pita, por lo tanto, el costo de agua perteneciente al componente de materiales en el APU podría reducirse significativamente ya que se utilizaría los recursos de la zona. Logrando así una optimización mayor para la propuesta de pavimento.

Tabla 69

Presupuesto Referencial de una propuesta de Pavimento Flexible

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE						
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y LA CONSTRUCCIÓN						
PROYECTO: Diseño de una capa de rodadura drenante dosificada con resina epóxica y elaboracion de una estructura de pavimento granular confinado con botellas plásticas como disipador dinámico de cargas						
PRESUPUESTO REFERENCIAL						
RUBRO	CÓDIGO MTOP	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	TOTAL
PRELIMINARES						
1	302-1	Desbroce y Limpieza	m3	240.00	9.34	2241.60
2	3	Replanteo y nivelación	m2	2400.00	1.09	2616.00
MOVIMIENTO DE TIERRAS						
3	307-2(1)	Excavación	m3	816.00	6.81	5556.96
ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO						
4	403-1	Subbase propuesta (con agregado), Tendido y Compactación	m3	360.00	16.48	5934.56
5	404-1	Base propuesta (malla de botellas más agregado), Tendido y Compactación	m3	360.00	23.48	8451.64
6	E	Capa de Rodadura de resina epóxica	m2	2400.00	21.48	51545.63
DRENAJE						
7	606-1	Sub dren	m	400.00	5.79	2316.00
SEÑALIZACIÓN						
8	708-5(1)	Señalización Vertical	u	2	186.78	373.56
OBRAS EXTERIORES						
9	103-2.07	Limpieza final de la obra	ml	400.00	0.35	140.00
TOTAL						79175.95

Nota. El gráfico indica los rubros a emplearse para la conformación de una estructura de pavimento flexible confinado con botellas plásticas como disipador dinámico de cargas, y sus cantidades cuantificadas respectivamente.

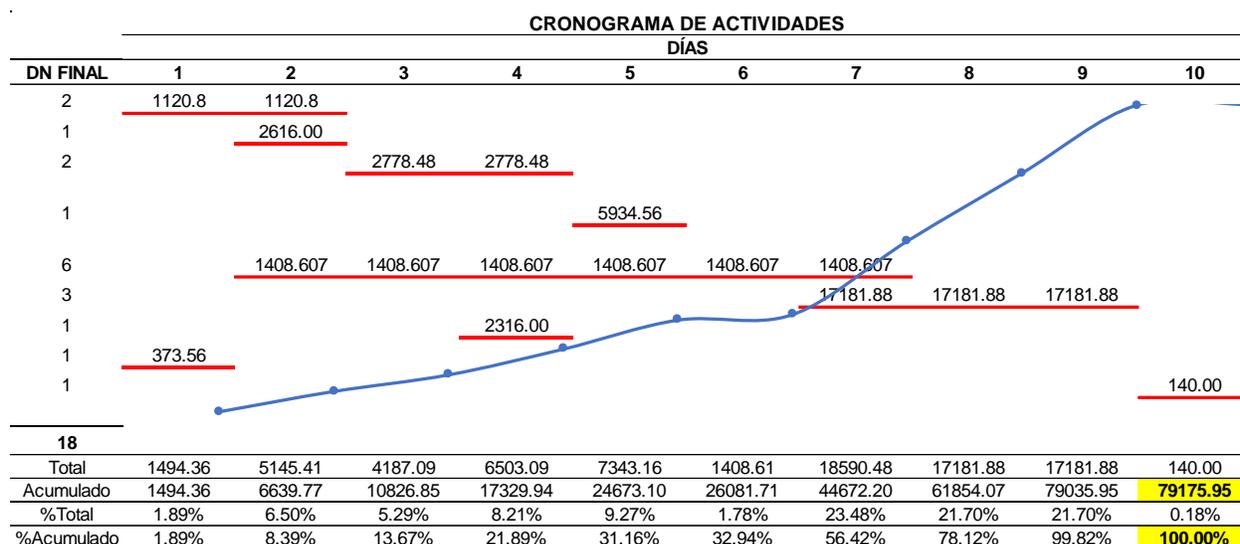
Cronograma de Actividades

El cronograma de ejecución de actividades consta de un presupuesto con sus cantidades respectivas y un cronograma el cual valora los trabajos por días y se incluye una curva de inversión, como se muestra a continuación. Este cronograma indica que para la elaboración de una estructura de un pavimento flexible confiando con botellas plásticas es necesario de varias etapas, iniciando con una señalización del trabajo en obra y continuar con

los trabajos preliminares, luego los movimientos de tierra determinados para posteriormente realizar la estructura del pavimento y culminar con obras exteriores, todo esto abarca una duración de 10 días laborables para cumplir con 400 metros lineales de la estructura de pavimento.

