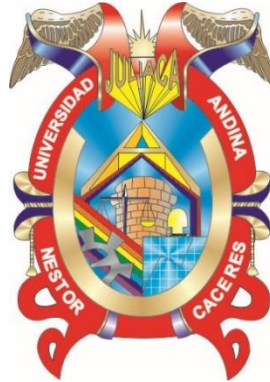




UNIVERSIDAD ANDINA
NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ
ESCUELA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL
MENCIÓN: GEOTECNIA Y TRANSPORTES



**INFLUENCIA DE LA APLICACIÓN DEL GEOTEXTIL TEJIDO
EN EL MÓDULO DE RESILIENCIA DE LA SUB RASANTE
PARA PAVIMENTOS FLEXIBLES DE LA
CIUDAD DE JULIACA 2023**

TESIS PRESENTADA POR:
JESUS ALBERT QUISPE FLORES

**PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE
MAESTRO EN INGENIERÍA CIVIL
MENCIÓN: GEOTECNIA Y TRANSPORTES**

JULIACA – PERÚ
2024




UNIVERSIDAD ANDINA
NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ
ESCUELA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL
MENCIÓN: GEOTECNIA Y TRANSPORTES
INFLUENCIA DE LA APLICACIÓN DEL GEOTEXTIL TEJIDO
EN EL MÓDULO DE RESILIENCIA DE LA SUB RASANTE
PARA PAVIMENTOS FLEXIBLES DE LA
CIUDAD DE JULIACA 2023

TESIS PRESENTADA POR:
JESUS ALBERT QUISPE FLORES
PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE:
MAESTRO EN INGENIERÍA CIVIL
MENCIÓN: GEOTECNIA Y TRANSPORTES
APROBADA POR:

PRESIDENTE DEL JURADO : 
Dr. LEONEL SUASACA PELINCO

MIEMBRO DEL JURADO : 
Dr. EFRAÍN PARILLO SOSA

MIEMBRO DEL JURADO : 
Mgtr. ARNALDO YANA TORRES

ASESOR DE TESIS : 
Mgtr. FRANZ JOSEPH BARAHONA PERALES

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN : TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN – P50



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ" ESCUELA DE POSGRADO



RESOLUCIÓN DIRECTORAL N° 249-2024-D-EPG-UANCV/J

Juliaca, 19 de agosto del 2024

VISTOS:

El expediente N° 2024-07820, presentado por el (la) Bachiller **QUISPE FLORES JESUS ALBERT**, con número de DNI. **45228881**, asignado (a) con código de matrícula **1710100429**, de la **Maestría en INGENIERIA CIVIL, Mención: GEOTECNIA Y TRANSPORTES**, de la Escuela de Posgrado de la Universidad Andina "Néstor Cáceres Velásquez" de la Sede Central Juliaca.

CONSIDERANDO:

Que, el (a) Bach. **QUISPE FLORES JESUS ALBERT**, con número de DNI. **45228881**, asignado (a) con código de matrícula **1710100429**, de la **Maestría en INGENIERIA CIVIL, Mención: GEOTECNIA Y TRANSPORTES**, ha solicitado fecha, hora y modalidad de sustentación de la Tesis titulada: **INFLUENCIA DE LA APLICACIÓN DEL GEOTEXTIL TEJIDO EN EL MÓDULO DE RESILIENCIA DE LA SUB RASANTE PARA PAVIMENTOS FLEXIBLES DE LA CIUDAD DE JULIACA 2023** La misma que pertenece a la Línea de Investigación: **TECNOLOGIA DE LA CONSTRUCCIÓN - P50** y;

Que, el (a) referido (a) Dictamen de Tesis aprobado por los jurados el 29 de abril del 2024. Establece la fecha de sustentación; habiendo para el efecto cumplido los requisitos establecidos en el reglamento para la Obtención del Grado Académico de Magíster/Maestro y Doctor de la Escuela de Posgrado de la UANCV;

Que, en el Artículo 66 del Reglamento General de la Escuela de Posgrado de la UANCV, establece que la sustentación de Tesis de Postgrado es un trabajo de investigación original y crítico, de actualidad y de alto valor científico;

En uso de las atribuciones conferidas a la Dirección en el inciso "J" del artículo 17° del Reglamento General de la Escuela de Posgrado, y el Art. 76 del Estatuto Universitario;

SE RESUELVE:

ARTÍCULO PRIMERO. - DECLARAR EXPEDITO para la Sustentación de la Tesis titulada: **INFLUENCIA DE LA APLICACIÓN DEL GEOTEXTIL TEJIDO EN EL MÓDULO DE RESILIENCIA DE LA SUB RASANTE PARA PAVIMENTOS FLEXIBLES DE LA CIUDAD DE JULIACA 2023** Elaborado por el (la) Bachiller **QUISPE FLORES JESUS ALBERT**. Integrado por los siguientes docentes:

Presidente del Jurado	:	Dr. LEONEL SUASACA PELINCO
Miembro del Jurado	:	Dr. EFRAIN PARILLO SOSA
Miembro del Jurado	:	Dr. ARNALDO YANA TORRES
Asesor de Tesis	:	Mgr. FRANZ JOSEPH BARAHONA PERALES

ARTÍCULO SEGUNDO. - El proceso de la Sustentación de la Tesis en mención, se llevará a cabo:

Fecha	:	Martes 27 de agosto del 2024
Hora	:	11:00 a.m.
Lugar	:	Aula N° 310 EPG - UANCV - JULIACA

A cuya finalización el Jurado registrará los resultados en el Libro de Actas de Sustentación de Tesis de Maestría con el grado **MAESTRO** de los estudiantes que ingresaron después a la aprobación de la ley Universitaria N° 30220.

ARTÍCULO TERCERO. - Elévese la presente Resolución al Rectorado, Vicerrectorado Académico, Vicerrectorado Administrativo y Oficina del Órgano de Inspección y Control para conocimiento.

Regístrese, comuníquese y Archívese.



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
ESCUELA DE POSGRADO

Dr. Leopoldo Wenceslao Condori Cari
DIRECTOR (a)

C: /Archv.EPG (01)
Interesado (01)
Cargo (01)
Jurados (02)
Asesor (01)
Expediente (01)
LWCC/Inv



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ" ESCUELA DE POSGRADO



RESOLUCION DIRECTORAL N° 569-2023-USA-EPG/UANCV

Juliaca, 20 de Julio del 2023.

VISTOS:

El expediente N° 2023 - 06170, de fecha 12 de Julio de 2023, presentado por el (la) Bach. **JESUS ALBERT QUISPE FLORES** con DNI N° **45228881**, código de matrícula **1710100429**, quien solicita resolución de aprobación de proyecto de tesis titulado **INFLUENCIA DE LA APLICACIÓN DEL GEOTEXTIL TEJIDO EN EL MÓDULO DE RESILIENCIA DE LA SUB RASANTE PARA PAVIMENTOS FLEXIBLES DE LA CIUDAD DE JULIACA 2023** para optar el grado académico de **MAESTRO** la Escuela de Posgrado de la Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez de la Sede Central Juliaca.

CONSIDERANDO:

Que, en el Reglamento General de la Escuela de Posgrado de la UANCV, establece que la sustentación de tesis de Posgrado es un trabajo de investigación original y crítico de actualidad de alto valor científico.

Que, según Resolución N° 0555-2019-UANCV-CU-R, de fecha 08 de noviembre del 2019, se aprueba el Reglamento para la obtención del grado académico de Magister, Maestro, Doctor y Titulación de los Programas de Segunda Especialidad Profesional de la Escuela de Posgrado.

Que, el **Art. 17**, establece que la aprobación del proyecto de investigación de tesis para la obtención de grados académicos de Magister, Maestro, Doctor se inicia con la presentación del proyecto de investigación de tesis según corresponda, en forma individual y conforme a las recomendaciones de la Escuela de Posgrado y estándares de la investigación científica, tecnológica y humanística.

Que, en el **Art.60**, señala que la fecha límite para la presentación del borrador de tesis es de 02 años contados desde la emisión de la resolución de aprobación del proyecto de tesis, vencido el plazo máximo el candidato a Magister, Maestro o Doctor deberá presentar un nuevo proyecto de investigación de tesis.

Que, el **Art. 21**, establece que el Director de la Escuela de Posgrado y el Director de la Unidad de Investigación de la Escuela de Posgrado, nominarán por sorteo a 03 docentes miembros del comité de investigación.

Que, mediante oficio circular N° 327- 2023-USA-EPG/UANCV-J, de fecha 20 de Junio del 2023, se nombra al Comité de Investigación del proyecto de tesis conformado por los siguientes docentes:

Presidente	: Dr. LEONEL SUASACA PELINCO
Primer Miembro	: Dr. EFRAIN PARILLO SOSA
Segundo Miembro	: Mgtr. ARNALDO YANA TORRES
Asesor	: Mgtr. FRANZ JOSEPH BARAHONA PERALES

Que, con registro N° 003538, de fecha 20 de junio del 2023, el Comité de Investigación del proyecto de tesis titulado: **INFLUENCIA DE LA APLICACIÓN DEL GEOTEXTIL TEJIDO EN EL MÓDULO DE RESILIENCIA DE LA SUB RASANTE PARA PAVIMENTOS FLEXIBLES DE LA CIUDAD DE JULIACA 2023** presentado por el (la) Bach. **JESUS ALBERT QUISPE FLORES** cumple con los lineamientos y contenidos establecidos en reglamento de grado de investigación conducentes al grado académico de Magister/Maestro y Doctor de la Escuela de Posgrado de la UANCV.

En uso de las atribuciones conferidas a la Dirección en el inciso "j" del artículo 17 del Reglamento General de la Escuela de Posgrado y en el artículo 76 del Estatuto Universitario;

SE RESUELVE:

PRIMERO: APROBAR, el Proyecto de investigación de Tesis de maestría y **AUTORIZAR** el desarrollo de la Tesis, titulado: **INFLUENCIA DE LA APLICACIÓN DEL GEOTEXTIL TEJIDO EN EL MÓDULO DE RESILIENCIA DE LA SUB RASANTE PARA PAVIMENTOS FLEXIBLES DE LA CIUDAD DE JULIACA 2023** presentado por el (la) Bach. **JESUS ALBERT QUISPE FLORES** para obtener el grado académico de **MAESTRO** en: **INGENIERIA CIVIL** de la UANCV.

SEGUNDO: ELEVAR al Reclorado, Vicerrectorado Académico, Vicerrectorado Administrativo, Vicerrectorado de Investigación, Oficina del Órgano de Inspección y Control para conocimiento y cumplimiento de la presente resolución.

Regístrese, Comuníquese y Archívese.



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
ESCUELA DE POSGRADO
Dr. Leopoldo Wamberto Coronel Cari
DIRECTOR (e)

c.c/CARGO (01)
ARCHIVO EPG-2023 (01)
INTERESADO (01)
LWCC/VCH



INFLUENCIA DE LA APLICACIÓN DEL GEOTEXTIL EN EL SISTEMA DE RESILIENCIA DE LA SUB RASANTE PARA PAVIMENTOS FLEXIBLES DE LA CIUDAD DE JULIACA 2023

INFORME DE ORIGINALIDAD

20%

INDICE DE SIMILITUD

10%

FUENTES DE INTERNET

1%

PUBLICACIONES

17%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	Submitted to Universidad Andina Nestor Caceres Velasquez Trabajo del estudiante	15%
---	--	-----

2	hdl.handle.net Fuente de Internet	2%
---	--------------------------------------	----

3	repositorio.uancv.edu.pe Fuente de Internet	1%
---	--	----

4	Submitted to Universidad Tecnológica de Bolívar,UTB Trabajo del estudiante	<1%
---	---	-----

5	repositorio.unheval.edu.pe Fuente de Internet	<1%
---	--	-----

6	Submitted to Universidad Cesar Vallejo Trabajo del estudiante	<1%
---	--	-----

7	repositorio.unsaac.edu.pe Fuente de Internet	<1%
---	---	-----

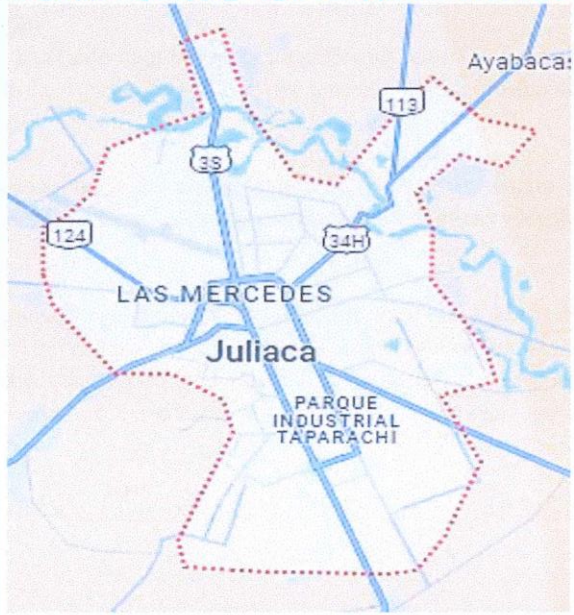
vsip info



Metadatos complementarios - UANCV

TITULO	
INFLUENCIA DE LA APLICACIÓN DEL GEOTEXTIL EN EL MÓDULO DE RESILIENCIA DE LA SUB RASANTE PARA PAVIMENTOS FLEXIBLES DE LA CIUDAD DE JULIACA 2023	
Datos de autor	
Nombres y Apellidos	JESUS ALBERT QUISPE FLORES
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	45228881
URL de ORCID	https://orcid.org/0009-0008-9677-1833
Datos de asesor	
Nombres y apellidos	FRANZ JOSEPH BARAHONA PERALES
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	02442876
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0001-8509-7224
Datos del jurado	
Presidente del jurado	
Nombres Y Apellidos	LEONEL SUASACA PELINCO
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	40865558
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0001-6657-665X
Miembro del jurado 1	
Nombres Y Apellidos	EFRAIN PARILLO SOSA
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	02416058
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0001-7567-039X



Miembro del jurado 2	
Nombres Y Apellidos	ARNALDO YANA TORRES
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	41414676
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0002-6740-5024
Datos de investigación	
Línea de investigación	TECNOLOGIA DE LA CONSTRUCCIÓN - P50
Grupo de investigación	No aplica.
Agencia de financiamiento	Sin financiamiento.
Ubicación geográfica de la investigación	<p>Dirección: Ciudad De Juliaca País: Perú Departamento: Puno Provincia: San Román Distrito: Juliaca -15.49157, -70.13171 https://maps.app.goo.gl/KSYqxNNML9XTsX6F8</p> 
Año o rango de años en que se realizó la investigación	2023 - 2024
URL de disciplinas OCDE - Librería	Ingeniería civil https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.00 Ingeniería de la construcción https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.03





DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD Y RESPONSABILIDAD

Yo JESUS ALBERT QUISEP FLORES, identificado con DNI Nro. 45228881 en mi condición de egresado de:

- Escuela Profesional
- Programa de Segunda Especialidad,
- Programa de Maestría o Doctorado

Maestría en INGENIERIA CIVIL, Mención: GEOTECNIA Y TRANSPORTES

informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación, Trabajo Académico denominada:

" INFLUENCIA DE LA APLICACIÓN DEL GEOTEXTIL TEJIDO EN EL MÓDULO DE RESILIENCIA DE LA SUB RASANTE PARA PAVIMENTOS FLEXIBLES DE LA CIUDAD DE JULIACA 2023 "

Asesorado por: Mgtr. FRANZ JOSEPH BARAHONA PERALES

Es un tema original.

Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y **no existe plagio/copia** de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, de investigación o similares, en el país o en el extranjero.


Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como tuyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.

Asimismo, ratifico que soy plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las connotaciones éticas y legales involucradas.

El incumplimiento de lo declarado da lugar a responsabilidad del declarante, en consecuencia; a través del presente documento asumo frente a terceros, la Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez y/o la Administración Pública toda responsabilidad que pueda derivarse por el trabajo final presentado. Lo señalado incluye responsabilidad pecuniaria incluido el pago de multas u otros por los daños y perjuicios que se ocasionen.

Juliaca 03 de Octubre del 2024


FIRMA (ASESOR)


FIRMA (obligatoria)



Huella



ÍNDICE

	Pag.
ÍNDICE DE TABLAS	iv
ÍNDICE DE FIGURAS	vi
RESUMEN	ix
ABSTRACT	xi
INTRODUCCIÓN	xii
CAPITULO I	14
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	14
1.1. Análisis de la situación problemática.....	14
1.2. Formulación del planteamiento del problema.....	15
1.2.1 Problema General:	16
1.2.2 Problemas Específicos.....	16
1.3. Objetivos de la investigación.....	16
1.3.1 Objetivos General.....	16
1.3.2 Objetivos Específicos	16
1.4. Justificación de la investigación	17
1.4.1 Justificación técnica	17
1.4.2 Justificación económica	18
1.4.3 Justificación social.....	18
1.4.4 Justificación ambiental	18
1.5. Limitaciones de la investigación	19
1.6. Hipótesis	19
1.6.1 Hipótesis general	19
1.6.2 Hipótesis específicas.....	19
1.7. Variables	20
1.7.1 Descripción del término variantes conceptualmente	20



1.7.2	Descripción operacionalización de variantes	21
CAPÍTULO II		22
MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL.....		22
2.1.	Antecedentes	22
2.1.1	Antecedentes internacionales	22
2.1.2	Antecedentes Nacionales.....	25
2.1.3	Antecedentes Locales	27
2.2.	Marco teórico	27
2.2.1	Apoyo de subrasante con Geotextil	27
2.2.2	Modelo resiliente del suelo de compactación.....	37
2.2.3	Cualidades mecánicas del suelo de compactación.....	59
2.2.4	Características físico mecánicas de la base de la optimización de la subrasante.....	65
2.3.	Marco conceptual.....	70
CAPÍTULO III		73
METODOLOGIA DE INVESTIGACIÓN.....		73
3.1.	Enfoque de investigación	73
3.2.	Nivel de investigación.....	73
3.3.	Modelo de investigación.....	73
3.4.	Descripción del ámbito de la investigación.....	74
3.5.	Población y muestra de la investigación	74
3.6.	Métodos e instrumento para la recolección de datos	75
3.7.	Validez y confiabilidad del instrumento	75
3.7.1	Validez del instrumento	75
3.7.2	Confiabilidad del instrumento	76
3.8.	Modelo de la Distinción de la hipótesis	77
CAPÍTULO IV.....		78
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....		78



4.1.	Demostración de resultados, discusión y conclusiones	78
4.1.1	Metodología de trabajo en campo	78
4.1.2	Metodología de trabajo en laboratorio	100
4.2.	Contrastación de la hipótesis	116
4.3.	Discusión.....	127
	CONCLUSIONES.....	130
	RECOMENDACIONES	132
	BIBLIOGRAFÍA	134
	ANEXOS	138
	ANEXO 1. MATRIZ DE CONSISTENCIA.....	138
	ANEXO 2. PANEL FOTOGRÁFICO	138
	ANEXO 3. RESULTADOS DE LOS ENSAYOS	138