Tabla 70

Cronograma de Actividades para la propuesta de Pavimento Flexible



Nota. El gráfico representa los días necesarios para la ejecución del proyecto y existe una curva de inversión.

Comparación de un Presupuesto Referencial entre un Pavimento Convencional y un Pavimento Flexible

Para un cotejo de los valores presupuestarios, se ha obtenido el Proceso “Pavimentación Asfáltica en varias calles de la Parroquia Junquillal del Cantón Salitre” (Compras Públicas, 2023) el cual es un proyecto de pavimentación asfáltica convencional con un valor de \$111 135,24; una cifra que aumenta \$ 15 686,50 en comparación a nuestra propuesta de pavimento flexible. Este valor incrementado se debe a los rubros a considerarse

Especificaciones técnicas

Desbroce y limpieza

Descripción. Esta actividad se basa en el despeje del terreno necesario para poder ejecutar la obra de acuerdo con las especificaciones presentadas para el pavimento flexible y sus diferentes capas respectivamente. Aquí se eliminarán árboles, arbustos, troncos, matorrales o cualquier tipo de vegetación. También se incluye en este rubro la remoción de la casa de tierra vegetal que presente, según la profundidad señalada en los planos o por el fiscalizador.

Procedimientos de Trabajo. Esto se llevará a cabo por medio de trabajos eficientes sea manualmente o por medios mecánicos, todos los materiales desalojados serán depositados en los lugares indicados en los planos o escogidos por el contratista. Sin embargo, es importante mencionar que estos residuos no deben causar contaminación de ninguna manera.

Medición. La cantidad por pagarse será realizada en metros cúbicos según lo que abarque la obra.

Pago. Este precio y pago abarca el desbroce y limpieza en su totalidad, el pago no cubrirá el desbroce y limpieza que efectúe el constructor en áreas que no pertenecen al proyecto.

Replanteó y nivelación

Descripción. En esta actividad se refiere a la colocación de los puntos necesarios materializados de tal manera que nos ayuden a ubicar los elementos arquitectónicos presentes, considerando los planos respectivos.

Procedimientos de Trabajo. Es necesario realizar este rubro ya que de esto depende el trazado geométrico para poder dar inicio a la obra, dejando primordialmente un hito principal que permite la verificación del nivel de la obra, con la ayuda de una cinta métrica y un equipo topográfico.

Medición. Se considera en metros lineales.

Pago. De acuerdo con los 400 metros lineales realizados se deberá pagar.

Excavación

Descripción. Esta actividad consiste en la excavación del material necesario a remover para lograr la construcción del diseño de pavimento flexible, drenaje, sub dren y todo trabajo de movimiento de tierras que sea necesario para la construcción del camino, según los documentos contractuales y las órdenes del Fiscalizador.

Procedimientos de Trabajo. Este trabajo se puede relajar por medio de una excavación a mano que es aquella la cual se puede realizar sin necesidad de maquinaria pesada, al contrario, son fácil de excavar tan solo con una mano de obra adecuada y la herramienta menor. Una excavación a máquina se realiza por medio de equipos mecanizados y maquinaria pesada.

Medición. Las cantidades por pagarse debido a la excavación para la conformación del camino corresponden a los volúmenes cuantificados en su origen de acuerdo con los planes y órdenes del fiscalizador, por lo tanto, se medirá en metros cúbicos.

Pago. Las cantidades establecidas se retribuyen a los precios contractuales para cada uno de los rubros y que se verifique en el contrato. Este pago incluye varios factores como son: transporte, mano de obra, herramientas, materiales y operaciones conexas que sean fundamentales para la culminación de esta actividad, además se realizará el pago por el volumen excavado una vez ya verificado.

Sub-base granular

Descripción. Esta actividad implica la construcción de la capa de sub base compuesta por agregados de tamaño 3/4, que cumplen los requerimientos especificados. Esta capa se colocará sobre el suelo replanteado y nivelado previamente preparado y aprobado, de conformidad con lo establecido para el diseño.

Procedimientos de Trabajo. Para poder realizar el tendido de esta cama se deberá tener uniforme la superficie preparada inicialmente para por consiguiente colocar la con un tamaño de agregados de $\frac{3}{4}$ el cual debe cumplir con un espesor de 15 cm, y con los anchos correspondientes indicados en los planos.