ÍNDICE DE TABLAS

	Pag.
Tabla 1 Operacionalización de variantes	21
Tabla 2 Beneficios y contras de la viga Benkelman	43
Tabla 3 Estándares para la evaluación inversa	47
Tabla 4 Locación y elaboración de las dos subestructuras de análisis.....	75
Tabla 5 Datos obtenidos de densidad in situ vs MTC 2014	86
Tabla 6 Deflexiones corregidas por un factor de ajuste 0.33 según AASTHO.....	90
Tabla 7 Resumen de modelos resilientes logrados por retrocalculo	99
Tabla 8 Elemento necesario para los ensayos	102
Tabla 9 Cuadro para el procesamiento de la granulométrico.....	104
Tabla 10 Resultado del límite liquido	106
Tabla 11 Resultado del ensayo del límite plástico	107
Tabla 12 Datos obtenidos del índice de plasticidad en laboratorio vs MTC 2014	107
Tabla 13 Producto de la prueba de abrasión los Ángeles en laboratorio vs MTC_2014.....	112
Tabla 14 Resultados del ensayo de proctor modificado	114
Tabla 15 Resultados del ensayo de cbr en laboratorio vs MTC_2014.....	115
Tabla 16 Prueba estadística de la t- student.....	117
Tabla 17 Resultados de Modelo resilientes sin geotextil y una capa de 0.30 de material de relleno.....	120
Tabla 18 Datos obtenidos de Modelo resilientes con geotextil y capa de 0.30 de material de relleno.....	122
Tabla 19 Datos obtenidos de CBR del suelo natural	125



Tabla 20 Cualidades físicas y mecánicas del elemento para rellenar de la cantera	127
Tabla 21 Resultados de la tesis de Hueto y Montoya	128
Tabla 22 Resultados de la tesis de Raymundo	128
Tabla 23 Datos obtenidos de Noboa de la alteración	129



ÍNDICE DE FIGURAS

	Pag.
Figura 1 Vista con un microscopio de ciertas clases de geotextiles Tejidos	29
Figura 2 Vista con un microscopio de ciertos geotextiles No Tejidos	29
Figura 3 Tramo transversal de un sistema del pavimento con y sin geotextil	30
Figura 4 Base reforzada con Geotextil	31
Figura 5 Descripciones técnicas del geotextil tejido	33
Figura 6 Descripciones de forma internacional del geotextil Pavco TR 4000	34
Figura 7 Disposición del campo	35
Figura 8 Situado del geotextil	36
Figura 9 Clases de costuras	36
Figura 10 Situado del elemento	37
Figura 11 Consolidación del elemento	37
Figura 12 Desenvolvimiento Elasto-plástico, un ciclo carga-descarga	39
Figura 13 Desenvolvimiento Elasto-plástico, varios ciclos carga-descarga	40
Figura 14 Equipo triaxial cíclico	40
Figura 15 Disposición espacial del modelo de carga durante las pruebas	45
Figura 16 Organización del desarrollo de dimensionamiento con la viga Benkelman	46
Figura 17 Pruebas para la identificación del modelo de la elasticidad	50
Figura 18 Modelo de dos capas	51
Figura 19 Difusión Del Esfuerzo Vertical δz	52
Figura 20 Coeficiente de influencia del esfuerzo vertical = $\delta z / P$	54
Figura 21 Factor de F2	55
Figura 22 Transformación de un modelo de dos niveles a uno equivalente	56



Figura 23 Conversión de llanta de dos ejes a uno..... 57

Figura 24 Pantalla principal de programa Kenpave..... 59

Figura 25 Muestra con un molde condensado y saturado con un baño de agua 62

Figura 26 Limpieza y corte del terreno donde se realizó el experimento..... 80

Figura 27 Dimensiones de las subestructuras..... 82

Figura 28 Agrupación de la subestructura sin geotextil 83

Figura 29 Elaboración del sistema con geotextil 83

Figura 30 Elaboración de los sistemas con elemento de la cantera..... 84

Figura 31 Nivelación del elemento de elaboración hasta una altura de 30 centímetros..... 84

Figura 32 Riego en el sistema con cisterna..... 85

Figura 33 Compactación de las subestructuras..... 85

Figura 34 Ensayo de densidad de campo en las subestructuras 86

Figura 35 Instrumento viga Benkelman para dimensionar las deflexiones en las subestructuras..... 87

Figura 36 Marcado con yeso donde se va a realizar las deflexiones 88

Figura 37 Dimensionamiento de deflexiones con viga Benkelman..... 89

Figura 38 Modelo del esquema bicapa..... 90

Figura 39 Transformar un esquema doble a un esquema simple..... 91

Figura 40 Procedimiento de análisis de deflexiones en kenlayer 95

Figura 41 Programa para calcular las deflexiones..... 95

Figura 42 Ingreso de numero de capas..... 96

Figura 43 Ingreso de las alturas de las capas 96

Figura 44 Ingreso del modelo de resiliente de las capas..... 97

Figura 45 Ingreso de cargas..... 97

Figura 46 Resultados procesados por el programa kenlayer 98



Figura 47 Vista de la cantera Taparachi.....	101
Figura 48 Obtención de la muestra para caracterizar la subrasante	101
Figura 49 Curva granulométrica de la catera taparachi.....	104
Figura 50 Grafico de organización de suelos SUCS	109
Figura 51 Organización de suelos SUCS Cantera Taparachi.....	110
Figura 52 Organización de suelos AASTHO	111
Figura 53 Proctor modificado de la cantera Taparachi	114
Figura 54 Gráfica de distribución T Student $T_t=1.761$ $T_{cal}=-3.26$	118
Figura 55 Gráfica de distribución T Student $T_t=1.762$ $T_{cal}=-2.02$	121
Figura 56 Gráfica de distribución T Student $T_t=1.761$ $T_{cal}=-3.62$	123
Figura 57 Gráfica de distribución T Student $T_t=-1.761$ $T_{cal}=-3.93$	126



RESUMEN

Esta tesis examinó cómo el modelo resiliente de suelos de poca resistencia portante para pavimentos flexibles se vio afectado por el uso de geotextil entrelazados de tejidos para refuerzo de subrasante, particularmente en la ciudad de Juliaca. Los materiales utilizados fueron elementos de relleno de Taparachi cantera y geotextil tejido TR 4000. Además, se realizaron pruebas tanto en laboratorio como al aire libre. El enfoque se basó en técnicas cuasiexperimentales integrales. El Manual de Carreteras del MTC (2014) establece que la escasa disponibilidad de peso del suelo de cimentación (menos del 6% de CBR) lo hace inadecuado para la capa de subrasante. Sobre esta base de tierra subyacente se construyeron dos construcciones más. Las subestructuras tenían diez metros de largo, cinco metros de ancho y treinta metros de alto. En la construcción de estos edificios se utilizó tierra natural de la cantera de Taparachi, material y geo textil mejorado. Con la excepción de la ausencia de geotextil, la segunda subestructura era idéntica a la primera.

Todas las pruebas realizadas al material extraído de la cantera de Taparachi se apegaron a las Especificaciones Técnicas Generales de Construcción del año 2013. Para determinar las deformaciones máximas de las subestructuras en diferentes lugares se utilizó el ensayo de vigas de Benkelman. Luego, los datos se evaluaron utilizando el diseño busmiter de dos niveles y el software Kenpave. Los resultados demostrados de la prueba mostraron que el modo de resiliencia era 43,53 Mpa de la subrasante en ausencia de geotextil. Pero la adición de geotextil tejido resultó en un aumento de 62,51 Mpa. Más específicamente, esta versión demuestra bastante bien la acción del geotextil tejido, lo que resulta en un aumento



apreciable de 18,99 Mpa. Como resultado, el geotextil de tela mejora el modelo de resistencia de bases con poca capacidad de carga en un 43 por ciento.

Palabras claves: Resiliencia, Geotextil tejido, capacidad de aguante, retroanálisis, California Bearing Ratio.



ABSTRACT

The purpose of this project was to investigate, with a focus on the city of Juliaca, the impact of utilizing woven geotextile as subgrade reinforcement on the resilience modulus of soils with limited bearing capacity for flexible pavements. Weaved geotextile TR 4000 and filler material from the Taparachi quarry made up the materials employed. In addition, the field and laboratory testing were finished well. A field approach using quasi-experimental approaches was used on a larger scale. As to the Manual de Carreteras MTC (2014), the subgrade layer deems the foundation soil unacceptable due to its insufficient bearing ability of less than 6% CBR. Within the foundation soil, two substructures were constructed. Regarding the substructures, they measured ten meters in length, five meters in breadth, and thirty meters in height. These constructions were made of native soil, geotextile, and a layer of improved material from the Taparachi quarry. Everything about the second substructure was the same, but for the lack of geotextile. In the past, the Taparachi quarry material was tested to ensure it met the 2013 General Technical Specifications for Construction. The maximum deformations at several substructure sites were measured using the Benkelman beam test. The kenpave program and the two-layer busmiter model were used to further evaluate the results. According to the research, the subgrade's robust modulus was 43.53 Mpa in the absence of any geotextile and rose to 62.51 Mpa in the presence of woven geotextile. More specifically, this variation demonstrates the impact of the woven geotextile, resulting in an 18.99 Mpa increase. Consequently, when the geotextile is woven, the resilience modulus of soils with restricted bearing capacity increases by 43%.

Keywords: Woven geotextile, resilience, bearing capacity, retroanalysis, CBR (California Bearing Ratio).



INTRODUCCIÓN

El uso de geotextiles tejidos en suelos con capacidad de carga limitada y su impacto en el comportamiento del modelo de resistencia son los temas particulares de esta investigación. En la ingeniería civil, los geotextiles tejidos se utilizan a menudo, principalmente en proyectos de construcción de carreteras. Los objetivos principales de estos geotextiles son fortalecer y aumentar la estabilidad de suelos con capacidades de carga limitadas. Si el (CBR) de un suelo es inferior al 6%, se considera que tiene una capacidad de carga insuficiente.

Hoy en día, para prevenir el colapso del pavimento y asegurar que tenga la vida útil prevista, son esenciales consideraciones como la estructura de la subrasante y la insuficiente disponibilidad de carga de la base de cimentación. Mejorar la subrasante para aumentar su resistencia o rigidez es el principal objetivo académico de esta tarea, ya que facilitará la ejecución del siguiente nivel de pavimento.

El aumento observado en el valor del modelo de resistencia es indicativo de la acción del geotextil. Estos elementos han llevado a un aumento del modelo resistivo, lo cual es un resultado deseable. El geotextil no sólo actúa como elemento estructural, sino que también impide el movimiento de los elementos del suelo, lo que nos deja dispersar las tensiones provocadas por la carga de los vehículos en una mayor superficie.

El modelo de resistencia, que representa el grado de rigidez de un material bajo tensiones de rotación, es un elemento primordial en el desarrollo de pavimentos flexibles.

El presente trabajo aborda cinco capítulos:



Este primero cubre los siguientes temas: selección de temas, descripción del tema, metas del proyecto, motivo del estudio, limitaciones del proyecto, hipótesis y variantes. Las partes siguientes de la tesis entrarán en una discusión detallada de cada uno de estos componentes individualmente. El capítulo número 1 se titula "Declaración del problema".

El capítulo número 2, "Marco teórico", proporciona un análisis exhaustivo del contexto histórico del tema, además de proporcionar fundamentos teóricos y definiciones precisas de términos clave. El autor también proporciona una bibliografía completa con temas pertinentes al objetivo del estudio.

La tercera parte del artículo profundiza en muchas facetas de la investigación. Sus elementos principales incluyen los siguientes: el propósito del estudio, la naturaleza de la investigación, el entorno, la población y la muestra, los instrumentos y métodos utilizados para recopilar la información, la veracidad y confiabilidad de los instrumentos, el enfoque y la manera en que se adquieren la información es recogido y manipulado.

La presentación de los hallazgos, análisis, conclusiones y sugerencias se tratan en el cuarto capítulo.

Junto con observaciones adicionales de experimentos realizados en el laboratorio y en el campo, este capítulo incluye los hallazgos de la investigación que se detallan en la bibliografía de esta tesis. Este capítulo finaliza con un resumen sucinto de los objetivos del estudio, recomendaciones para realizar más investigaciones y conclusiones extraídas de los datos.



CAPITULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Análisis de la situación problemática

En la "ciudad de los vientos" Juliaca se está construyendo infraestructura vial urbana. Se encontró que algunos de los suelos excavados para la construcción del pavimento tenían un (CBR) inapropiado de menos del 6%. La capa de subrasante, que soporta el peso de toda la capa de construcción del pavimento, no puede ser soportada por ciertas clases de suelo, según el MTC (2014). La subrasante no podría soportar las presiones provocadas por el tráfico si se utilizaran estos suelos, ya que el producto final tendría un modelo de resiliencia muy bajo. Como resultado, el pavimento se deterioraría y no cumpliría su vida útil prevista. La documentación técnica de información y subdirección de proyectos del Municipio de San Román - Juliaca identifica suelos blandos que necesitan reemplazo completo con materiales superiores que cumplan con estrictos estándares de calidad para estabilizar el suelo. Se requieren materiales de las categorías A-1-a, A-1-b, A-2-4, A-2-6 y A-3. Los materiales deben cumplir una serie de especificaciones precisas para ser aceptados. Los materiales también deberán tener un índice de desgaste abrasivo que no supere el sesenta por ciento del material, una dimensión máxima de 7,5 centímetros y un IP < 10.



Para los ángeles, se permite un máximo del sesenta por ciento de desgaste abrasivo. Las principales instrucciones técnicas para la ejecución, que se publicaron en enero de 2013, incluyen estas características. Por lo que para instalar estos materiales se deben realizar de uno a dos metros de excavación para preparar el terreno para el pavimento. Las importantes excavaciones han impedido la construcción y han alterado las redes de alcantarillado y agua, que se encuentran a unos 80 centímetros abajo del nivel natural de la base. Esto complica el procedimiento de construcción. Un nivel adicional de complejidad al tema es el hecho de que, en muchas partes de nuestra región metropolitana, el nivel freático está bastante próxima al suelo. Como resultado, estos problemas provocan retrasos en los proyectos de construcción en curso.

Debido a que la estabilización del suelo mediante el reemplazo requiere más horas de trabajo tanto del equipo como del recurso humano, el costo de esta operación aumenta en consecuencia. Además, se extrae una cantidad importante de recursos de la cantera ya que toda la tierra extraída se utiliza para construir los cimientos del pavimento. El MTC da fe de que los geosintéticos pueden aumentar la estabilidad de este tipo de base. A la luz de los resultados dados en la investigación, también se sugiere el uso de geotextil de tela Clase I, un material de costura polimérico plano y poroso que entra en choque directo con el suelo. Como afirma Pavco (2009), el geotextil mejora el CBR al actuar como componente estructural. Esto conducirá a un aumento en el modelo de resistencia del suelo, lo que permitirá una profundidad de corte más corta. Esta estrategia es más eficiente económicamente que la estabilidad sustitutiva para resolver las dificultades relacionadas con la conexión de agua y la rotura del nivel freático.

1.2. Formulación del planteamiento del problema



1.2.1 Problema General:

¿Qué impacto tiene el uso de geotextil tejido en el modelo resiliente de suelos de subrasante con capacidad portante limitada en pavimentos flexibles en Juliaca?

1.2.2 Problemas Específicos

¿Cuándo la base con una capacidad portante limitada se han incrementado mediante la adición de una capa de subrasante de 30 centímetros de espesor, ¿cuál es el modelo resiliente de estos suelos?

¿En qué medida la aplicación de geotextil tejido y de una capa de subrasante de 30 centímetros de espesor produce un aumento del modelo resiliente de los suelos con capacidad portante limitada?

¿En qué medida el suelo que servirá de cimentación tiene potencial para soportar el peso del coeficiente de capacidad portante de California (CBR)?

¿Dónde puedo obtener información sobre las propiedades físicas y mecánicas exactas del suelo que se utilizó para remediar la subrasante?

1.3. Objetivos de la investigación

1.3.1 Objetivos General

En el contexto de la construcción de pavimentos flexibles en la ciudad de los vientos, el propósito de este estudio es investigar la influencia que tiene el uso de geotextil tejido como apoyo de la subrasante sobre el modelo resiliente de suelos de poca disponibilidad portante.

1.3.2 Objetivos Específicos



Realizar los cálculos relevantes para determinar el modelo resiliente de suelos de baja capacidad portante reforzados con una capa de subrasante de 30 centímetros de espesor.

Para calcular el modelo resiliente de suelos débiles con pobre capacidad portante que han sido reforzados mediante la inclusión de un geotextil tejido y una capa de subrasante de 30 cm de espesor, es indispensable realizar los cómputos requeridos.

El coeficiente de capacidad portante de California (CBR) es un cálculo importante que debe realizarse para hallar la disponibilidad portante de la base que se encuentra debajo de la cimentación.

Para hallar si el suelo es adecuado o no para la mejora de la subrasante, es esencial realizar una evaluación de las cualidades en lo mecánico y físico concerniente al suelo.

1.4. Justificación de la investigación

1.4.1 Justificación técnica

En nuestro entorno actual, los geotextiles rara vez se utilizan para soportar suelos blandos en las carreteras. Esto puede atribuirse a consideraciones financieras, falta de conocimientos técnicos y una comprensión limitada de los beneficios y características de los geotextiles. Sin embargo, la mayoría de las investigaciones utilizan programas y ensayos de laboratorio y, a menudo, se basan en antecedentes. Se recomienda realizar investigaciones de campo en el mundo real para respaldar los beneficios de los geotextiles. La finalidad de este proyecto es usar material geotextil tejido para aumentar la estabilidad de suelos pobres. Debido a que el geotextil sirve



como sistema de la estructura y aumenta la capacidad de carga de la base conforme con sus criterios técnicos, este método tiene varios beneficios.

1.4.2 Justificación económica

Juliaca como ciudad excava a grandes metros por debajo y saca todo el elemento removido para solucionar la problemática de la mala disponibilidad de peso del suelo. Posteriormente, en vez de eso se utilizan elementos de más óptima calidad procedente de canteras. Por otro lado, este procedimiento es más caro y requiere más tiempo. Como resultado, el uso de geotextiles en lugar de procedimientos de estabilización más costosos puede ser una opción más asequible para estabilizar suelos blandos en la capa de subrasante, ya que se puede implementar más rápida y fácilmente.

1.4.3 Justificación social

Al evitar la necesidad de excavaciones profundas, los geotextiles ayudan a minimizar cualquier efecto potencial en los sitios de construcción cercanos y previenen la interrupción de las conexiones de agua y alcantarillado. Esta estrategia logra disminuir el sufrimiento y el malestar general de la sociedad. Los pavimentos pueden extender su vida útil prevista evitando la rotura temprana y manteniendo la integridad estructural mediante la aplicación de geotextiles. Esto también beneficiaría a las empresas de transporte al reducir la probabilidad de daños a los vehículos provocados por la carretera.

1.4.4 Justificación ambiental

Al eliminar la necesidad de realizar cortes profundos, el uso de geotextiles reduciría la cantidad de material de relleno necesario. Como resultado, sería necesario extraer mucha menos roca y relleno para construir pavimentos. Esto es



particularmente crucial ya que las técnicas tradicionales de extracción basadas en voladuras dañan el ecosistema.

1.5. Limitaciones de la investigación

Mediante el uso de un geotextil de tela como ayuda a la fuerza, se pretende aumentar la disponibilidad portante de la base que no es especialmente resistente.

1.6. Hipótesis

1.6.1 Hipótesis general

En Juliaca, el modelo de resiliencia de los suelos que tienen una capacidad portante restringida para pavimentos flexibles se mejora en un factor de 1,8 mediante el uso de geotextil de tela tejido como apoyo a la subrasante. Es posible que el uso de geotextil tejido en la subrasante sea responsable de esta mejora. Es posible que el uso de geotextil tejido sea responsable de esta mejora.

1.6.2 Hipótesis específicas

Después de ser mejorado con una capa de subrasante que fue medida a 30 centímetros, el modelo resistente de los suelos que tenían una pobre capacidad portante podría oscilar entre 49.34 y 61.20 Mpa.

Con la incorporación de geotextil de tela y un nivel de subrasante de 30 centímetros de espesor, se ha demostrado que el modelo de resiliencia de los suelos que tienen una disponibilidad portante limitada puede variar entre 71,88 y 86,41 Mpa.

Como resultado, el suelo bajo la cimentación no cumple los criterios de calidad especificados en el Manual de Carreteras del MTC de 2014. El suelo de cimentación tiene un (CBR) < 6%, lo que indica que no cumple los criterios de calidad.

La capa de cimentación mejorada debe tener ciertas características físicas y mecánicas, como la distribución granulométrica, los límites de uniformidad, la



gradación y la resistencia a la abrasión. Estas características deben cumplir los criterios técnicos de calidad descritos en la EG-2013.

1.7. Variables

1.7.1 Descripción del término variantes conceptualmente

1.7.1.1 Variable independiente

❖ Refuerzo de subrasante con geotextil

Descripción: existencia o no existencia de tejido geotextil tipo I para reforzar la base de la subrasante.

1.7.1.2 Variable dependiente

❖ Modelo de resiliencia

Descripción: El modelo de resiliencia define la disponibilidad de los suelos para resistir tensiones en función de su comportamiento no lineal. Tiene en cuenta la alteración recuperable del suelo cuando se aplica una tensión.

1.7.1.3 Factor interviniente

❖ Suelo de cimentación

Descripción: Es la base natural con poca disponibilidad de soporte.

❖ Suelo de optimización de la subrasante

Descripción: material de préstamo con atributos de estándar de acuerdo con criterios generales de construcción (EG 2003).



1.7.2 Descripción operacionalización de variantes

Tabla 1

Operacionalización de variantes

Variantes	Dimensiones	Indicadores	Indice
Independiente			
1 Apoyo de subrasante con geotextil	1.1 Apoyo de subrasante con geotextil	1.1.1 Clase de geotextil	Existencia e inexistencia del Geotextil
		2.1.1 Modelo de Resiliencia	Mpa
Dependiente			
2 Modelo de Resiliencia	2.Modulo resiliencia	3.1.1.1 CBR	% de la capacidad de soporte
Intervinientes			
3.1 Suelo de fundación	3.1.1 Cualidades mecánicas del suelo de fundación	3.2.1.1 Granulometría	% Retención
		3.2.1.2 Contenido de Humedad	% Humedad
		3.2.1.3 Límite Liquido	% Porcentual
		3.2.1.4 La plasticidad	% Porcentual
		3.2.1.5 Abrasión de los ángeles	% de desgaste
3.2 Suelo de optimización de subrasante	3.2.1 Cualidades físico/mecánico del suelo de optimización de la subrasante	3.2.1.6 Compactación	% relación humedad y densidad
		3.2.1.7 Densidad de campo	% compactación
		3.2.1.8 CBR	% de la disponibilidad de soporte

Nota: Elaboración Propia



CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

2.1. Antecedentes

2.1.1 Antecedentes internacionales

En 2016, Hueto y Montoya realizaron un estudio. El propósito de la tesis, "Mejora del comportamiento mecánico en varios elementos de relleno a través de la incorporación de fibras geotextiles tejidas T2400 en su macroestructura", es examinar cómo las características mecánicas de varios elementos de relleno se ven afectadas cuando se incorporan fibras geotextiles tejidas T2400. La finalidad de este trabajo fue mejorar las cualidades en mecanismos de estos elementos para que opten ser utilizados como capas de relleno. El paso cualitativo incluyó la incorporación de muestras y datos para luego una evaluación e interpretación, según los protocolos determinados por el Instituto Colombiano de Normas Técnicas (ICONTEC). El enfoque tuvo dos etapas distintas: la fase cualitativa fue la primera. En la segunda etapa se realizaron pruebas de laboratorio cumpliendo con los lineamientos marcados por el INVIAS.

Se realizó una prueba supervisora individual a la muestra y adición de fibra geotextil, contando el total de doce pruebas supervisoras. Se realizaron doce pruebas CBR en total, ya que se realizó una prueba CBR para cada muestra y porcentaje. Los hallazgos podrían usarse para sacar conclusiones. Los valores de resistencia más



altos se observaron para todos los materiales bajo investigación cuando se agregó al CBR del 14% al 15% del volumen del geotextil tejido T-2400. Esto se aplica a todas las guías de estudio. Cuando no había geotextil en la grava, el CBR fue del 29,5%; sin embargo, cuando se sumó aumentó al 30,6%.

Para la arena, el CBR aumentó hasta el 23,1% utilizando geotextil, en lugar del 20,2% anterior. El CBR para la arcilla fue del 2,4% sin geotextil y aumentó al 4,0% con geotextil. Esto se traduce en un aumento del 4,8%, 14,55% y 48,5% en el CBR para grava, arena y arcilla, respectivamente.

Noboa (2016) En el proyecto nombrado "Evaluación de la resistencia de la subrasante mediante geomalla y refuerzo geotextil" se llebo a cabo con la finalidad de hallar cuánto esfuerzo podría soportar una subrasante compuesta por suelos de baja calidad. Este estudio se propuso determinar la eficacia del uso de geotextiles y geomallas como estructuras de refuerzo y comparar los resultados con otros escenarios. Se utilizó el método de prueba de compresión fundamental para evaluar la estructura del pavimento bajo cargas monótonas. Para las pruebas se utilizó geotextil. En el primer escenario estaba presente un ejemplar sin ningún refuerzo. A lo largo de toda la prueba se consiguió un peso límite de 235,47 kg y una flexión límite de 1,524 cm. Se observó una alteración límite de 2,032 milímetros en el segundo y tercer ejemplo, es decir, la muestra reforzada con geotextil y la muestra reforzada tanto con geotextil como con geomalla, con una carga equivalente a 355,76 y 352,70 kilos, respectivamente. Cuando se expuso a una carga máxima de 403,67 kg, el refuerzo de la geomalla mostró la mayor alteración, midiendo 2,032 milímetros. Considerando estos hallazgos, se puede concluir que la disponibilidad de carga o el refuerzo del sistema del pavimento no se ven apreciablemente mejorados por la proximidad de la geomalla a un geotextil. Esto se debe a que debería haber un



aumento más notable y notorio en la rigidez. En relación al proyecto en curso, se cree que la inclusión de la geomalla sobre el geotextil fue un costo extra que debería haberse eliminado.

En 2020, en la investigación titulada "Aplicación de geosintéticos en vías terciarias: caso de estudio Municipio de Carurú Departamento del Vaupés" (Mestre, 2020), se llevó a cabo debido a las falencias de las vías colombianas debido al mal uso del suelo, ingeniería deficiente, improvisación de proyectos, problemas no resueltos de erosión, es así que se ejecuta la investigación para saber el aporte estructural que presentan diversos tipos de geosintéticos, como la geomalla, geotextil y geoceldas, en el esfuerzo de las subrasantes con suelo arenoso-arcilloso de color habano claro a café claro, sin evidencias de nivel freático, donde se llegó a la siguiente conclusión de que la geomalla brinda gran aporte estructural a la subrasante por el confinamiento de material, no es suficiente para la resistencia a tracción y compresión que demanda el tránsito de diseño, a menos de que se aumente el espesor al mismo que se calculó en la estructura sin refuerzo. La incorporación de geotextil cumple principalmente con la función de separación, lo cual evita que materiales finos ingresen a la subrasante, sin embargo, las propiedades físicas y mecánicas del geotextil no permiten que se cumpla (según las solicitudes del diseño) la función de refuerzo, ya que los esfuerzos inducidos son mayores al aporte estructural hacia la subrasante, adicional a esto, se refleja un aumento considerable del espesor de subbase granular tipo C requerida (0.50), lo cual impacta en los costos de ejecución.

(Fiorini, 2027) La investigación denominada "Aplicación de geosintéticos en la construcción de carreteras", dicha investigación se realizó debido al crecimiento del transporte pesado y sus cargas que cada vez son mayores lo que constituye el deterioro de muchas carreteras, para lo cual el investigador plantea la intervención de



nuevas tecnologías que simplifiquen y garanticen la vida útil del pavimento, por lo cual el investigador concluye que un geosintético posibilita un notable aumento de la vida útil de un pavimento en un promedio de 20.0%, además posibilita la reducción de espesores entre 15.0% a 30.0% del paquete estructural del pavimento, reduciendo también movimiento de tierras, incrementando la capacidad portante a nivel de subrasante (incremento de CBR) entre 15.0% a 24.0%, aumentando los ejes equivalentes de diseño de una vía, reduciendo desplazamientos en la etapa de construcción, reduciendo asentamientos diferenciales, estos beneficios favorecen la reducción del tiempo de ejecución como el costo total del proyecto vial.

2.1.2 Antecedentes Nacionales

En 2007, Raymundo produjo un proyecto de Suficiencia que lleva por concepto "Aplicación de Geotextiles Tejidos en Pruebas de Control y evaluación de Carreteras Confirmadas" que se centró en las deformaciones y la mala capacidad de carga encontradas en suelos arcillosos limosos bajo efectos del tránsito. La finalidad era ejecutar una sección de prueba de una carretera verificada mientras se consideraba la adición de TR 4000, un geotextil tejido que proporcionaría estabilidad y resistencia. Como parte del proceso, se creó una subestructura en el sitio utilizando material de relleno, geotextil y suelo natural. El (CBR) de la base natural fue del 0,7%. Después de la formación que dio la subestructura, se desarrollo un ensayo de viga de Benkelman y los datos se examinaron utilizando el método de Hogg. La prueba arrojó la conclusión de que el CBR aumentaba a un valor mínimo del 1,8% cuando el geotextil se colocaba sobre suelo natural. Es obvio que esto ha aumentado.

La investigación "Optimización de subrasantes mediante Tx140 y Tx160 tipo geomallas multiaxiales, implementadas en una parte de la calle Alemania la Molina - Cajamarca en el año 2016" fue realizada por Arce (2016). El estudio se centró



principalmente en los desafíos asociados con las subrasantes hechas de suelos limo-arcillosos, que son suelos portantes de baja calidad. Se consideraron tres opciones para el diseño de pavimentos: utilizar el suelo tal como está, reemplazarlo con material extraído o aplicar técnicas para fortalecer las cualidades físico-mecánicas del suelo y aumentar su resistencia a las tensiones inducidas por el tráfico. El objetivo de nuestro estudio fue evaluar qué tan bien se podría mejorar la subrasante en una parte específica de la carretera Alemania - La Molina - Cajamarca mediante la utilización de geomallas multiaxiales TX140 y TX160.

Se pueden utilizar o no geomallas multiaxiales durante el proceso de desarrollo de la subrasante, que se lleva a cabo con la ayuda del software Spectra Pave. Los hallazgos muestran que el uso de geomallas multiaxiales TX140 y TX160 optimiza la subrasante de un segmento particular ubicada carretera que conecta Alemania, La Molina y Cajamarca en una media de 63%. El Dr. Steve Perkins dijo que la mejora está entre el 46% y el 92%.

En 2020, en la investigación que lleva como título "Incidencia de la geomalla biaxial en el módulo resiliente de la subrasante de diseño para pavimentos flexibles Puno 2020" (Cahuapaza, 2020), surge debido al deterioro de las vías y vida útil a muy corto plazo y por esta razón se busca una alternativa innovadora para optimizar las características mecánicas de la estructura del pavimento, para lo cual el investigador plantea la utilización de la geomalla biaxial en la subrasante y así de esa manera mejorar el comportamiento estructural del pavimento, del cual el investigador llegó a la siguiente conclusión de que la geomalla biaxial aporta mejoras en el módulo resiliente, mejorando el comportamiento de la subrasante en un 64.98%.



2.1.3 Antecedentes Locales

Edición Condori 2015. El tema para esta investigación se denomina "Mejoramiento de espesores de pavimentos mediante geosintéticos". Esta tesis analiza el problema de la degradación de la subrasante como resultado de su baja calidad y los desafíos asociados con el acceso restringido del área a materiales de construcción debido a la ubicación distante de las canteras. Las ideas mostradas reducen espesores sin sacrificar la resistencia estructural gracias al uso de geosintéticos, haciéndolos económicamente viables. Estas son sugerencias de diseños. Determinar las proporciones de la capa base y subbase de una carretera es el objetivo del empleo de geosintéticos.

Para realizar la prueba CBR se utilizaron geomallas biaxiales. En la fabricación de las muestras se utilizó la geomalla biaxial Mac Grid EGB 40, versión 2.1. Junto con los materiales de la subbase, la geomalla biaxial se situó en el molde CBR y se tanteó a varias alturas (0, 2,5, 5, 7,5 y 10 cm). Mi investigación me ha llevado a concluir que la altura afecta el funcionamiento de las geomallas. En particular, la geomalla funciona mucho mejor a una altura de 10 cm. Además, cabe mencionar que el (CBR) aumenta cuando la altura supera los 2,5 cm. Esto sugiere que el CBR aumentará gradualmente a cualquier altura superior a 2,5 cm. Debido a su proximidad a la superficie, la geomalla puede actuar como elemento principal para absorber y dispersar la energía utilizada.

2.2. Marco teórico

2.2.1 Apoyo de subrasante con Geotextil

Las características de tracción del geotextil están en línea con las propiedades mecánicas de la base. El objetivo de este método es manejar las tensiones que se distribuyen en el desarrollo de la ejecución y mantenimiento de los edificios.



Además de ser estructural y restrictivo, el geotextil ayuda a que las partículas del suelo dispersen las tensiones localmente concentradas y se distribuyan uniformemente. Estos procedimientos aumentan la consistencia y la disponibilidad de carga del edificio.

2.2.1.1 Geotextil

Para (Koerner, 2016), los geotextiles primarios tejidos se empleaban principalmente para construcción y el paisajismo para incrementar la fuerza y la estabilidad del suelo (página 25).

Existen tres clasificaciones para los geotextiles: de punto, tejidos y no tejidos. Los geotextiles son materiales sintéticos o biológicos que son planos y permeables a los materiales poliméricos. Estas estructuras se utilizan con objetivos geotécnicos concernientes a ingeniería civil, lo que se refiere a su interacción con diferentes sustancias, como el suelo (que comprende piedras y tierra). La cita está incluida en la página 2 del artículo de Pavco de 2009.

2.2.1.2 Organización del Geotextil

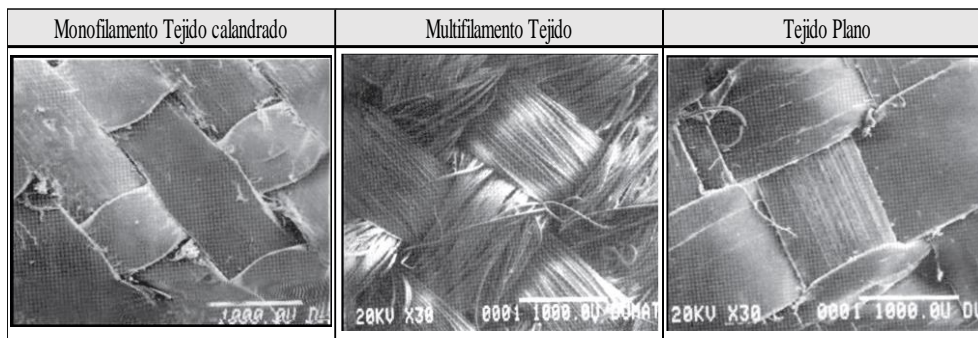
Se organizan según su modo de elaboración en muchos tipos.

a: Geotextiles tejidos

En (Pavco, 2009, página 2/5). Se entrelazan cintas en un telar para crear geotextiles. Para su confección se pueden utilizar tanto el método calado como el tejido. Las cintas de trama deben disponerse transversalmente y las cintas de urdimbre longitudinalmente para crear geotextiles calados.

Figura 1

Vista con un microscopio de ciertas clases de geotextiles Tejidos



Nota: (Pavco, 2009, p. 2/8)

b: Geotextiles No tejidos

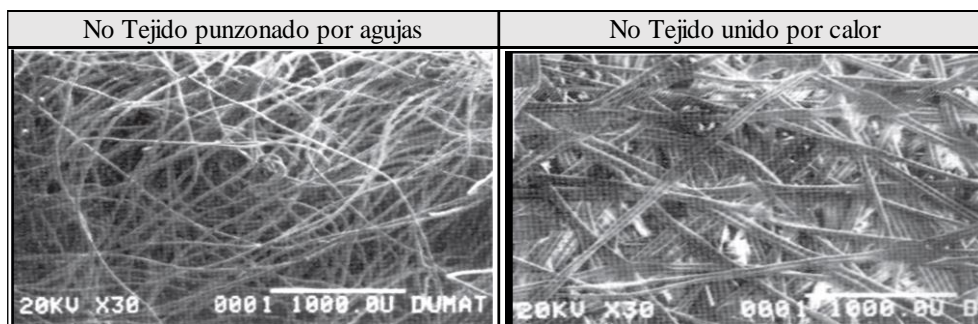
Dependiendo del método usado para unir las fibras o filamentos, se produce superponiéndolos en una configuración plana y luego solidificando la estructura mediante una variedad de procedimientos (Pavco, 2009, p. 2/5).

La siguiente es la clasificación de los geotextiles no tejidos:

- Geotextiles con refuerzo mecánico.
- Geotextiles no tejidos que hayan sido sometidos a soldadura o unión térmica.
- Geotextiles no tejidos producidos mediante resina o aglutinantes químicos.

Figura 2

Vista con un microscopio de ciertos geotextiles No Tejidos



Nota: (Pavco, 2009, p. 2/8)

2.2.1.3 Uso y Funciones

La función de compartimentación la realizan principalmente los geotextiles.