Medición. Corresponde a metros cúbicos según corresponde esta capa de 15 cm de espesor.

Pago. Se realizará el pago una vez que se haya cumplido los m³ cúbicos mencionados en el presupuesto referencial.

Especificación especial 1

Capa de rodadura a base de resina epóxica

Descripción. Este trabajo consistirá en la elaboración de la capa de rodadura de resina epóxica constituida por agregados de acuerdo con la faja granulométrica especificada, mezclados en frío a temperatura ambiente en una concretera, y colocado sobre una base debidamente constituida o preparada, de acuerdo con lo establecido en los documentos contractuales del proyecto.

Materiales. El tipo y límite del material que deberá emplearse en la mezcla se determinará en el contrato y será mayormente la resina epóxica Epon 828 (componente A) y el agente curador KH836 (componente B). En caso de vías que presenten un tráfico leve-moderado se permitirá usar una relación 22:11 de componente ligante constituido por resina. En cambio, para vías de alto tráfico, se admitirá el uso de una relación 28:14. La clasificación del tráfico se muestra en la tabla 405-5.4 de las especificaciones MOP 001F. La resina deberá cumplir con la hoja técnica del producto señalados en el apéndice 1.

Los agregados que se utilizarán en la capa de resina epóxica podrán estar constituidos por roca o grava triturada total o parcialmente, materiales fragmentados naturalmente. Estos

agregados deberán cumplir con los requisitos establecidos en el numeral 811.2, para agregados tipo A, B o C. Los agregados estarán compuestos en todos los casos por fragmentos limpios, sólidos y resistentes, manteniendo la uniformidad, exentos de impurezas, arcilla u otras materias extrañas (Ecuatoriana et al., 2002a)

Para la mezcla de resina epóxica y agregados deberán emplearse una de las granulometrías indicadas en las tablas 405-5.1. En el contrato se especificará el tipo y graduación de los agregados, según las condiciones de utilización.

Figura 60

Porcentajes de granulometría de acuerdo con el TMN

TAMIZ	Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada			
	¾"	½"	3/8"	Nº4
1" (25.4 mm.)	100	--	--	--
¾" (19.0 mm.)	90 - 100	100	--	--
½" (12.7 mm.)	--	90 - 100	100	--
3/8" (9.50 mm.)	56 - 80		90 - 100	100
Nº 4 (4.75 mm.)	35 - 65	44 - 74	55 - 85	80 - 100
Nº 8 (2.36 mm.)	23 - 49	28 - 58	32 - 67	65 - 100
Nº 16 (1.18 mm.)	--	--	--	40 - 80
Nº 30 (0.60 mm.)	--	--	--	25 - 65
Nº 50 (0.30 mm.)	5 - 19	5 - 21	7 - 23	7 - 40
Nº 100 (0.15 mm.)	--	--	--	3 - 20
Nº 200 (0.075 mm.)	2 - 8	2 - 10	2 - 10	2 - 10

Nota. Se considera una faja de TMN de ¾.

Equipos y Procedimiento de trabajo. La planta para la preparación de resina epóxica y agregados empleados por el Contratista, podrán ser seguidas o por paradas, y deberán cumplir los requisitos que se establecen más adelante.

Equipo para manejo de la resina. se deberá rotular los contenedores que permitan diferenciar los componentes, al igual de un lugar de almacenamiento para evitar la

cristalización de la resina, por medio de dispositivos que posibiliten el constante monitoreo de la temperatura. Los contenedores para el almacenamiento deberán contar con la capacidad suficiente de reserva para la ejecución de una jornada laboral.

Tolvas de recepción. En campo se deberá contar con zarandas suficientes para tamizar el agregado y separarlo de acuerdo con las graduaciones requeridas para la capa de rodadura, y alojarlas en diferentes tolvas hasta el proceso de mezclado.

Mezclado. Para la puesta en campo se deberá contar con una concretera que permita la combinación de agregado y resina epóxica, en condiciones de temperatura ambiente para dar cumplimiento con la dosificación estipulada en el contrato y mantenerse trabajando continuamente a fin de alcanzar altos rendimientos.

Vaciado. Una vez ejecutado la mezcla de acuerdo con la dosificación calculada se procederá al vaciado por medio del uso de recipientes de manera rápida para evitar el secado de la mezcla

Distribución. Culminado el vaciado se empleará el uso de palas para el tendido del material que conformará la capa de rodadura.

Compactación. Se empleará una plancha compactadora que se encargue de uniformizar la capa de rodadura. Este tipo de compactador estará especificado de acuerdo con el espesor a alcanzar en campo.