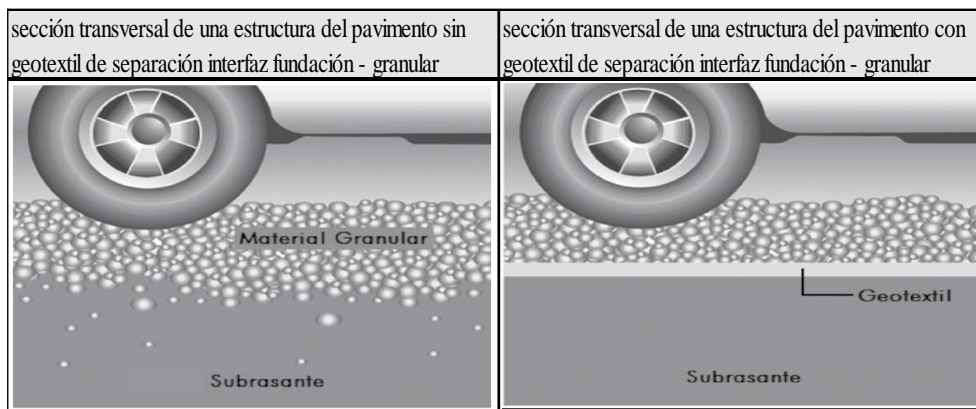
a: Geotextiles función de evitamiento

Al crear una barrera entre dos capas de suelo con distintas propiedades geomecánicas, como distribución granulométrica, densidad y capacidad, este mecanismo tiene como objetivo evitar el junte de elementos (Pavco, 2009, p. 2/10). Puede lograr este objetivo con la ayuda de esta función.

Para que un geotextil esté suficientemente aislado de un nivel de elemento granular, su suelo de subrasante debe tener un índice de carga de California (CBR) entre 3% y 10% (Pavco de 2009, página 2).

Figura 3

Tramo transversal de un sistema del pavimento con y sin geotextil



Nota: (Pavco, 2009, p. 2/104)

b: Geotextiles tarea de Apoyo

El geotextil actúa como sistema de la estructura y restrictivo del interior de los elementos de la base, facilitando la distribución y asignación de diversos tipos de

tensiones localizadas. Con estas medidas se incrementa la capacidad y la estabilidad de soporte de peso del edificio.

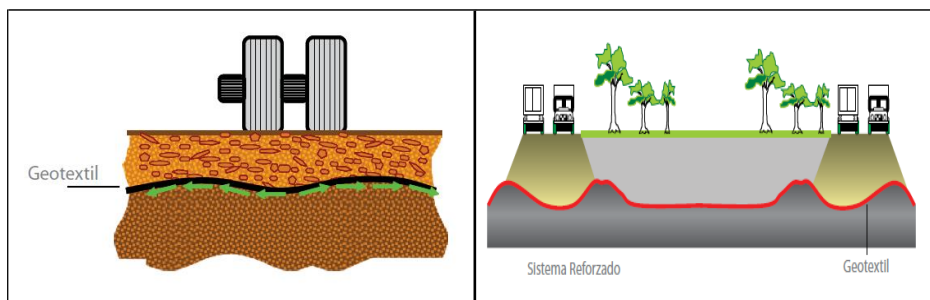
Campos de aplicación

"Para carreteras pavimentadas, carreteras sin pavimentar, ferrocarriles y aeropuertos, el VRS (CBR) debe ser inferior al 3% entre el sistema del pavimento y la base de cimentación". La fuente dada se encuentra en la página 2 de 129, según Pavco (2009).

Construcción de cimientos, vías férreas, plataformas y terraplenes en suelos muy inestables. El pasaje aparece en la página 2 de 129 páginas de la publicación de Pavco de 2009.

Figura 4

Base reforzada con Geotextil



Nota: (Mexichen, p. 5)

Bender & Barends examinaron alrededor de 1978 un tramo de prueba en el marco de su investigación sobre este tipo de construcciones. Según Leyva y Guillermo (2012), demostraron que la cantidad de estrés aplicado a la subrasante y la formación de surcos están correlacionados en la página 3.



Además, (Leyva y Guillermo, 2012, página 3). Muestran que la subrasante reforzada puede tolerar tensiones que son más de 1,8 veces mayores que las de la subrasante no reforzada. Esto permite encontrar el punto en el que el mecanismo de falla pasa de tensiones localizadas a tensiones generalizadas. Se hace viable su utilización mediante el uso de un nivel de base granular con un espesor reducido.

De acuerdo a una investigación de Virginia Tech, la durabilidad y la vida servible del pavimento flexible aumentan enormemente cuando se utiliza geotextil en subrasantes con un índice de resistencia a la compresión (CBR) de menos del 2,5 por ciento. A medida que se agrega geotextil, la vida útil de un segmento se reduce entre 2,5 y 3,0 veces en comparación con una sección sin refuerzo.

Además, de acuerdo con las pautas de diseño de AASHTO, esto da como resultado un aumento de aproximadamente el 19 % en el número estructural (SN). Investigaciones adicionales revelan que la adición de materiales geotextiles a subrasantes con disponibilidad regular (valores CBR entre 3,0 y 4,0%) aumenta significativamente la vida servible del sistema, incrementándola en un factor de 2,0 a 3,3. Además, como ilustra Maccaferri (2015) en la página 23, da como resultado un valor de relación señal-ruido (SN) más alto, con un aumento que oscila entre el 13% y el 22%.

El geotextil debe cumplir con los parámetros mecánicos e hidráulicos enumerados en la Figura 5.

Figura 5

Descripciones técnicas del geotextil tejido

		ESPECIFICACIONES TÉCNICAS									CONVENCIONES
		GEOTEXTILES TEJIDOS									
PROPIEDADES MECÁNICAS	NORMA	UNIDAD	T1050	T1400	T1700	T2100	T2100	TR3000	TR4000	TR6000	
Método Grab											ASTM: American Society for Testing And Materials
Resistencia a la tensión	ASTM D 4632	N (lb)	680(153)	857(193)	870(195)	1140(257)	1410(317)	1870(421)	2400(540)	2900(653)	N/A: No Aplica
Elongación		%	18	13	16	15	15	19	16	22	
Método Tira Ancha											GEOSISTEMAS PAVCO se reserva el derecho de introducir las modificaciones de especificaciones que considere necesarias para garantizar la óptima calidad y funcionalidad de sus productos sin previo aviso. La información aquí contenida se ofrece gratis y es cierta y exacta a nuestro leal saber y entender, no obstante todas la recomendaciones y sugerencias están hechas sin garantía, pues las condiciones de uso están fuera de nuestro control.
Sentido Longitudinal	ASTM D 4595	KN/m	17	22	22	33	41	58	66	112	
Elongación		%	18	19	15	18	20	22	22	19	
Sentido Transversal	ASTM D 4595	KN/m	21	21	26	34	40	55	57	115	
Elongación		%	13	11	12	13	15	15	15	18	
Resistencia al Punzonamiento	ASTM D 4833	N (lb)	350(79)	450(101)	475(107)	556(125)	659(148)	900(203)	1060(238)	1045(235)	
Método CBR											
Resistencia al Punzonamiento	ASTM D 6241	KN	2.8	3.3	3.4	4.8	4.9	7.0	8.0	11.0	
Resistencia al Rasgado Trapezoidal	ASTM D 4533	N (lb)	275(62)	230(52)	300(68)	400(90)	500(113)	606(136)	690(155)	1462(329)	
Método Mullen Burst											
Resistencia al Estallido	ASTM D 3786	Kpa(Psi)	2150(312)	2765(401)	3013(437)	3689(535)	4447(645)	5895(856)	6653(965)	7791(1130)	Los valores enunciados corresponden a los valores MARV, que son el valor resultante del promedio estadístico menos 2 veces la desviación estándar N.A dar de los datos históricos.
PROPIEDADES HIDRÁULICAS	NORMA	UNIDAD	T1050	T1400	T1700	T2100	T2100	TR3000	TR4000	TR6000	
Tamaño de abertura Aparente	ASTM D 4751	mm(No.Tamiz)	0.600 (30)	0.425 (40)	0.425 (40)	0.300 (50)	0.425 (40)	0.600 (30)	0.600 (30)	0.425 (40)	
Permeabilidad	ASTM D 4491	cm/s	0.8 X 10 ⁻²	0.8 X 10 ⁻²	0.6 X 10 ⁻²	4.8 X 10 ⁻²	4.2 X 10 ⁻²	5.1 X 10 ⁻²	6.4 X 10 ⁻²	6.5 X 10 ⁻²	
Permitividad	ASTM D 4491	s ⁻¹	0.26	0.15	0.10	0.53	0.53	0.51	0.54	1.10	
Tasa de flujo	ASTM D 4491	L/min/m ²	758	422	265	1900	1450	1490	1500	1770	Los Geotextiles son productos fotodegradables, no biodegradables, no deben ser incinerados y se debe disponer de ellos en forma adecuada.
PROPIEDADES FÍSICAS	NORMA	UNIDAD	T1050	T1400	T1700	T2100	T2100	TR3000	TR4000	TR6000	
Espesor	ASTM D 5199	mm	0.3	0.5	0.6	0.9	0.8	1.0	1.2	0.5	
Resistencia UV @ 500 horas	ASTM D 4355	%	>70	>70	>70	>70	>70	>70	>70	>50	
Rollo Ancho	Medido	m	3.85	3.85	3.85	3.85	3.85	3.85	3.85	3.75	Estos productos han sido manufacturados bajo los controles de calidad establecidos por un sistema de gestión de calidad que cumple con los requisitos ISO 9001:2008
Rollo Largo	Medido	m	200	160	160	140	120	100	100	100	
Rollo Área	Calculado	m ²	770	616	616	539	462	385	385	375	
FUNCIÓN DEL GEOTEXTIL	NORMA	UNIDAD	T1050	T1400	T1700	T2100	T2100	TR3000	TR4000	TR6000	
Separación			✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	Para asesoría en diseño, proceso constructivo e instalación, favor contactar al departamento de PAVCO al siguiente correo:
Estabilización			✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
Refuerzo					✓	✓	✓	✓	✓	✓	
ingenieriageosinteticos.amco@pavco.com.co											



Nota: (Pavco, 2009, p. 444)

Figura 6

Descripciones de forma internacional del geotextil Pavco TR 4000

GEOTEXTILES TEJIDOS

ESPECIFICACIÓN INTERNACIONAL GEOTEXTIL PAVCO TR4000

Es un Geotextil Tejido de polipropileno, conformado por un sistema de cintas planas, tejidas entre sí, diseñado especialmente para aplicaciones en las cuales se necesite refuerzo. Este Geotextil se produce en una de las plantas de Geosistemas PAVCO S.A., bajo un Sistema de Gestión de Calidad de acuerdo con los requerimientos de la Norma de Calidad ISO 9001:2008. Es altamente resistente a la degradación biológica y química, que normalmente se encuentra en los suelos. Los valores de las propiedades que aparecen en esta especificación son obtenidos en el Laboratorio de Control de Calidad de Geosistemas PAVCO S.A.

	PROPIEDADES	NORMA	UNIDAD	VALOR MARV
MECANICAS	Método Grab Resistencia a la Tensión Elongación	ASTM D 4632	N (lb) %	2400(540) 18
	Método de la Tira Ancha Sentido Longitudinal Elongación	ASTM D 4595	kN / m %	65 27
	Sentido Transversal Elongación	ASTM D 4595	kN / m %	60 15
	Resistencia al Punzonamiento	ASTM D 4833	N (lb)	1170 (264)
	Resistencia al Punzonamiento CBR	ASTM D 6241	kN	8,4
	Resistencia al Rasgado Trapezooidal	ASTM D 4533	N (lb)	685 (154)
	Método Bullen Burst Resistencia al Estallido	ASTM D 3786	Kpa (psi)	6900 (1000)
HIDRAULICAS	Tamaño de Abertura Aparente	ASTM D 4751	mm (No Tamiz)	0.300 (50)
	Permeabilidad	ASTM D 4491	cm/s	6.0×10^{-2}
	Permitividad	ASTM D 4491	s ⁻¹	0.5
	Tasa de flujo	ASTM D 4499	L/min /m ²	1200
FISICAS	Espesor	ASTM D 5199	mm	1.2
	Resistencia UV (% Retenido@500 hr)	ASTM D 4355	%	> 70
	Rollo Ancho	Medido	m	3.85
	Rollo Largo	Medido	m	100
	Rollo Área	Calculado	m ²	385

NOTAS

- Los valores de las propiedades de esta especificación son vigentes a partir de Febrero 2010 y están sujetas a modificaciones sin previo aviso.
- Los valores publicados corresponden al sentido más desfavorable del Geotextil. Los Valores típicos corresponden al promedio de todos los datos históricos.

GEOSISTEMAS PAVCO S.A. se reserva el derecho de introducir las modificaciones de especificaciones que considere necesarias para garantizar la óptima calidad y funcionalidad de sus productos. La información aquí contenida se ofrece gratis y es, a nuestro leal saber y entender, cierta y exacta; no obstante, todas las recomendaciones y sugerencias están hechas sin garantía, puesto que las condiciones de usos están fuera de nuestro control.

Oficina Principal: Autopista Sur No. 71 – 75 Bogotá D.C., Colombia. Tels: (57-1) 782 5100 Fax: (57-1) 782 5013
 Servicio al Cliente Bogotá: (57-1) 7825100 Ext. 3301- 3302 - 3303 -3305 Todo el País: 01 800 09 12286 ó 01 800 09 P7A2V8C206
 Medellín: (57-4) 352 1717/2122 Cali: (57-2) 442 3442/44 Barranquilla: (57-5) 375 8100
 Planta Perú: Av Separadora Industrial 2557, Ate Lima - Perú

Nota: Elaboración propia

2.2.1.4 Elaboración constructiva para el situado del geotextil

a: Disposición del terreno:

La elaboración del campo es el proceso de preparar el terreno excavándolo o llenándolo hasta el nivel especificado. Este proceso incluye la eliminación de plantas, madera, formaciones rocosas y otros materiales que se sitúen encima de la subrasante o la base subyacente que puedan cambiar el medio ambiente.

Figura 7

Disposición del campo



Nota: (Pavco, 2007, p. 7)

b: Situado del geotextil:

Lo mejor es colocar el geotextil en paralelo a toda la dimensión de la carretera o en el sentido del ancho más estrecho del terraplén. Debe colocarse seguidamente encima de la superficie lista para evitar pliegues o arrugas.

Es mejor superponer o unir rollos vecinos de geotextil si es necesario colocarlos muy juntos (Pavco, 2009, página 2/57).

Figura 8

Situado del geotextil



Nota: (Pavco, 2007, p. 7)

Figura 9

Clases de costuras



Nota: (Pavco, 2007, p. 7)

c: Situado de elemento de cobertura:

El elemento para rellenar debe aplicarse en un área establecida y luego extenderse sobre el geotextil de manera que se evite dañar el material. "Hasta que no se establezca el primer nivel de material de relleno compactado, está prohibido mover maquinaria a través del geotextil" (Pavco, 2009, página 2/58).

"En el caso de que la maquinaria necesite pasar directamente sobre el Geotextil, es necesario que el equipo o maquinaria tenga ruedas y está estrictamente prohibido tener orugas". (2007) Según Pavco.

Figura 10

Situado del elemento



Nota: (Pavco, 2007, p. 8)

Figura 11

Consolidación del elemento



Nota: (Pavco, 2007, pág. 8)

2.2.2 Modelo resiliente del suelo de compactación

2.2.2.1 Modelo resiliente

Un indicador preciso de la rigidez de los materiales utilizados para construir pavimentos no consolidados es el modelo de flexibilidad. Puede describirse como la conexión entre el moldeamiento recuperable del ensayo durante varios ciclos de cargas repetitivas y las tensiones cíclicas que experimentó. La cita precisa en cuestión está contenida en la página 94 del informe de Menéndez de 2016.



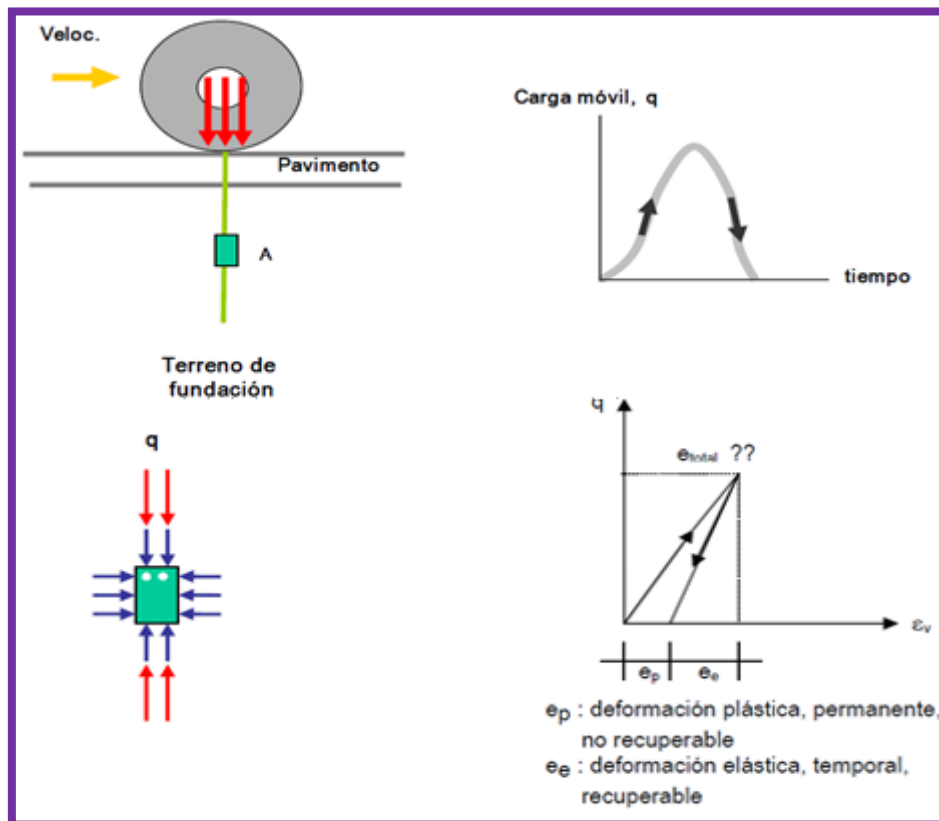
(Mallick y Tahar, 2013, p. 177). Efectuar una serie de cargas y separarlas con lapsos de descanso es la idea básica detrás de este ensayo triaxial. Se utiliza un pulso de tensión triangular o haversine para comparar cargas de tránsito en los pavimentos.

El modelo resistivo se establecerá mediante el uso de la metodología MTC E 128 (AASHTO T 274). El modelo robusto es una métrica que puede usarse para estimar la resiliencia del suelo. Esta medida tiene en cuenta varias características no lineales. Los diseños de pavimentos flexibles hacen uso del modelo resiliente. La referencia se encuentra en el MTC, 2014, en la página 37.