Control de espesor. Se deberán disponer de un calibrador que permita la medición del espesor de capas en carretas.

Medidas de seguridad. En campo se deberán disponer del equipo de protección personal para el manejo de las sustancias que componen la resina. Asimismo, se contará con

un área ventilada para evitar la inhalación de vapores. Finalmente, se almacenará los componentes en un lugar fresco a temperatura ambiente, alejada del contacto con el sol.

Exigencias especiales para la conformación la resina y el agregado grueso. En el proceso de unión de resina Epon 28 y el agente curador KH836 deberá estar en constante movimiento, con esto se evitará la cristalización de esta. Además, se considerará una temperatura ideal de 10 a 12 °C preferentemente en horas de la noche.

El proceso de mezclado entre el ligante constituido por resina y el agregado grueso en la concreteira deberá ser de 5 min +/- 2 min

El tiempo de tendido deberá ser de 7 min +/-2 min

Finalmente, el tiempo de secado de la capa de rodadura es de 50 min +/- 10 min.

Equipo de transporte. Los volquetes para el transporte de los agregados serán de volteo y contarán con cajones metálicos cerrados y en óptimas condiciones. Para emplear los cajones deberán ser limpiados cuidadosamente y recubiertos con aceite u otro material aprobado. Una vez cargada, los agregados deberán ser protegidos con una cubierta de lona, para evitar impurezas del ambiente (Ecuatoriana et al., 2002b)

Ensayos y tolerancias. Tanto el agregado fino y grueso deberán cumplir los requisitos de calidad, de acuerdo con la subsección 811-2.

Para la granulometría se aceptará mediante el ensayo INEN 696, efectuado sobre muestras representativas de la cantera seleccionada, para asegurar que se encuentre dentro de los límites aceptables.

En cuanto a las propiedades mecánicas de la resina se aceptará en aplicaciones sin materiales de relleno se alcancen valores de esfuerzos de tensión de 69 Mpa, con valores de módulos de elasticidad superiores a 2750 Mpa, siendo sistemas caracterizados por su gran

rigidez. Además, respecto a sus propiedades adhesivas, se alcanzan esfuerzos de corte superiores a los 41 Mpa. De acuerdo con el apéndice 1.

Pago. Las cantidades determinadas serán pagadas en base a los precios estipulados en el contrato que abarca todos los rubros del procedimiento de trabajo.

Tabla 71

Determinación de pago de rubro por unidad de medición

N° del Rubro de Pago y Designación	Unidad de Medición
Capa de rodadura de resina epóxica mezclada en campo de ... cm de espesor	Metro cuadrado (m2)

Especificación especial 2

Conformación de Base con material granular y botellas de plástico

Descripción. Este trabajo consistirá en la conformación de la base constituida por agregados de acuerdo con la faja granulométrica especificada y la estructura de botellas de plástico, instalados en campo a temperatura ambiente, y colocado sobre una subbase debidamente constituida o preparada, de acuerdo con lo establecido en los documentos contractuales del proyecto.

Materiales. El tipo y grado del material que deberá emplearse en la conformación de la base se determinará en el contrato y será mayormente botellas recicladas de un diámetro de 12 cm. En caso de vías que presenten un tráfico leve-moderado se permitirá usar una un diámetro menor al especificado. En cambio, para vías de alto tráfico, se admitirá el uso de un diámetro mayor. La clasificación del tráfico se muestra en la tabla 405-5.4 de las especificaciones MOP 001F. La estructura de las botellas será conformada para un mallado de 1 metro por 1 metro.

Los agregados que se utilizarán en la capa de base podrán estar constituidos por roca o grava triturada total o parcialmente, materiales fragmentados naturalmente. Estos agregados

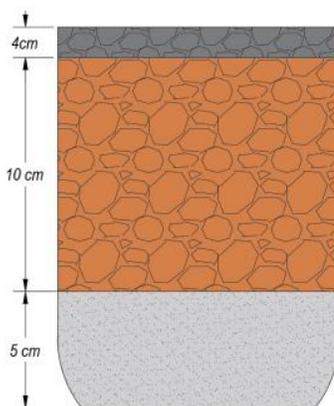
deberán cumplir con los requisitos establecidos en el numeral 811.2, para agregados tipo A, B o C. (Ecuatoriana et al., 2002a)

Para la conformación de la base los agregados deberán emplearse una de las granulometrías indicadas en la figura 64. En el contrato se especificará el tipo y graduación de los agregados, según las condiciones de utilización.