Según Minaya y Ordóñez (2006), la carga dinámica transmitida ocurre en los pavimentos, lo que indica que la base experimenta lapsos recurrentes de carga y descarga. Si queremos comprenderlo mejor, veamos las circunstancias particulares que rodean un ciclo único que implica carga y descarga (Figura 11). Hay deformaciones en el suelo debajo de los cimientos mientras que el vehículo se asoma al punto de análisis A. Podemos determinar la alteración completa en ese instante específico ya que la alteración alcanza su máximo justo cuando el automóvil está justo encima del punto A. En contraste, el automóvil hace un intento fallido de regresar a su posición del inicio después de separarse del suelo. La alteración elástica se refiere a una alteración reversible, mientras que la alteración plástica se refiere a una distorsión irreversible.

Figura 12

Desenvolvimiento Elasto-plástico, un ciclo carga-descarga



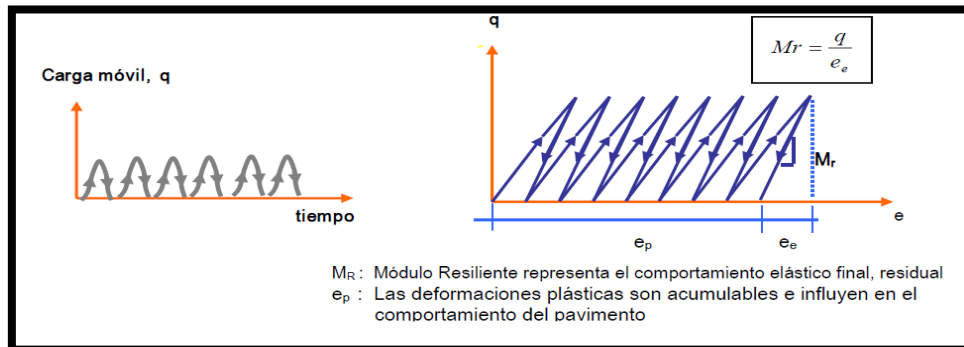
Nota: (Minaya y Ordóñez, 2006, p. 4)

Como ilustra la Figura No. 12, el suelo de cimentación pasa por muchos ciclos de carga y descarga. En estos ciclos, el material elástico sufre modificaciones temporales para estabilizarse, mientras que el material plástico acumula progresivamente variaciones de forma más permanentes (Minaya y Ordóñez, 2006, p. 5).

También en (Minaya y Ordóñez, 2006, p. 5). Cuando cesan las deformaciones plásticas, se dice que el suelo se ha consolidado bajo las circunstancias de tensión dadas. El modelo resistivo (M_r) es el gradiente de la curva lineal al final de esta fase. El grado máximo de respuesta elástica del suelo se mide mediante el modelo resistivo.

Figura 13

Desenvolvimiento Elasto-plástico, varios ciclos carga-descarga

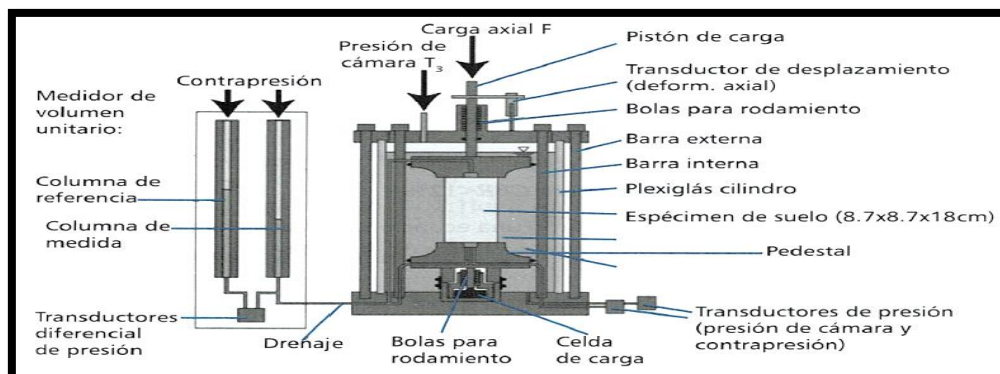


Nota: (Minaya & Ordóñez, 2006, p. 5)

(Quintana, 2015, p. 387) El modelo de resistencia, que mide con precisión la rigidez de un material bajo tensión repetida, es un estándar estadístico esencial en el modelamiento de pavimentos. El desafío práctico para determinar este parámetro de subrasante surge de la falta de herramientas apropiadas o de una demarcación clara de la ruta de tensión. Es habitual utilizar el valor CBR para construir una conexión con el fin de solucionar este problema.

Figura 14

Equipo triaxial cíclico



Nota: (Quintana, 2015, pág. 387)



2.2.2.2 Maneras comunes para conseguir el modelo de resiliente

Quintana (2015) explica cómo Malla y Joshi (2007) clasifican tres formas comunes de encontrar el modelo robusto.

Según Quintana (2015, p. 422), existen tres formas comunes de evaluar el modelo resistivo (Mr.): ensayos de laboratorio, ensayos no destructivos conectados a variantes del suelo y el método de diseño mecánico-empírico de 2004 (MEPDG). Según Cordo (2006), el proceso para analizar el modelo de resiliencia efectivo se explica en la página 76 de la Guía de diseño AASHTO de 1993.

Así es como se muestran los datos

- a) Se realizan pruebas de resonancia magnética de laboratorio.
- b) Las deflexiones sirven como base para determinar el modelo robusto in situ.
- c) Se pueden utilizar parámetros del suelo bien establecidos para estimar los valores de RM normales (o de verano).

a: Prueba en laboratorio

(Cordo, 2006, p. 77) La Guía de Diseño AASHTO de 1993 utiliza muestras de suelo que se parecen mucho a las condiciones de estrés y humedad registradas durante todo el año para realizar pruebas de laboratorio en el MR. En circunstancias de laboratorio cuidadosamente reguladas, este trabajo revela una asociación directa y concluyente entre el contenido de humedad y el modelo robusto. Generalmente, se aplica una carga de deflexión de al menos 6 psi (41 KPa) para imitar con precisión las propiedades del ensayo de carretera AASH.

b: Pruebas no destructivas



Las medidas de deflexión elástica sirven como base para evaluar o correlacionar la capacidad de carga de un sistema de pavimento flexible (Quintana, 2015, p. 334).

El deslizamiento vertical de la capa alta del pavimento provocado por el uso de un peso externo se denomina deflexión. Provoca flexión y genera tensiones y tensiones en cada capa cuando se aplica a una superficie. Esto permite medir el deterioro de la red viaria. (Quintana, 2015, p. 334). Para ello se suelen utilizar herramientas que no destruyen tal cual el deflectómetro de impacto (FWD).

c: Correlaciones con cualidades de la base

Limitaciones prácticas como equipo limitado o una identificación poco clara de las rutas de tensión hacen que sea difícil calcular esta cantidad en la subrasante. Debido a esto, un método típico es utilizar diferentes ecuaciones de la literatura de referencia para crear un vínculo entre esta variable y el valor CBR. El pasaje está tomado del libro de Quintana de 2015, página 388.

El Manual de Carreteras MTC 2014 establece el valor M_r puede determinarse correlacionándolo con el CBR de modelo.

$$M_r = 2555 * CBR^{0.64} \text{ Psi} \dots\dots\dots (\text{Ec.1})$$

2.2.2.3 Modelo resiliente de la base de compactación por deflectometría

a: Material para dimensionar las deflexiones a través de la viga

Benkelman

La herramienta principal para determinar la deflexión elástica de un pavimento en particular es la viga Benkelman, que fue creada por A.C. Benkelman. Este



dispositivo es particularmente útil para el diseño, construcción y mantenimiento del pavimento porque proporciona datos sustanciales sobre una variedad de estados y características del pavimento. Fonseca (2006).

Beneficios y desventajas de la tecnología Benkelman Beam

Existen numerosas desventajas graves al medir la deflexión con la viga de Benkelman, como las siguientes:

Pasos de procedimiento llevados a cabo en un entorno de campo.

Tabla 2

Beneficios y contras de la viga Benkelman

Beneficios	Contras
La viga Benkelman es el patrón universal de medición de las deflexiones, su obtención es relevante para hallar la relación entre cualquier deflectómetro y la viga.	Es un ensayo puntual y con secuencias espaciales demasiados grandes 50m para caracterizar correctamente un pavimento.
El ensayo con viga Benkelman puede ser más eficiente y veloz. En secciones en ejecución el contar de una viga Benkelman es en todas ocasiones útil, para analizar las distintas capas del pavimento.	Al ser viga metálica puede sufrir dilataciones o acortamientos por efecto de la temperatura que afecta a la medida especialmente en días fríos y calurosos.

Nota: (Fonseca, 2006, p. 204)

Desarrollo in situ

Berger y Hoffman (1985) confirman que 9000 lb (4090 kg) es el peso normal utilizado para realizar pruebas de deflexión en pavimentos. Cualquier neumático puede aplicar presión al eje trasero del vehículo (p. 16). Verifique el cumplimiento de este requisito y confirmar de que la presión de los neumáticos se halle ajustada al nivel recomendado antes de comenzar la prueba (pág. 16).



El neumático se coloca en el lugar designado una vez que se ha seleccionado el lugar de prueba, que a menudo se encuentra en el borde exterior de un carril. El neumático debe colocarse paralelo al eje vertical conjunto, como se muestra en el punto "D" de la figura 14a.

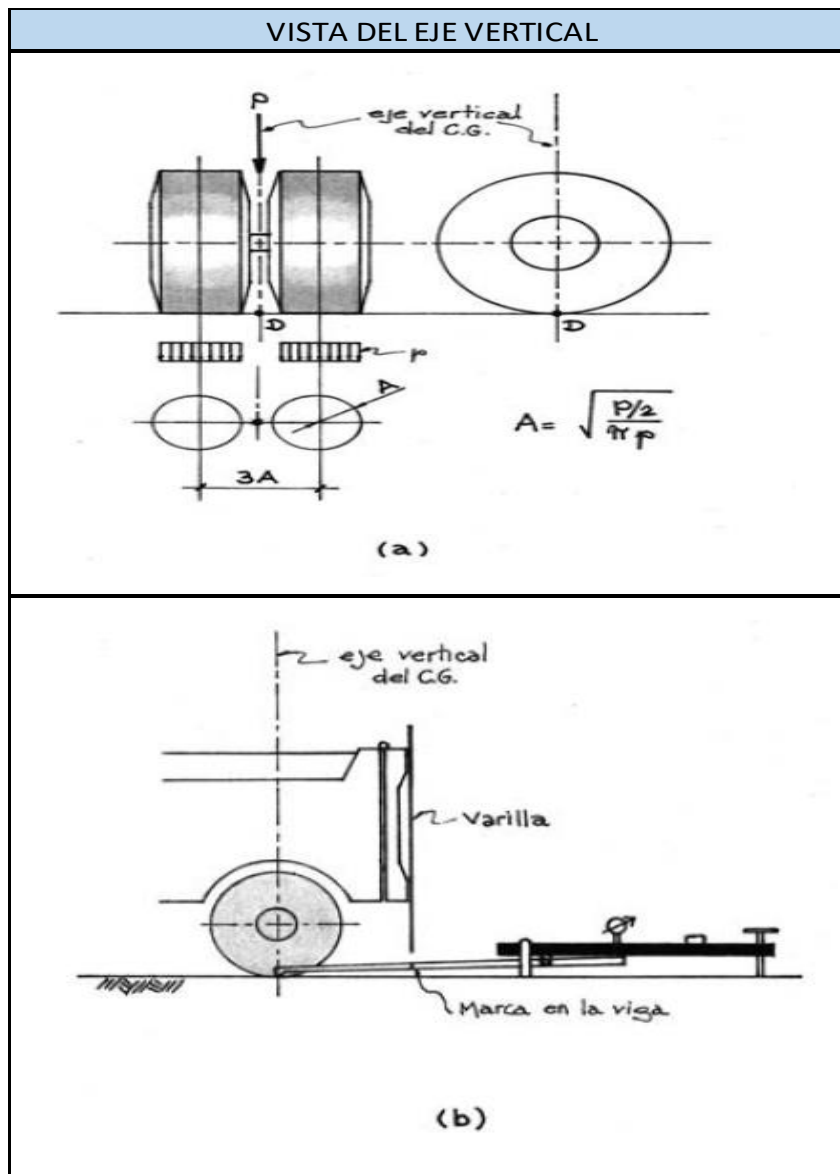
Para esta operación, se considera aceptable un margen de error de tres pulgadas alrededor de la convergencia (p. 17).

El brazo de viga ajustable se coloca entre los neumáticos y de acuerdo con el lugar de prueba especificado una vez que los neumáticos han sido estacionados. Debido a la discapacidad visual y a la complejidad de la intervención física, se realiza previamente una medición inicial. La viga parece estar entre los neumáticos porque está colocada lateralmente fuera de ellos. Luego, el extremo del brazo flexible se alinea correctamente con el eje vertical excentrico mediante una plomada. Los detalles importantes se encuentran en la página 17.

Al fijar una varilla vertical en la parte de atrás del automóvil, se crea un punto de referencia en la viga. El propósito de este símbolo es actuar como punto de referencia durante la medición que garantice una alineación precisa entre el centro del neumático y el extremo del haz. Puede encontrar información pertinente en la página 17.

Figura 15

Disposición espacial del modelo de carga durante las pruebas



Nota: (Hoffman & Berger, 1985, p. 17)

Además, (Hoffman & Berger, 1985, p. 17). Cuando sea necesario registrar más desviaciones (30, 40 y 50 cm), se pueden agregar marcas adicionales a intervalos predeterminados, comenzando con la marca inicial. Para la técnica analítica se requieren al menos tres lecturas. Por lo tanto, se recomienda realizar

varias lecturas para fines de verificación. Si es necesario, también pueden ofrecer una representación gráfica de las curvas de deflexión que se realizaron.

Figura 16

Organización del desarrollo de dimensionamiento con la viga Benkelman

DEFLEXIÓN	POSICIÓN
DEFLEXIÓN MÁXIMA EN LA POSICIÓN INICIAL	<p>(a) Posición Inicial (D_0 = deflexión máxima)</p>
DEFLEXIÓN A 50 CENTÍMETROS DE LA POSICIÓN INICIAL	<p>(b) Posición a 50 cms (D_{50})</p>
DEFLEXIÓN A 100 CENTÍMETROS DE LA POSICIÓN INICIAL	<p>(c) Posición a 100 cms (D_{100})</p>
FINAL DEFLEXIÓN CERO DE LA POSICIÓN INICIAL	<p>(d) Posición Final (Deflexión Cero)</p>

Nota: (Hoffman & Berger, 1985, p. 18)

b: Evaluación inversa

Es posible determinar las tensiones, deformaciones y deformaciones conectadas a una determinada estructura utilizando el método de cálculo directo. El proceso implica analizar la organización de tensiones dentro del sistema de acuerdo



con factores como espesores de capa, cargas de tráfico y características estructurales (como las relaciones de Poisson y los modelos). La finalidad de esto es hallar la organización de las tensiones. Con este proceso se puede obtener la curva de alteración del pavimento. La línea aparece en la página 71 del libro de Redrovan de 2014.

El "análisis inverso" es el proceso de descubrir y evaluar las características mecánicas, o modelos, de las muchas capas que componen un pavimento. Este proceso utiliza mediciones de deflexión halladas de la base del pavimento, la fuerza ejercida por el deflectómetro de peso hacia abajo (FWD) y los grosores de los diversos niveles que componen la construcción del pavimento. La fuente citada es Redrovan (2014); Preste especial atención a la página 71.

La Tabla 3 enseña los estándares utilizados en la evaluación inversa.

Tabla 3

Estándares para la evaluación inversa

Análisis Directo	
Información E, u, h	Producto δ, σ, ϵ
Cálculo Inverso	
Información δ, μ, h	Producto E, ϵ, σ

Nota: (Redrovan, 2014, p. 71)

Donde:

E = Modelo de elasticidad de los elementos

μ = Coef. de Poisson

δ = Deflexión del pavimento

ϵ = Alteración por unidad

σ = Fuerza de cada capa de la estructura

h = Espesor de la capa



c: Estándares para la evaluación inversa

Deflexión

Dice Sandoval (2009). "La deflexión es la representación numérica de cómo responde una estructura cuando se ejerce un peso vertical externa". El "desplazamiento vertical" describe cómo el paquete estructural de un pavimento se mueve en respuesta a una carga aplicada. Puede encontrar este término en la página 74.

(Corros, Urbáez y Corredor, 2009, pág. 61). El desplazamiento vertical que ocurre cuando se aplica una carga se conoce como deflexión del pavimento. El proceso de integrar cuantitativamente las deflexiones verticales a medida que cambian con la profundidad se denomina deflexión. Dependiendo del sistema particular del pavimento a evaluar, la subrasante puede representar y/o alcanzar desde un 95 al 70 por ciento de la deflexión aparente en la base del pavimento. Así, la compresión elástica de la capa de suelo subyacente es la fuente principal de la alteración más notoria en los pavimentos.

Modelo elástico o modelo de resiliencia

El modelo elástico, también conocido como modelo resistivo, mide la capacidad de un material para doblarse bajo tensión y luego restaurar su forma original una vez liberada la presión.

Según Huang (2017), el modelo de resiliencia es el modelo de elasticidad que se aplica en diferentes enfoques de diseño de pavimentos en América del Norte. Se define como el modelo elástico empleado en la teoría de elasticidad. En el proceso de modelo de pavimentos francés, la palabra "modelo de Young" hace alusión a la



forma en que los elementos interactúan entre sí. Además, esta estrategia no emplea el término "resiliente".

Las palabras "modelo de Young" y "modelo de elasticidad" se utilizan para caracterizar la conexión entre tensiones y deformaciones en los materiales. La fuente de estos datos se puede hallar en el artículo de Vásquez y García (2017), específicamente en la página 2. La teoría de la elasticidad permite realizar ensayos ya sea en el campo como en el salón de ensayos teniendo como objetivo de hallar el modelo elástico. Las posibles pruebas en nuestro contexto se muestran en la Figura 16. La fuente proviene de una publicación de 2006 que presenta un estudio realizado por Minaya y Ordóñez en la página 9.