Asimismo, la conformación de la base se compone de 5 cm de agregado fino va al fondo de las botellas y los 10 cm restantes se cubren con agregado grueso, como se indica a continuación:

Figura 61

Conformación de la capa de base



Equipo y Procedimiento de trabajo. Las plantas de reciclaje para la obtención de la estructura de botellas serán empleados por el Contratista, y deberán cumplir los requisitos que se establecen más adelante.

Equipo para manejo del diámetro de las botellas. se deberá medir los diámetros de las botellas que permitan mantener uniformidad en el esquema, sin que existan probabilidades de producirse las deformaciones, y con dispositivos que posibiliten el control constante de la

calidad de las botellas a utilizarse. Los contenedores para el almacenamiento de las botellas deberán contar con la capacidad suficiente de reserva para la ejecución de una jornada laboral.

Obtención de botellas. En campo se deberá contar con un solo diámetro de botellas, sin importar la planta de reciclaje proveniente, asimismo se deberá alojar en campo cubiertas de la intemperie hasta el proceso de conformación de la capa de la base.

Lavado. Para la puesta en campo se deberá previamente verificar la limpieza de las botellas a fin de evitar posibles impurezas.

Corte y perforación de las botellas. Una vez almacenado las botellas se deberá cortar las botellas a una altura de 15 cm desde la base, esta altura puede sufrir variaciones de acuerdo con el tráfico de la zona del proyecto. Además, se procederá a la perforación del fondo de las botellas en un número no menor a 5. El diámetro de la perforación queda a criterio y experiencia del contratista solo se debe asegurar que la base de botellas drene el agua.

Unión de las botellas: Culminado la perforación de las botellas se procederá a unir las botellas formando la malla de 1 m x 1m, mediante el uso de hilos de plástico.

Conformación de la capa de base. Posteriormente se vaciará 5 cm de agregado fino sobre la estructura de las botellas y 10 cm de agregado grueso para un tráfico leve-moderado. en zonas donde el tráfico es pesado esta relación queda a criterio del contratista y las necesidades del proyecto.

Compactación. Se empleará una plancha compactadora que se encargue de uniformizar la capa de base. Este tipo de compactador estará especificado de acuerdo con el espesor a alcanzar en campo.

Control de espesor: Se deberán disponer de un calibrador que permita la medición del espesor de capas en carretas.

Medidas de seguridad. En campo se deberán disponer del equipo de protección personal. Finalmente, se almacenará los componentes de la capa de base en un lugar fresco a temperatura ambiente, alejada del contacto con el sol.

Equipo de transporte. Los volquetes para el transporte de los agregados serán de volteo y contarán con cajones metálicos cerrados y en óptimas condiciones. Para emplear los cajones deberán ser limpiados cuidadosamente y recubiertos con aceite u otro material aprobado. Una vez cargada, los agregados deberán ser protegidos con una cubierta de lona, para evitar pérdida de calor y contaminación con polvo u otras impurezas del ambiente. (Ecuatoriana et al., 2002b)

Ensayos y tolerancias. Tanto el agregado fino y grueso deberán cumplir los requisitos de calidad, de acuerdo con la subsección 811-2.

Para la granulometría se aceptará mediante el ensayo INEN 696, efectuado sobre muestras representativas de la cantera seleccionada, para asegurar que se encuentre dentro de los límites aceptables.

En cuanto a las propiedades mecánicas del plástico se deberá alcanzar una elongación a la fluencia de 4% junto con una resistencia a tracción de 90 MPa.

Pago. Las cantidades determinadas serán pagadas en base a los precios estipulados en el contrato que abarca todos los rubros del procedimiento de trabajo.

Tabla 72

Determinación de pago de rubro por unidad de medición

N° del Rubro de Pago y Designación	Unidad de Medición
Capa de base conformada por botellas y agregados elaborada en campo de ... cm de espesor	Metro cuadrado (m ²)

Subdren

Descripción. Un sub dren vial es una técnica importante para avalar la durabilidad de las estructuras de pavimento, ya que evita que el agua subterránea o de lluvia provoque daños en la carretera, de esta manera habrá una disminución considerable en los costos por mantenimiento. Tomando en cuenta que este rubro es independiente de los valores de diseño y construcción del pavimento. Al ser necesario la construcción de sub drenes, se deberán colocar previamente antes de instalar la capa de sub base, en lo cual la superficie del terreno deberá estar con los requerimientos antes mencionados y sus niveles correspondientes según se indiquen en los planos del proyecto.