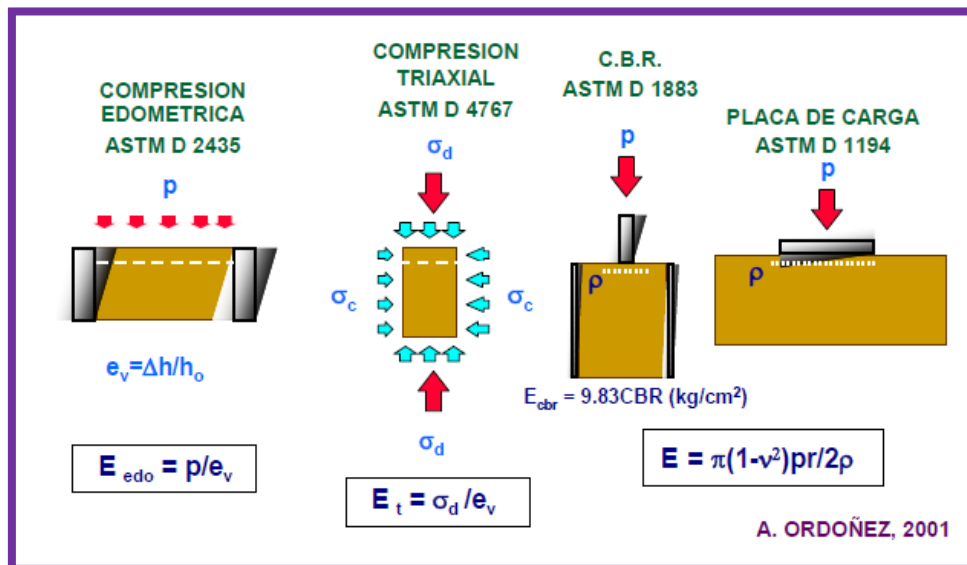
Las características de alteración del suelo cuando se expone a una base poco profunda se replican en la prueba de compresión restringida realizada con el consolidómetro. El trabajo de Minaya y Ordóñez está citado en la página 9 de la publicación de 2006.

La prueba triaxial permite determinar el modelo elástico en diferentes niveles de alteración y presión de confinamiento examinando la alteración del suelo mientras está confinado. Cuando las presiones verticales transmitidas penetran a profundidades significativas, se emplean estas características. El aparato es incapaz de medir el grado de influencia de la humedad.

Al evaluar la subrasante, el C.B.R. y la prueba de carga de placa se utilizan para determinar las cualidades elásticas. Aun así, nuestro país no emplea el proceso de ingeniería propuesto por Valle Rodas en 1967, que consiste en analizar materiales no modificados. La ventaja del C.B.R. es que evalúa los efectos de la humedad y la densidad natural simultáneamente.

Figura 17

Pruebas para la identificación del modelo de la elasticidad



Nota: (Minaya y Ordóñez, 2006, p. 9)

d: Modelos de dos capas

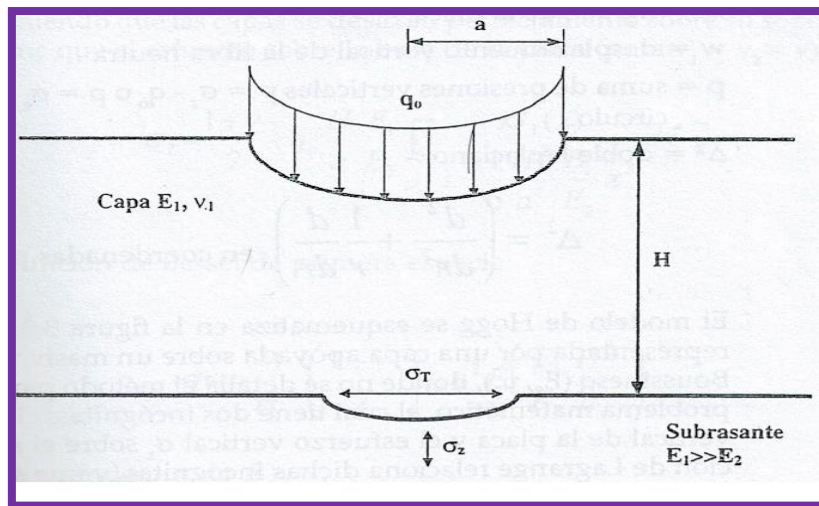
Debido al requisito de una capa extremadamente gruesa (H), la distribución de la presión a través de un cuerpo granular se vuelve costosa cuando la tensión vertical en el suelo de soporte se restringe a una magnitud relativamente modesta ($1/10$ o $1/20$ de q_0). Se recomienda disminuir el espesor requerido para mitigar este problema fortaleciendo la unión entre el nivel superior de la carretera (E_1) y el suelo subyacente (E_2). Según Liscano (2003, p. 154), para conseguir este efecto se puede emplear un conglomerante hidrocarbonado o un conglomerante hidráulico, como cemento, ceniza o escoria.

(Liscano, 2003, p. 154). Si el modelo E_1 del nivel superior es lo suficientemente alto (20.000 Mega pascales), es factible la captación de la presión reducida sobre la base subyacente independientemente del espesor de la carretera. El grosor del nivel afecta a sus propiedades mecánicas, por lo que no debe ser

extremadamente fina. La base del camino experimenta tensiones de tracción y flexión como resultado de la contracción de las capas del camino bajo carga.

Figura 18

Modelo de dos capas



Nota: (Liscano, 2003, pág. 155)

Módulo de boussinesq

Según Liscano (2003), el método de Boussinesq es una representación matemática de la dinámica de la distribución de calor y el movimiento de fluidos dentro de un medio poroso. Quo, el nombre de la fuerza ejercida de los neumáticos, es la fuerza ejercida de los neumáticos (q_0) es superior al límite de carga natural del suelo, oscilando entre 0,2 y 0,7 Mpa. Por lo tanto, utilizando modelos basados en los siguientes supuestos, la carretera debe liberar esta presión y bajarla a un nivel que sea aceptable.

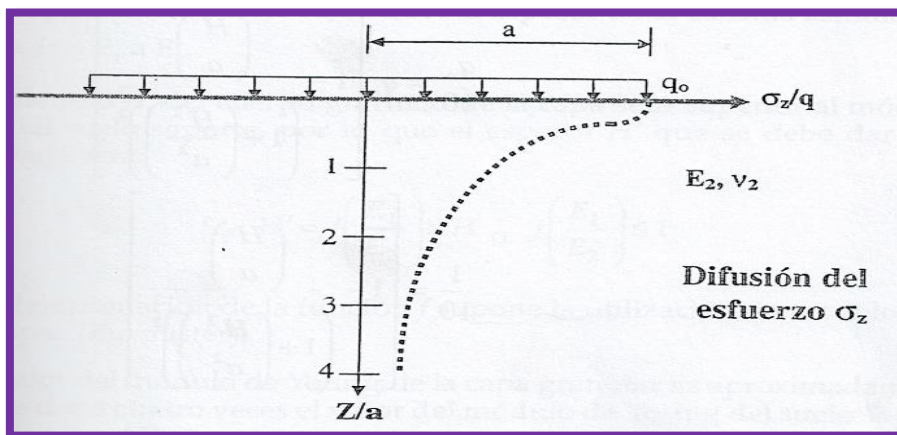
1. El peso ejercido a lo largo de una zona circular de radio a determina la presión (q_0) ejercida sobre la carretera (p. 153).

2. Es ampliamente reconocido que el suelo de soporte tiene propiedades elásticas, como lo demuestran tanto el índice de Poisson (μ_2) como su modelo de elasticidad (E_2). La capacidad limitada del suelo para tolerar esfuerzos verticales (δz adm.) sin deformarse excesivamente debe ser menor que la presión aplicada (q_0) (p. 153).

La distribución de tensiones verticales está representada por el símbolo δz , tal cual se ve en la Figura 19.

Figura 19

Difusión Del Esfuerzo Vertical δz



Nota: (Liscano, 2003,p.151)

3. Boussinesq examinó la organización de presión verticalmente en la base a una profundidad H, asegurándose de que la presión se mantenga por debajo de la tensión permitida (δz adm). Sugirió que a cierta profundidad z, la vertical tensión δz se alivia adecuadamente (pág. 153).

$$\delta z = q_0 \left[1 - \frac{\left(\frac{z}{a}\right)^3}{\left(1 + \left(\frac{z^2}{a^2}\right)\right)^{\frac{3}{2}}}\right] \dots\dots\dots \text{(Ecuación número 2)}$$



Según esta teoría, Bussinesq llega a las siguientes conclusiones, según Liscano (2003): “La tensión vertical δz es directamente relacional a la carga aplicada q_0 y no se ve afectada por la rigidez E_2 de la masa”. Existe una relación directa entre el grosor H de la carretera y el radio del círculo de carga.

- “Si la tensión máxima que puede soportar el suelo subyacente (δz_{adm}) es considerablemente inferior a la presión aplicada (q_0), se recomienda optar por espesores mayores”.
- La letra H se puede utilizar para indicar el grosor de la carretera equiparando H con H o E_1 con E_2 .
- El suelo que soporta la capa tiene un modelo E_2 diferente al modelo E_1 del cuerpo granular de la capa. Dado que este es el caso, la página 53 tiene el espesor de carretera necesario, indicado con la letra H .

$$H'' = f \left(\frac{E_1}{E_2} \right) \times H \quad \text{o} \quad f \left(\frac{E_1}{E_2} \right) \leq 1 \dots \dots \dots (Ec. 3)$$

Módulo de burmister

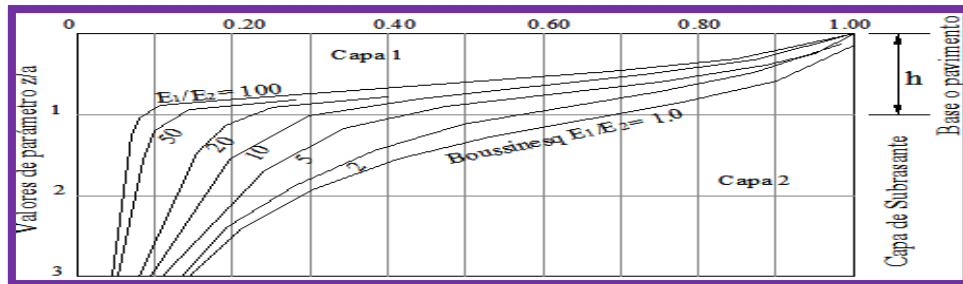
Se deben utilizar modelos de dos capas, o modelos de Burmister, para calcular la función f . Según estas teorías, el modelo de Young del nivel granular ($E_1 =$ dos a cuatro E_2) es entre dos y cuatro veces mayor que el del suelo de soporte. En la página LXIV del libro de Andrade de 2007.

Los gráficos de la Figura No. 20 representan la reacción de una situación particular. En este caso, el espesor del pavimento, formado por la base, la subbase y una finísima capa de asfalto, es comparable al radio de la placa cargada. También,

la conexión del modelo elástico fluctúa en esta situación particular (Andrade, 2007, p. LXIV). En el libro de Andrade de 2007, página LXIV.

Figura 20

Coefficiente de influencia del esfuerzo vertical = $\delta z / P$

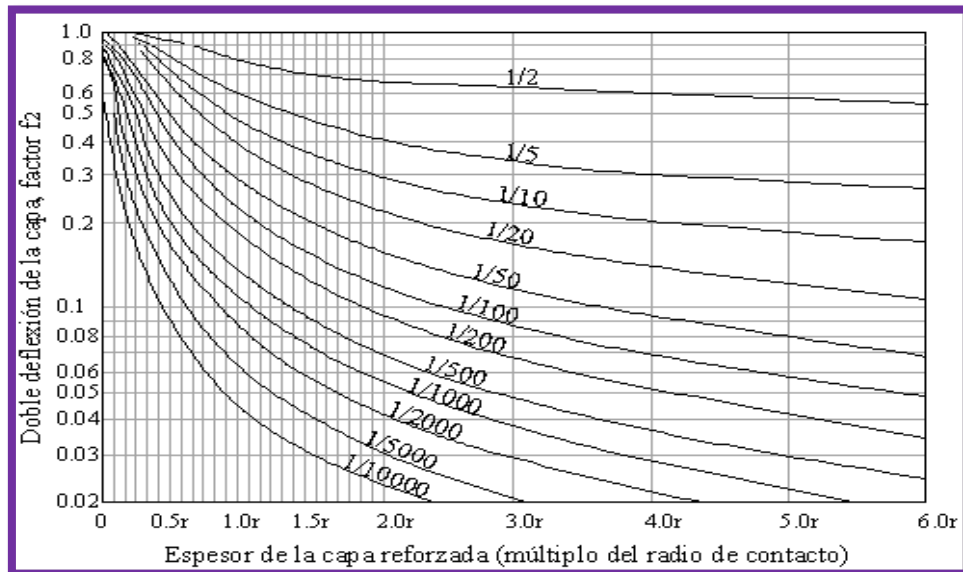


Nota: (Andrade, 2007, pág. LXV)

(Andrade, 2007, página LXV) La distribución de tensiones en dos materiales distintos se muestra en la Ilustración No. 20. El primer material tiene un espesor finito (h) y un modelo elástico de E1, mientras que el segundo material tiene un espesor infinito y un modelo elástico de E2. La ecuación proporcionada se puede utilizar para calcular las deformaciones totales que ocurrieron en esta situación, dado el valor de F que se muestra en la Figura 21.

$$\Delta = \frac{C \times \delta_c \times r}{E_2 \times F^2} \dots (\text{Ecuación número 4})$$

Figura 21

Factor de F_2 

Nota: (Andrade, 2007, p. LXVI)

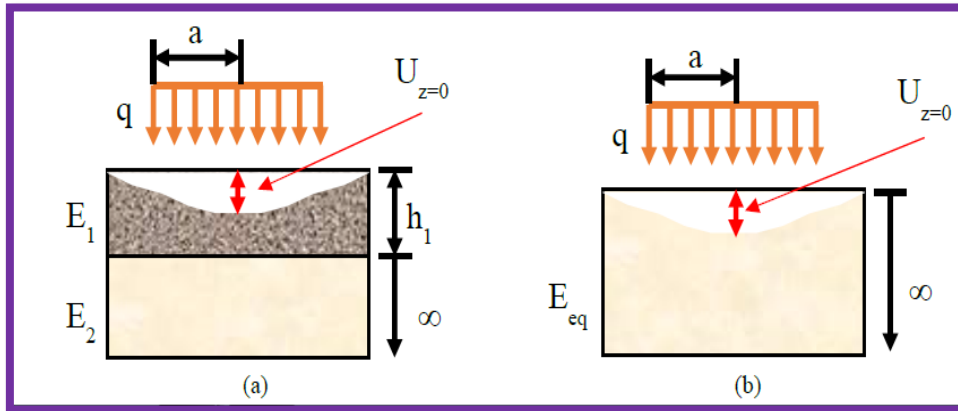
e: Evaluación de niveles de conformación a través de diseños elásticos bicapas

El modelo de resiliencia, según Huang, es el modelo de elasticidad combinado con la teoría elástica. Por tanto, este medidor se utiliza en diferentes técnicas de diseño de pavimentos en toda América del Norte. Por otro lado, el método francés de diseño de pavimentos se refiere a la conexión entre materiales como "modelo elástico" en lugar de "resiliente".

Este material está citado en la página 2 de Vásquez y García (2017). Basándose en los modelos elásticos del nivel de formación, la subrasante y el espesor del nivel de formación, el análisis mecánico de la formación de capas determina el modelo elástico efectivo de la cimentación. A medida que la capa formadora se vuelve más gruesa y rígida, Vásquez y García (2017, p. 2) afirman que el diseño real para el modelo del sistema del pavimento aumenta.

Figura 22

Transformación de un modelo de dos niveles a uno equivalente



Nota: (Vásquez YGarcía, 2017)

La siguiente fórmula determina la deflexión del modelo de dos capas:

$$U_{z=0} = \frac{1.5 * q * a}{E_2} * F_2 \dots \dots \dots (Ec. 5)$$

Donde:

$U_{z=0}$: Esta es la deflexión de la superficie del modelo debajo del centro de la zona con peso.

q : Es la presión uniforme ejercida

a : Es el radio de la zona circular con peso

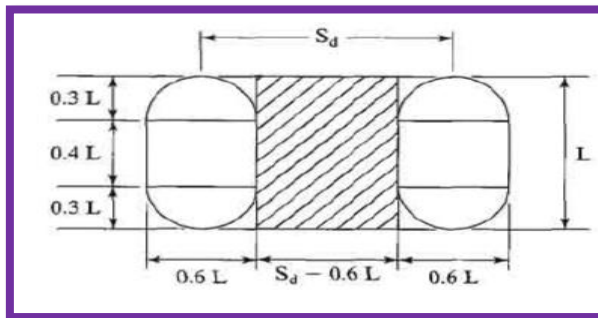
E_2 : Este es el modelo de nivel más baja.

F_2 : Este componente se basa de las interacciones entre h_1/a y E_1/E_2 .

Cómo transformar un modelo doble en una estructura de áreas circular simple.

Figura 23

Conversión de llanta de dos ejes a uno



Nota: (Huang, 2004)

$$a = \sqrt{\frac{0.8521 * p_d}{q * \pi} + \frac{S_d}{\pi} * \left(\frac{p_d}{0.5227 * q}\right)^{\frac{1}{2}}} \dots \dots (Ec. 6)$$

El modelo del elemento está representado por el símbolo E_{eq} y la ecuación proporcionada es igual a los valores de las otras tres variantes. El siguiente es el modelo equivalente del sistema monocapa, el cual garantiza que su deflexión es la misma que la del sistema bicapa, según el procedimiento de equiparar las ecuaciones que explican la deflexión de los sistemas monocapa y bicapa: La publicación de Vásquez y García (2017) es la fuente de referencia, específicamente la página 3.

$$E_{eq} = \frac{E_2}{F_2} \dots \dots (Ec. 8)$$

Se pueden utilizar la teoría de la capa elástica y/o las ecuaciones presentadas por Kirk para obtener el factor F_2 . Ambos enfoques son opciones viables.



$$F_2 = \left\{ \left| 1 - \frac{1}{\sqrt[2]{1 + \alpha * \left(\frac{h_1}{a}\right)^2}} \right| * \left(\frac{E_2}{E_1}\right) + \frac{1}{\sqrt[2]{1 + \left(\alpha * \frac{h_1}{a} * \sqrt[3]{\frac{E_1}{E_2}}\right)^2}} \right\} \dots\dots (Ec.9)$$

Donde:

La variable "α" viene a ser un coeficiente que ayuda a modificar las fórmulas para que coincidan con el producto del diseño, según el modelo elástico multicapa. A Kirk se le ocurrió la ecuación original, que tenía α = 0,9. Como señalaron Vásquez y García (2017), las variantes adicionales contenidas en las ecuaciones se especificaron anteriormente y se enumeran en la página 3.