Procedimientos de Trabajo. Este sub dren consiste en una tubería colocada entre los estratos de las diferentes capas por medio de una perforación ligeramente inclinada con la finalidad que el agua no se quede estancada

Medición. Se mide en base a los 400 metros lineales de tubería requeridos para que cubra la obra en su totalidad del sub dren.

Pago. Se pagará una vez instalado el sub dren y cumpla con los requerimientos correspondientes.

Señalización vertical para trabajos en la vía 0,75 x 0,75

Descripción. La señalización vertical es una seña informativa que ayuda a prevenir a los usuarios sobre la existencia de peligros, trabajos en la vía, hombres trabajando o maquinaria pesada circulando, etc.

Procedimientos de Trabajo. Estas señales son aseguradas en postes o estructuras instaladas sobre la vía que sea visibles para peatones y conductores principalmente se colocarán al inicio y fin de la obra.

Medición. Se considera por unidades y son dos señales verticales de 0,75 x 0,75 ubicadas en el inicio y fin de la obra.

Pago. Se realiza el pago con la instalación de las señaléticas.

Limpieza final de la obra

Descripción. El contratista deberá mantener la obra de inicio fin como un lugar de trabajo seguro y limpio, por lo que deberá entregar la obra en óptimas condiciones para que peatones y conductores puedan transitar sin inconvenientes.

Procedimientos de Trabajo. Antes de la entrega de la obra, se deberá dismantelar cualquier campamento o gabinete instalado para los trabajos de oficina o bodega.

Medición. Esta limpieza se considera en metros cuadrados.

Pago. Se pagará como una suma al finalizar la obra al cumplir con la limpieza final.

Capítulo VIII

Conclusiones

La elaboración de los ensayos de laboratorio para caracterizar las propiedades físicas de materiales pétreos destinados a pavimentación es esencial para garantizar la durabilidad, seguridad y funcionalidad de las estructuras viales. Estos ensayos proporcionan una comprensión profunda de cómo los materiales responderán bajo las condiciones a las que estarán expuestos. Mediante la evaluación de propiedades como la resistencia a la compresión, absorción de agua y resistencia al desgaste se pueden tomar decisiones informadas sobre la selección de materiales y su idoneidad para diferentes tipos de pavimentos.

La rigurosa caracterización de los materiales pétreos a través de los ensayos de laboratorio permitió optimizar el diseño de los pavimentos y asegurar que cumplan con los estándares de calidad requeridos del Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN. Además, proporcionó datos fundamentales para la curva maestra de los materiales, teniendo un 40% de agregado fino, 40% de agregado grueso de $\frac{3}{4}$ " y 20% de agregado grueso de $\frac{3}{8}$ ", encontrándonos dentro de los límites de gradación tomado de la MOP 001-F 2002, capítulo 405 que nos detalla las capas de rodadura.

En el planteamiento y elaboración de la propuesta de pavimento presentada se determinó mediante el ensayo de carga con placa un módulo de elasticidad de 578747 psi en la capa base del pavimento y de 772364 psi para la capa de rodadura.

Mediante el ensayo de tracción indirecta se obtuvo una estabilidad de 2080,51 lb, con una dosificación al 2,25% de resina, dando como resultado respuestas favorables a las tolerancias permisibles de 1800 lb para un pavimento flexible tomadas de la tabla 405.2.2 del libro del MOP-001F.

La propuesta de pavimento presenta reducciones a la contaminación ambiental, y a la conservación del medio ecológico que nos rodea, por ello se analiza el impacto del nuevo pavimento con respecto a uno del tipo convencional con la ayuda de la matriz de Leopold, dando por resultados -712 puntos para el pavimento convencional y -60 puntos para el pavimento propuesto en el impacto total del proyecto, lo cual representa una reducción significativa de los puntos de valor negativos en la nueva propuesta, señalando que vamos por un buen camino hacia la conservación de nuestro planeta, otro aspecto positivo que se pudo evidenciar es el aumento de empleo el cuál traerá beneficios a la población adjunta.

Se determinó las propiedades físicas, ambientales, geológicas y del suelo de la vía de acceso al sitio turístico el Molinuco, ubicada en Pichincha, cantón Rumiñahui, en campo, caracterizando al suelo como tipo SM según la clasificación manual visual. En cuanto al ensayo DCP se obtuvo que la capacidad de la subrasante (CBR) es de 14.53%. Obteniendo como resultado una subrasante regular, la misma que favorece notablemente a la disminución en el diseño de los espesores de la estructura de pavimento propuesta.

Según los cálculos arrojados por el modelo de Boussinesq propuesto para la carga de un eje tándem estándar de 8.2 toneladas repartida sobre los neumáticos y las características de la subrasante expone que la misma no sufrirá deformaciones excesivas ya que la deflexión vertical obtenida fue de 2.2 mm.

El software PLAXIS usado para la evaluación del pavimento drenante propuesto, determinó que las deformaciones verticales máximas para una carga de diseño de un eje simple son 4.23 mm. Además, en la subrasante se alcanzan esfuerzos de 201.43 KN/m² en el eje de la carga aplicada, por lo tanto, es inferior al módulo de resiliencia de la capa por lo que la disipación de esfuerzos es adecuada. Y el esfuerzo cortante se encuentra soportado por la capa de rodadura y base, permitiendo una casi nula transmisión de esfuerzos, es por ello que, el espesor propuesto de las capas es correcto.

Culminado el análisis del presupuesto referencial para la capa de rodadura propuesta para los 400 metros de longitud vial, tiene una inversión inicial de \$ 21,48 por metro cuadrado el cual es más costoso que una capa de rodadura asfáltica \$ 14,95. Pero si consideramos el grado de confortabilidad este notablemente tiene mayor impacto significativo al brindar seguridad y sostenibilidad a largo plazo.

Se realizó un presupuesto referencial para un camino de 400 metros lineales y con un ancho de 6,00 metros, en donde se obtuvo un presupuesto necesario de \$ 79 175,95; con la planificación de 10 días laborables para cubrir en su totalidad la construcción de las diferentes capas del pavimento flexible.

El diseño de pavimento propuesto es resultado de un estudio preliminar en 400 metros de prueba en el corredor vial Molinuco, asimismo el costo de botellas puede ser optimizado si consideramos a largo plazo la iniciativa del Estado en fomentar un modelo de gestión ambiental que promueva el reciclaje, sumado al agua existente en la zona de instalación.

Recomendaciones

Se recomienda explorar y considerar la viabilidad de reutilización de materiales pétreos provenientes de escombros de construcción, estos materiales que a menudo se descartan como residuos, e incorporarlos en la estructura del pavimento para analizar su comportamiento y ver su factibilidad dentro de la investigación.

Si se desea analizar y diseñar un pavimento flexible que este conformado por otro medio continuo como la capa de rodadura de resina epóxica propuesta en este trabajo es necesario considerar un modelo elástico que evalúe el desempeño del pavimento.

Para el modelamiento en el software PLAXIS es recomendable hacer un estudio previo para la elección de los modelos constitutivos de los materiales de la estructura del pavimento, las cuales dependen de las características del suelo para conseguir una mayor fiabilidad en los resultados obtenidos.

Para la colocación de la nueva propuesta de pavimento se debe considerar mucho la temperatura y se recomienda que la instalación de la capa de rodadura se realice en horas de la mañana o en la noche en donde las temperaturas disminuyen considerablemente y se puede tener un mejor manejo de la resina.

Debemos seguir innovando en la construcción buscando nuevas alternativas, y sobre todo que conserven el medio que nos rodea, de tal manera que ayuden a reducir la huella de carbono y mantener un ambiente más limpio para las generaciones venideras.

Para tener un buen proceso constructivo es necesario que exista un fiscalizador encargado de verificar que se cumpla requerimientos de calidad según las especificaciones técnicas presentadas, además de hacer que se cumpla en los días establecidos las diferentes actividades presentadas en el Cronograma del Proyecto.

Referencias

3075 EPON Resin 828. (2005). *Technical data bulletin*.

Aguirre, B. A., & Anchiraico, M. (2020). Elaboración de un diseño óptimo de pavimento drenante de concreto y la utilización del software SWMM 5.1 para evaluar la efectividad en la reducción de la escorrentía superficial. (*Tesis de ingeniería*). Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC), Lima. Retrieved 2023 de Agosto de 22, from <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/67205>

ANDRADE, C. (Enero de 2008). *REPOSITORIO ESPE*.

<https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/727/1/T-ESPE-018597.pdf>

Angelone, S., Tosticarelli, J., & Martinez, F. (1994). APLICACION DEL PENETROMETRO DINAMICO DE CONO EN OBRAS VIALES Y CONTROLES DE COMPACTACION. *CENTRO DE TRANSFERENCIA DE TECNOLOGIA N°3 I.P.C.*, 6.

ASTM, n. 6. (2003). *"Método de ensayo estándar para el uso del Penetrómetro Dinámico de Cono en estructuras de Pavimento*.