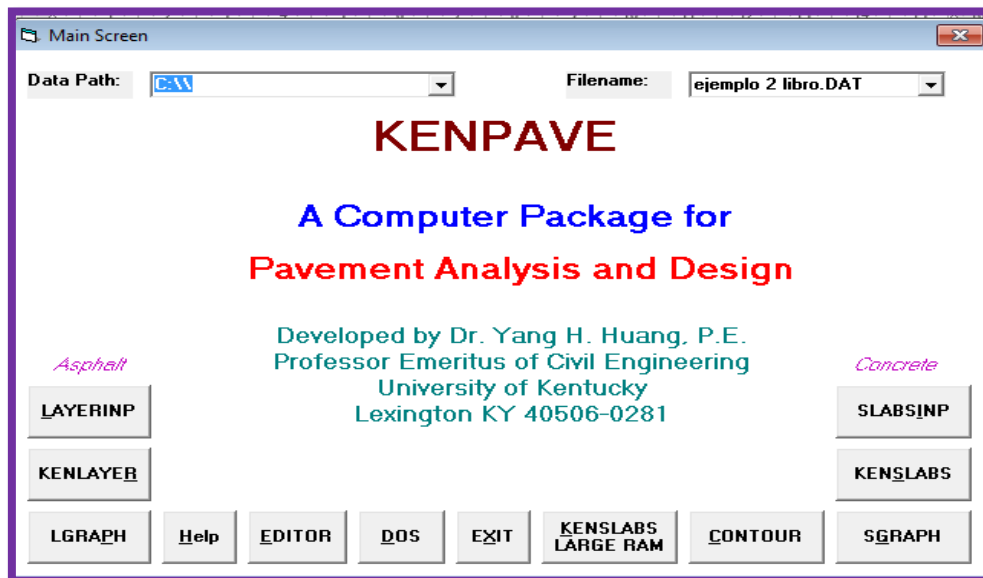
f: Software para determinar esfuerzos y deformaciones Kenlayer

La solución conocida como KENLAYER fue desarrollada por el ingeniero Yang H. Huang y este es capaz de evaluar un modelo elástico de varias capas bajo condiciones de carga circular. Esta investigación podrá realizarse utilizando vehículos unidimensionales, bidimensionales o tridimensionales” (p.94).

Este programa examina y calcula la tensión y la alteración del suelo en respuesta a la carga de un vehículo. El objetivo es determinar el modelo elástico del material del suelo. Puede encontrar esta información en la página 94.

Figura 24

Pantalla principal de programa Kenpave



Nota: Elaboración propia

2.2.3 Cualidades mecánicas del suelo de compactación

2.2.3.1 Evaluación de suelo

El suelo es un elemento amorfo compuesto de elementos discretos que han de contener líquidos o gases. Con la excepción de las lutitas y rocas incrustadas, es una mezcla suelta de elementos, desechos orgánicos y sedimentos que se encuentran sobre el lecho de roca. Esta información se cita en la página 153 de la publicación de Mallick y Tahar (2013).

2.2.3.2 Cualidades mecánicas

“Las características del mecanismo de los áridos se asocian a su capacidad para soportar el deterioro provocado por pulido, abrasión, impacto o cargas de tensión en los niveles del pavimento” (Menéndez, 2016:146).

“La rigidez hace alusión a la capacidad de un elemento agregado para resistir la alteración y se mide por el modelo de elasticidad” La resistencia a la



compresión y el modelo de elasticidad son atributos típicos de los agregados (Menéndez, 2016, p. 146).

CBR (California Bering Ratio)

Para efectos de la construcción de caminos, la prueba CBR es una técnica que evalúa la fortaleza de la base a la penetración de manera indirecta indicando qué tan resistentes son la subrasante, la subbase y las capas de base (Menéndez, 2016, p. 90).

Al establecer correlaciones con el modelo robusto, el valor CBR adquirido podrá utilizarse en el diseño de pavimentos (Menéndez, 2016, p. 90).

La conexión entre la fuerza sobre la penetración necesitada para que un pistón con un área de 3 pulgadas cuadradas penetre 0,1 pulgadas en el suelo y la fuerza sobre la penetración de 1000 psi de un ejemplo de referencia se mide a través la relación de rodamientos de California, o CBR. La muestra típica está formada por roca quebrada. El material que se muestra aquí está tomado de la página 7 de la publicación de Minaya y Ordóñez de 2006.

El CBR se transmite o muestra como:

$$\text{CBR} = \frac{\text{Resistencia a la penetración (PSI) requerida para penetrar 0.1 pulg}}{1,000 \text{ lb/pulg}^2} * 100 \dots (\text{EC. 10})$$

(MTC, 2014, p. 35). Los sistemas AASHTO y SUCS ya se utilizan para clasificar suelos antes de que se realice la prueba CBR, también llamada prueba MTC E 132. La finalidad de este ensayo es evaluar la resistencia o soporte del suelo para la construcción de caminos. Para cada sector homogéneo o sección de estudio, se genera un perfil estratigráfico y se conllustración el procedimiento de prueba para



encontrar el valor CBR basado en este perfil. Para calcular el valor CBR se utiliza el 95% de la seca densidad límite (MSD) y una penetración de peso de 0.25 cm.

"Después de determinar el valor CBR de diseño para cada sector con características similares, el sector o subsección será asignado a una categoría de subrasante específica".

El índice de carga de California (C.B.R.) dimensiona la capacidad de una base para tolerar cargas de corte bajo ciertas condiciones de compactación y humedad. Puede expresarse como el % de la carga requerida para insertar un pistón circular en una muestra de suelo.

La Tabla No. 08 ilustra cómo se pueden categorizar los resultados del examen utilizando el C.B.R. sistema de categorización.

Se realiza un cálculo de la conexión de carga de California (C.B.R.) utilizando los datos de densidad y porcentaje de agua. Para garantizar la comparabilidad con los datos de laboratorio, se recomienda probar el C.B.R. bajo condiciones críticas del suelo, como durante la estación húmeda. Al permitir que la muestra se cure durante tres días en aire y cuatro días en agua, se aplica un proceso conocido como saturación. A C.B.R. El valor se produce mediante este método y representa al 95 por ciento de la densidad del supervisor óptimo modificado (OPM). La cita se encuentra en la página 26 de la publicación de Liscano de 2003.

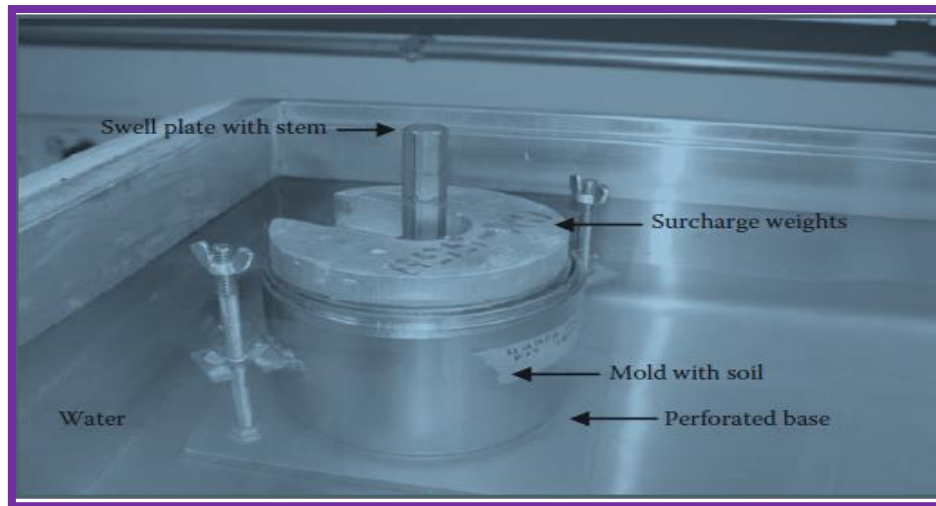
En la prueba CBR, una forma del ensayo de penetración, se utiliza un pistón cuadrado típico de 3 pulgadas para ingresar al suelo a un ritmo establecido de 0,05 pulgadas por minuto (Mallick y Tahar, 2013, pág. 176).

Una unidad de peso se mide en incrementos de 0,1 y 0,2 pulgadas a diferentes profundidades. Para imitar las peores circunstancias en las que

funcionaría el pavimento, la prueba CBR se da en un lugar que ha estado sumergido en agua durante 96 horas.

Figura 25

Muestra con un molde condensado y saturado con un baño de agua



Nota: (Mallick & Tahar, 2013, p. 176)

2.2.3.3 Estándares geotécnicos para determinar la estabilización de suelos

"Si el CBR de las bases de subrasante es inferior al 6%, o si hay áreas húmedas o blandas, es fundamental estabilizar, mejorar o reemplazar los materiales utilizados para las capas de subrasante". La cita se puede encontrar en la página 92 de MTC, 2014.

Según Liscano (2003), los suelos con un índice de carga de California inferior al 5% debían tratarse in situ con geotextil, cemento o cal, o debían sustituirse por un material mejor.

Con sus propiedades amortiguadoras, los geotextiles actúan como una capa protectora sobre las bases plásticas con un alto porcentaje de agua. Según Liscano



(2003, p. 31), la almohadilla se prueba para garantizar que la cantidad de fundación sea mínimamente el 95% del proctor modificado.

Las normas AASHTO 2002 establecen que el enfoque de diseño de pavimentos toma en cuenta la prevención de deformaciones plásticas en todos los niveles del sistema del pavimento, con enfoque en prevenirlas en la capa más débil (Minaya y Ordóñez, 2006, p. 6).

Las deformaciones estructurales están fuertemente influenciadas por el suelo de cimentación y no deben superar 1 mm. Se recomienda estabilizar todos los suelos que tengan un índice de carga de California (CBR) < al 8-10%.

2.2.3.4 Estabilización de suelos

El proceso incluye mejorar sus características físicas mediante el uso de técnicas mecánicas y la adición de compuestos sintéticos o naturales (MTC, 2014, p. 92).

Se pueden utilizar una variedad de enfoques, tal cual el reemplazo de la base, la estabilización mecánica, la mezcla, la estabilización con cal, la estabilización química, cemento, escoria, la estabilización con geotextiles, emulsión asfáltica, geomallas u otras técnicas, para mejorar el suelo de subrasante (MTC, 2014),, pág.92).

2.2.3.5 Optimización del suelo de fundación

Menéndez (2016) asegura que es fundamental considerar estabilizar o mejorar el suelo natural cuando el suelo debajo del pavimento no es lo suficientemente robusto para sostener el desarrollo. Esto se puede lograr mediante varios métodos, incluida la sustitución de suelo de mejor calidad, el uso de



geosintéticos como geotextiles y geomallas, o la estabilización manual del suelo agregando materiales granulares. Página 117

Menéndez (2016):

“El objetivo principal de la estabilización es cambiar o optimizar uno o más de los siguientes estándares”:

- “Uniformidad dimensional, para reducir los problemas de estiramiento o crecimiento”.
- “Fuerza de presión, para elevar el Modelo Resiliente del suelo de fundación”.
- “Permeabilidad, para bajar la filtración de material hídrico y, en consecuencia, la discontinuidad del elemento y el relativo poder de expansión relacionado con las heladas”.
- “Compresibilidad, para reducir alteraciones permanentes o plásticas”.
- “Durabilidad, para reducir cambios o disminuciones de resistencia y mejorar la estabilidad del material en el tiempo” (p. 118).

Para mejorar las propiedades del suelo, se utilizan materiales geosintéticos, incluidos geotextiles, geomallas y geomembranas (Bandara y Gunaratne, 2018, pág. 60).

Bandara y Gunaratne, 2018, p. 60. " Estas estructuras brindan soporte en terraplenes y suelos de cimentación, estableciendo obstáculos al movimiento del agua e impidiendo la mezcla de diferentes materiales, mejorando así el drenaje". Las aplicaciones de los geosintéticos incluyen drenaje, refuerzo, filtración y separación.



2.2.4 Características físico mecánicas de la base de la optimización de la subrasante

2.2.4.1 Subrasante

Un suelo natural de alta calidad o un material adecuadamente elegido suele formar la capa de base del pavimento (García, 2008, p. 7).

La parte inferior de las excavaciones en suelo natural o la capa superior del terraplén se denomina subrasante. Se compone de suelos cuidadosamente seleccionados con las cualidades deseadas y actúa como base para la creación del pavimento. Para garantizar que la subrasante pueda soportar la carga de tráfico esperada sin comprometer el suelo, se compacta. Este material está citado en la página 20 de MTC, 2014.

Para proporcionar suficiente estabilidad contra las tensiones provocadas por el peso del terraplén terminado, es necesario eliminar la turba o los suelos blandos del terraplén, total o parcialmente, y reemplazarlos con materiales de mayor calidad. Es posible utilizar un geotextil como capa de refuerzo o separación (Comunicaciones, 2013, p. 188).

2.2.4.2 Funciones

Las tareas de la subrasante son, según García (2008):

- "Transmitir y distribuir adecuadamente las cargas de tránsito al cuerpo del terraplén".
- "Evitar contaminar el pavimento con los finos materiales plásticos que forman el cuerpo del terraplén".
- "Evitar que la superficie de rodadura refleje imperfecciones en la base de corte".



- "Incluso espesores del pavimento cuando existe una variación significativa en los materiales de tierra a lo largo del camino".
- "Reducir el espesor del pavimento, especialmente si los materiales utilizados para el camino de tierra requieren un espesor importante".

(Huang, 2004, p. 59). "El propósito del pavimento es disminuir la fuerza ejercida en forma vertical del sustrato para evitar que el pavimento se deforme negativamente. El modelo de resistencia o resiliencia determina la tensión vertical dentro de una subrasante".

2.2.4.3 Características del suelo a incluirse en pavimentos

La solidez estructural y la eficacia de los pavimentos se basan en gran dimensión de las características de la base/subbase y de las capas de subrasante (Papagiannakis, 2008, p. 41).

Como elementos estructurales, las capas base y subbase de los pavimentos flexibles son encargadas de proporcionar suficiente resistencia y al mismo tiempo restringir las tensiones a un nivel que la subrasante pueda soportar (Papagiannakis, 2008, p. 41).

La distribución de las dimensiones de grano, la moldeabilidad, la comparación con la arena, la categorización basada en las propiedades del suelo, el contenido de humedad, la clasificación del suelo, la prueba del modelo de resiliencia (MTC, 2014, p. 30-37) y el ensayo de índice de rodamiento de California (CBR) son algunas de ellas. de los factores cruciales a considerar.

a: Granulometría

Es la composición, en porcentaje (%), de los diversos tamaños de partículas de agregado en una muestra. Esta proporción se suele indicar de mayor a menor



tamaño, por una cifra que representa, en peso, el porcentaje parcial de cada tamaño que pasó o quedó retenido en los diferentes tamices que se usan obligatoriamente para tal medición. (Toirac, 2012).

El objetivo de la evaluación granulométrica del suelo es hallar las cantidades relativas de sus componentes, que logran clasificarse según su dimensión mediante la técnica del tamiz.

b: La plasticidad

La capacidad de los suelos para retener su estructura por debajo de un cierto umbral de humedad sin degradarse se denomina estabilidad del suelo. Por lo tanto, cuanto más finos sean los constituyentes del suelo, más flexible será el suelo que los más gruesos. La referencia de esta información es (MTC, 2014, p. 31).

El límite líquido (LL), identificado por la prueba MTC E110, el límite plástico (LP), encontrado por la prueba MTC E111, y el límite de contracción (LC), encontrado por la prueba MTC E102, son los tres límites de Atterberg que cuantifican cohesión del suelo. El índice de plasticidad (PI), que se determina evaluando la diferencia entre el límite líquido (LL) y el límite plástico (LP) mediante la prueba MTC E 111, es otra consideración importante. MTC (2014), página 31.

$$IP = LL - LP \dots \dots (Ec.11)$$

El IP es una herramienta valiosa para clasificar el suelo, ya que mide en qué medida el suelo puede cambiar de forma cuando se expone a la humedad.

c: Índice de grupo



Un método establecido y ampliamente utilizado para clasificar suelos es el índice AASTHO. Su fundamento principal son los límites de Atterberg. La fórmula a continuación se usa para calcular el índice de grupo:

$$IG = 0.2 (a) + 0.005 (ac) + 0.01 (bd) \dots (Ec. 12)$$

d: Humedad natural

Para hallar el índice de carga de California (CBR) del suelo, el contenido de humedad natural (medido mediante la prueba MTC E 108) se puede comparar con el contenido de humedad ideal encontrado mediante la prueba supervisora (MTC, 2014).

e: Organización de los suelos

Desde una perspectiva geotécnica, se pueden identificar zonas homogéneas con la ayuda de la categorización descrita anteriormente, que permite predecir las características generales de los suelos. AASHTO y ASTM (SUCS) son los dos principales esquemas de clasificación (MTC, 2014, p. 33).

Al construir nueva infraestructura, a menudo se utilizan métodos de organización de suelos como SUCS y AASHTO. El material de subrasante en los suelos a menudo se clasifica utilizando el SUCS o Sistema Unificado de Clasificación de Suelos. Por el contrario, el área de ingeniería de carreteras y transporte a menudo utiliza el sistema de clasificación AASHTO para clasificar los materiales de subrasante y cimientos. Se recomienda informar los resultados en ambos formatos. El pasaje está tomado del libro de Menéndez de 2016, especialmente de la página número 80.



f: Abrasión los ángeles

Es el modo operativo ideal y a la vez es una medida de la degradación de agregados minerales de gradaciones normalizadas resultantes de una combinación de acciones, las cuales incluyen abrasión o desgaste, impacto o trituración del agregado (Comunicaciones M. d., 2016).

2.2.4.4 Estándar de los elementos

“Se debe evaluar la calidad de los materiales utilizados para la construcción de terraplenes y cualquier volumen proyectado. Se obtienen muestras para evaluar diversas cualidades entre ellas granulometría, limitaciones de consistencia, abrasión y categorización (Comunicaciones, 2013, página 192). En la Tabla N°13 del M.T.C. se detallan las pruebas que se deben realizar en el terraplén.

2.2.4.5 Condiciones de los elementos

Las excavaciones realizadas durante nivelaciones, préstamos laterales o canteras autorizadas deberán proporcionar los elementos necesarios para la ejecución de terraplenes. La fuente a la que se hace referencia se encuentra en la página 186 de la edición de 2013 de la revista Communications.

Los elementos usados para la ejecución de los terraplenes deben cumplir con las normas enumeradas en Tabla 14. Como a su vez tienen que cumplir los siguientes estándares de calidad: Los ángeles usan como máximo el 860% del material MTC E 207. Llevan tipos de material A-1-a, A-1-b, A-2-4, A-2-6 y A-3. Esta información fue publicada por primera vez en la revista Comunicaciones, especialmente en la página 186 de la edición de 2013.



2.3. Marco conceptual

El Geotextil Tejido Clase I

Es un tipo de material textil polimérico que es plano, poroso y diseñado para estar en contacto directo con el suelo. Según Pavco (2009), afirma que el geotextil funciona como un componente estructural, mejorando la capacidad de carga del suelo.

El Modelo De Resiliencia

Se utiliza para cuantificar las características elásticas de los suelos. El modelo de resiliencia es el parámetro empleado en la creación de pavimento flexible. La referencia es del trabajo de Minaya y Ordóñez publicado en 2006.