Bañón , L., & Bevía García, J. F. (2000). *Manual de carreteras*. Ortiz e Hijos, Contratista de Obras, S.A. <http://hdl.handle.net/10045/1788>

Botía Diaz, W. Á. (2015). Manual de procedimientos de ensayos de suelos y memoria de cálculo. (*Trabajo de titulación*). Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá.

Brinkgreve, R. (2004). *Manual de Referencia de Plaxis*. Países Bajos: PLAXIS b.v.P.O. Box 572, 2600.

- Camacho, J. (2019). Una mirada comunicacional al Qapaq Ñan en el Distrito Metropolitano de Quito (El cas de San José de Monjas y oriente Quiteño). (*Tesis de licenciatura*). Universidad Central del Ecuador, Quito.
- Carvajal, J. (2018). *Análisis comparativo de las estrategias de mercadeo para el segmento familia entre el refugio ecológico Molinuco y la gran cascada del Pita y diseño de una estrategia de posicionamiento en el segmento familiar*. PUCE.
- Castillo, K., & Saavedra, C. C. (2020). Uso de pavimento drenante como alternativa de apoyo al drenaje. (*Tesis de ingeniería*). Universidad César Vallejo, Piura. Retrieved 22 de Agosto de 2023, from https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/67205/B_Castillo_CK-Saavedra_CCC-SD.pdf?sequence=10&isAllowed=y
- Coría Gutiérrez. (2018). *Teorías para calcular esfuerzos, deformaciones y deflexiones en pavimentos flexibles*.
- Coronado Tordesillas, J. M., & Ruiz Fernández, R. (2010). Carreteras, territorio e historia: Una propuesta de clasificación tipológica. *I Congreso Internacional de Carreteras, Cultura y Territorio, A Coruña, 22*.
- DELLAVEDOVA, A. M. (2016). GUÍA METODOLÓGICA PARA LA ELABORACIÓN DE UNA EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL. *UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA* .
- Esquerre Garcia, M. M., & Silva Silva, H. W. (2019). Propuesta de diseño de pavimento drenante para la captación de agua de lluvias en zonas urbanas del norte de Perú. (*Tesis de Ingeniería*). Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Lima. https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/625617/EsquerreG_M.pdf?sequence=4&isAllowed=y

- Ferreira Cuellar, D. A., & Torres López, K. M. (2014). Caracterización física de agregados petreos para concretos caso: Vista hermosa (Mosquera) y mina cemex (Apulo). (*Trabajo de grado*). Universidad Central del Ecuador, Quito.
- HIDALGO, F. (2007). *Definición Moderno de los parámetros para el diseño de pavimentos*. UFA ESPE.
- Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones. (2002). *Especificaciones generales para la construcción de caminos y puentes*.
- Ministerio de Producción, C. E. (2020). *Manual de usuario ventanilla única ecuatoriana (VUE)*. Quito: Subsecretaría de recursos pesqueros.
- Molina Silva, K. L. (2019). Lineamientos geotécnicos para garantizar la estabilidad de taludes, en el proceso de cierre de minas en el Distrito Metropolitano de Quito. (*Trabajo de titulación*). Universidad Central del Ecuador, Quito.
- NTE INEN 695. (2011). *Áridos. Muestreo*.
- NTE INEN 696. (2011). *Áridos. Análisis granulométrico en los áridos, fino y grueso*.
- NTE INEN 856. (2011). *Áridos. Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido fino*. Quito, Ecuador.
- NTE INEN 857. (2011). *Áridos. Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido grueso*.
- NTE INEN 858. (2011). *Áridos. Determinación de la masa unitaria (peso volumétrico) y el porcentaje de vacíos*. Quito, Ecuador.

- NTE INEN 860. (2011). *Áridos. Determinación del valor de la degradación del árido grueso de partículas menores a 37,5 mm mediante el uso de la máquina de los ángeles*. Quito, Ecuador.
- ROULLET, G. A. (2009). "SEGUIMIENTO Y COMPARACIÓN DE CAMINOS DE. (*Tesis de ingeniería*). Universidad Austral de Chile, Valdivia. Retrieved 2023 de Agosto de 22, from <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2009/bmfcir859s/doc/bmfcir859s.pdf>
- Rumiñahui, G. A. (2019). *Plana de desarrollo y Ordenamiento territorial* .
- Salazar Noboa, G. (2008). Sistema institucional de gestión de las carreteras de segundo orden del Ecuador, para disminuir costos de mantenimiento vial y de operación de vehículos. (*Título de Magíster*). Universidad Técnica de Ambato, Ambato.

Apéndices

Apéndice 1. Ficha técnica Epon828

Apéndice 2. Ensayos realizados en el proyecto