Capacidad de Soporte de la Subrasante

Se refiere a la capacidad de la subrasante, que es el terreno natural o los cimientos preparados debajo de una estructura, para resistir y distribuir la carga que se le impone.

La disponibilidad de carga de la subrasante se refiere a la disponibilidad de la base para aguantar las tensiones verticales impartidas por las cargas del tránsito. La referencia es del trabajo de Ordóñez y Minaya publicado en 2006. Según lo establecido por MTC (2014), los suelos con un (CBR) > 6% se consideran apropiados para su uso como nivel de subrasante.

Optimización del suelo de compactación

En determinadas situaciones en las que la base de fundación no es adecuada para soportar la estructura del pavimento, es necesario considerar la posibilidad de estabilizar o mejorar el suelo natural (Menéndez, 2016).



Estabilización De Suelos

Se refiere al proceso de mejorar la estabilidad y resistencia del suelo. La estabilización de suelos se refiere al proceso de mejorar las características físicas del suelo (MTC, 2014).

Las técnicas de estabilización abarcan el reemplazo del suelo, la estabilización mecánica del suelo, la mejora del suelo mediante la combinación de diferentes suelos y la estabilización lograda mediante la integración de productos químicos, ya sean naturales o sintéticos, como los geotextiles. La fuente referenciada es MTC (2014).

Ensayo De CBR (California Bearing Ratio)

La prueba California Bearing Ratio (CBR) es una forma sencilla y ampliamente usando para analizar la resiliencia de la base de subrasante.

Deflexión

Se refiere al deslizamiento vertical de la superficie del pavimento resultante del uso de una carga externa. Cada capa de la estructura se dobla, lo que resulta en la formación de tensiones y deformaciones dentro de cada capa. El extracto fue extraído de la publicación de Quintana de 2015.

Viga Benkelman

Haciendo referencia específica a Benkelman Beam (Fonseca, 2006). La viga de Benkelman es la herramienta predominante para calcular la deformación elástica de un pavimento. Proporciona información valiosa sobre las diversas condiciones y propiedades del pavimento, lo que lo hace altamente beneficioso para el diseño, construcción y mantenimiento de la estructura del pavimento.



Retro cálculo o Retro análisis

Con base en las deflexiones de la superficie observadas en cada capa del pavimento, el análisis inverso determina y examina las propiedades estructurales de cada capa. Esta investigación permite estimar el modelo robusto de la subrasante.

La fuente proporcionada fue publicada en 2014 por Redrovan.



CAPÍTULO III

METODOLOGIA DE INVESTIGACIÓN

3.1. Enfoque de investigación

Investigación cuantitativa

A través del análisis de patrones y relaciones causales entre muchos componentes, la investigación cuantitativa tiene como objetivo comprender y predecir sucesos. Para lograrlo, recopile información y utilice medidas numéricas para evaluar teorías. (Gotuzzo, 2007, p. 36).

3.2. Nivel de investigación

Nivel explicativo

Ya que la finalidad de este proyecto es aclarar las causas fundamentales de eventos, sucesos y fenómenos, cae dentro de la categoría de investigación explicativa. Su principal objetivo es esclarecer las causas fundamentales de una alteración. (Gotuzzo, 2007, p. 33).

3.3. Modelo de investigación

Estamos realizando una serie de estudios explicativos de causa y efecto en esta medida. El modelo o esquema que ilustra el vínculo entre las variantes y nos



dirige a recopilar información para respaldar o refutar la hipótesis se denomina "diseño" en este contexto (Charaja, 2011, citado en 187).

Diseño Experimental

La razón por la cual nuestro trabajo de investigación tiene un diseño experimental es porque se basa en las alteraciones intencionales de una actividad para examinar sus posibles efectos. La variable independiente en este caso es lo que pasa y la variable dependiente es la relación que ocurre como resultado del efecto.

3.4. Descripción del ámbito de la investigación

La investigación se centra en mejorar la capacidad de carga de un suelo débil mediante el uso de un geotextil tejido como apoyo. La parte geotécnica del estudio incluye la definición del alcance del proyecto.

3.5. Población y muestra de la investigación

Población

Los suelos de subrasante de la ciudad de Juliaca, los cuales tienen baja capacidad portante y se consideran inadecuados para pavimentos flexibles, son el foco de esta investigación.

Muestra

Se construirán dos subestructuras de subrasante, una de las cuales será una estructura idéntica, pero sin el uso de geotextil. La primera subestructura consistirá en suelo nativo reforzado con geotextil, mientras que la subestructura posterior se reforzará con material de origen externo. La muestra de material utilizado para el nivel de optimización fue extraída de la cantera de Taparachi, ubicada en la ciudad de los vientos.

Tabla 4

Locación y elaboración de las dos subestructuras de análisis

Locación y elaboración de las dos subestructuras de análisis			
Locación de la zona donde se realiza el estudio	Locación por coordenadas UTM	Elaboración de las dos subestructuras de control y experimento	
Departamento : Puno Región : Puno Provincia : San Román Distrito : Juliaca Lugar: Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez	Norte: 8282290.92	Elaboración de la Subestructura sin geotextil control <ul style="list-style-type: none"> • Suelo natural • Nivel de Material de relleno de la Cantera Taparachi conformada con las siguientes dimensiones: Largo: 10 m Ancho: 5 m Altura: 30 cm 	Conformación de la Subestructura con geotextil tejido TR 4000 Experimento <ul style="list-style-type: none"> • Suelo natural • Geotextil tejido TR4000 • Capa de Material de relleno de la Cantera Taparachi conformada con las siguientes dimensiones: Largo: 10 m Ancho: 5 m Altura: 30 cm
	Este: 379553.22		

Nota: Elaboración Propia

3.6. Métodos e instrumento para la recolección de datos

Según Charaja (2011), los métodos de proyecto son procedimientos específicos que deben guiarse con el fin de recopilar los datos necesarios para confirmar una hipótesis o probar una posición que hemos tomado al iniciar un proyecto de investigación. Estas técnicas son fundamentales en las etapas iniciales de concepción de un tema de investigación.

Por lo tanto, el enfoque de recopilación de datos implica una fusión de investigaciones de laboratorio y de campo. La bibliografía para el marco teórico se agrupo a partir de libros, tesis y artículos publicados entre 2004 y 2016.

3.7. Validez y confiabilidad del instrumento

3.7.1 Validez del instrumento



La frase "los materiales son aquellos medios que nos dejan registrar la información que observamos en las técnicas de investigación" (p. 318) es una de las afirmaciones de Charaja (2011). Según la explicación proporcionada por Charaja (2011). El grado en que un instrumento mide realmente la variable que pretende medir se conoce como validez. Definimos validez como la presencia de una relación entre la finalidad del estudio y el instrumento. Puede considerarse legítimo si tiene sentido. El nivel en que un material dimensiona realmente otra variante se denomina validez. Línea 331.

Para evaluar la veracidad del elemento se utilizaron experimentos de laboratorio sobre las cualidades físicas del suelo de la cantera y pruebas in situ utilizando una viga Benkelman para confirmar el suelo natural. Al realizar estas pruebas se siguieron los estándares del Manual de pruebas. El personal técnico del laboratorio de suelos suministró fichas técnicas en las que se registraron visualmente los datos recogidos. Esto garantiza que el producto de la prueba sea exacto. Para el experimento se usó un haz Benkelman de un solo brazo marca Humboldt.

Uno de los camiones utilizados en esta prueba fue un camión C2 con un peso en el eje trasero de 8200 kg y una presión de inflado de 80 libras por pulgada cuadrada.

3.7.2 Confiabilidad del instrumento

Considerando la descripción dada por (Gotuzzo, 2007). "La confiabilidad se mide por los resultados de repetir la prueba que da los mismos resultados en un momento diferente" (p.451). Se realizaron pruebas en el laboratorio de mecánica de suelos de la UANCV - ciudad de Juliaca para verificar la confiabilidad del instrumento. El propósito de estos estudios fue evaluar las cualidades



mecanicamente y físicamente de la base de la cantera. También se realizaron experimentos de campo para determinar la fiabilidad del haz de Benkelman.

3.8. Modelo de la Distinción de la hipótesis

El enfoque más óptimo para evaluar la hipótesis sería emplear la prueba estadística t de Student para una sola muestra. El propósito de esta prueba es examinar la hipótesis nula, que afirma que el valor promedio de la población es igual a una cantidad específica que corresponde a la media establecida. Además, esta prueba examina poblaciones pequeñas que constan de menos de 25 puntos de datos y utiliza parámetros cuantitativos. Nuestro objetivo principal es determinar si la utilización de una geotextil mejora la resiliencia de suelos con capacidad de carga limitada en un factor de 1,8.

La fórmula para este ensayo es la siguiente:

$$t_o = \frac{\bar{X} - u_0}{\frac{S}{\sqrt{n}}} \dots \dots \dots (Ec. 10)$$

Donde

\bar{X} : Media

S: Desviación media.

N: Dimensión de la muestra.



CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Demostración de resultados, discusión y conclusiones

4.1.1 Metodología de trabajo en campo

4.1.1.1 Introducción

Para la construcción de las subestructuras controladas y experimentales se llevaron a cabo las siguientes acciones:

La primera etapa: encontrar un suelo blando con capacidad de carga limitada fue la primera etapa. En este lugar se construyeron las subestructuras experimentales y de control. Estas subestructuras se encuentran en la Ciudad Universitaria de la UANCV, la cual se encuentra detrás de la facultad de salud.

La segunda fase: fue formar los dos subsistemas para el experimento y el control. Las medidas de cada una de estas subestructuras fueron de 10 metros de largo por 5 metros de ancho por 30 centímetros de alto. Para crear las subestructuras se siguió la siguiente secuencia de trabajo:

- **Primero:** con ayuda de equipos topográficos se realizó el diseño correspondiente de las proporciones requeridas para las dos subestructuras.



- **Segundo:** Para llegar a la segunda ubicación, se cortó el terreno con una niveladora.
- **Tercero:** En tercer lugar, tanto la subestructura de control como el suelo natural de la subestructura experimental se cubrieron con el geotextil tejido TR 4000. Posteriormente se le agregaron 30 centímetros de elemento para rellenar que viene de la cantera de Taparachi.
- **Cuarto:** El material se extendió con una motoniveladora y se batió para preservar el contenido de humedad ideal. Posteriormente, el material fue compactado utilizando un rodillo vibratorio liso, y su estado compactado fue confirmado mediante la prueba de espesor de campo.

Tercera fase: Para determinar las deformaciones máximas en diferentes sitios, en la segunda fase del procedimiento se realizó la prueba de viga de Benkelman en ambas subestructuras.

Cuarta etapa: incluyó el uso de modelos elásticos, que estaban compuestos de dos capas, para analizar los datos en el trabajo de oficina de acuerdo con el enfoque del análisis de capas de conformación. Además, el modelo de resiliencia de bases con poca disponibilidad de carga se obtuvo mediante el uso del software KENLAYER. Esta diferencia, que se encontró en las subestructuras experimentales y de control, ha demostrado cómo el geotextil tejido contribuye o tiene un impacto en las bases de poca disponibilidad de carga.

4.1.1.2 Verificación de las subestructuras de registro y análisis

a: Disposición y excavación de terreno para la creación de las subestructuras

Para determinar el trazado se utilizó equipo topográfico, específicamente un nivel de ingeniero Leyca NA 720 con un aumento de 20x. Las dimensiones del lugar de trabajo eran 10 metros de largo, 5 metros de ancho y 30 metros de alto.

Después de eso, el suelo fue esculpido utilizando un potente equipo de motoniveladora para crear una superficie nivelada y uniforme.

Figura 26

Limpieza y corte del terreno donde se realizó el experimento



Nota: elaboración propia

En la Figura 26 se utiliza una robusta motoniveladora para excavar el terreno, el cual desciende a una depresión de 0.5 m bajo el nivel actual del suelo.

b: Agrupación, juntado o batido, fundación y prueba de densidad de campo en las subestructuras.

Luego se colocó el geotextil tejido sobre una de las subestructuras después de nivelar el área cortada para garantizar que las subestructuras estuvieran

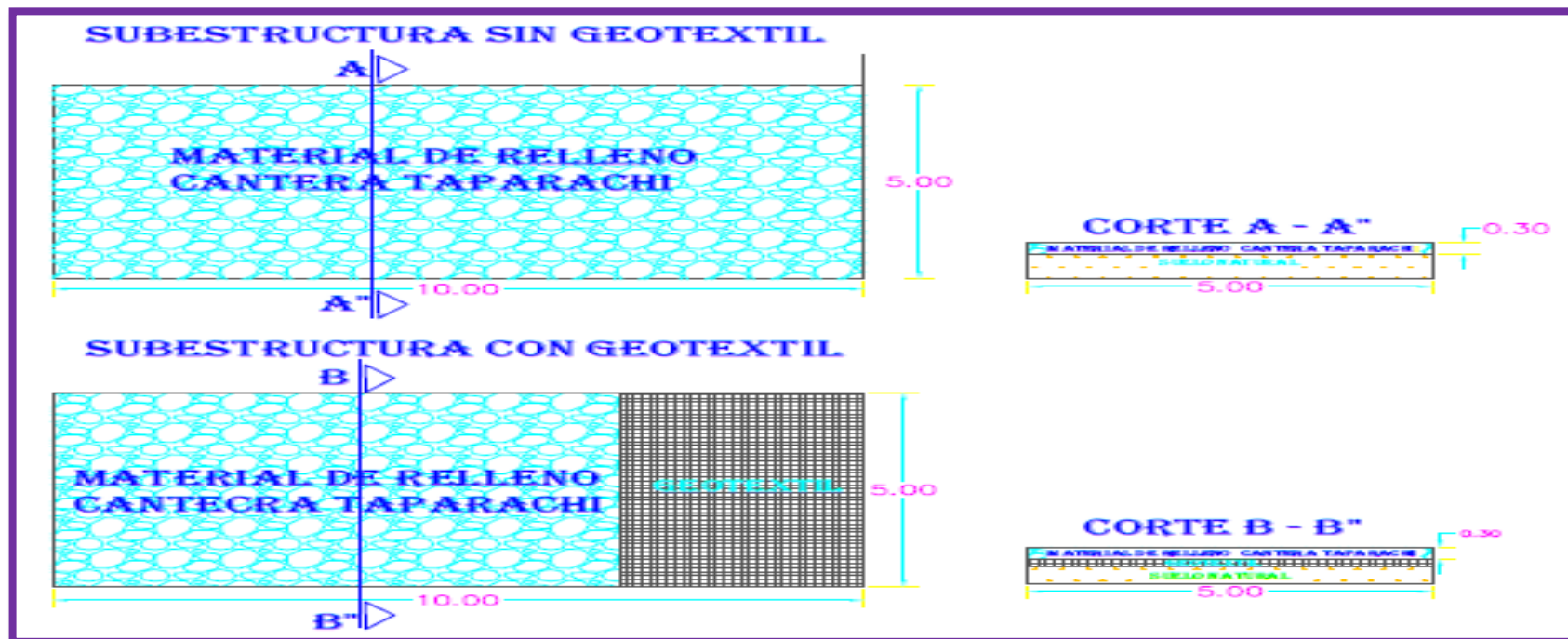


dispuestas correctamente. Por otro lado, el geotextil que debía actuar como comparación o control en el experimento no estaba en la otra subestructura. Posteriormente, se utilizaron materiales prestados de la cantera de Taparachi para rellenar ambas subestructuras. La idoneidad del material prestado fue previamente evaluada mediante pruebas de laboratorio de acuerdo con los criterios EG-2013.

Como se muestra en la Figura 27, las subestructuras midieron 10 m de largo, 5 m de ancho y 30 centímetros de alto.

Figura 27

Dimensiones de las subestructuras



Nota: Elaboración propia

Figura 28

Agrupación de la subestructura sin geotextil



Nota: Elaboración propia

El diseño del sistema de inspección, que utiliza elementos para rellenar de la cantera, se señala en la Figura 28.

Figura 29

Elaboración del sistema con geotextil



Nota: Elaboración propia

La disposición de la subestructura experimental se muestra en la Figura 29, donde el elemento sacado de la cantera se estratifica sobre el geotextil tejido TR 4000.

Figura 30

Elaboración de los sistemas con elemento de la cantera



Nota: Elaboración propia

La dispersión y mezclado del material al nivel óptimo de humedad, así como la densidad lograda en laboratorio mediante la prueba proctor modificada, se muestran en la Figura 30.

Figura 31

Nivelación del elemento de elaboración hasta una altura de 30 centímetros



Nota: Elaboración propia

El procedimiento de pavimentación y conformado hasta una dimensión de 30 centímetros se muestra en la Figura 31 utilizando elemento para rellenar de la cantera.

Figura 32

Riego en el sistema con cisterna



Nota: Elaboración propia

Hasta una altura de 30 centímetros, la Figura 32 ilustra el procedimiento de pavimentación y perfilado con elemento para rellenar sacado de la cantera.

Figura 33

Compactación de las subestructuras



Nota: Elaboración propia

Se utilizó tecnología de rodillo liso para la compactación después de la forma de la subestructura y el perfilado para lograr homogeneidad, como se observa en la Figura 33.

Figura 34

Ensayo de densidad de campo en las subestructuras



Nota: Elaboración propia

El ensayo de densidad de campo utilizando el método del Cono de Arena tanto en la subestructura experimental como en la de control se muestra en la Figura 34, cumpliendo con los requisitos técnicos especificados en la norma MTC E 117. Los resultados de compactación en ambas subestructuras se observan en el Tabla No. 5.

Tabla 5

Datos obtenidos de densidad in situ vs MTC 2014

Subestructura	Densidad seca (gr /cm ³)	Grado de compactación en campo (%)	Grado de compactación según MTC_2014
Subestructura con geotextil	2.21	99.43 %	90 %
Subestructura sin geotextil	2.21	99.43%	90%

Nota: Elaboración Propia

Según la tabla número. 5, la compactación lograda para la subestructura sin y con geotextil fue la misma. El nivel de fundación de la subrasante fue del 99.43% de la densidad seca (gr/cm^3), siguiendo con los requisitos del MTC 2014 para esta capa en términos de compactación.

4.1.1.3 Análisis de los sistemas de inspección y desarrollo

a: El análisis se realizó con viga Benkelman a través de deflexiones

Este modo implica medir la alteración que ocurre en la superficie de una subestructura bajo la aplicación de una carga normalizada conocida. Un instrumento mecánico de dos brazos llamado viga de Benkelman se utiliza para medir los desplazamientos verticales de un punto de choque que se sitúa entre las dos ruedas del eje de carga. El camión en cuestión tiene una carga en el eje trasero de 8,2 t y un inflado de neumáticos de 80 psi.

Figura 35

Instrumento viga Benkelman para dimensionar las deflexiones en las subestructuras



Nota: Elaboración propia

La inspección del equipo de vigas Benkelman para determinar si se hallan en óptimas condiciones dables para detectar deformaciones en las subestructuras se observa en la Figura 35.

Figura 36

Marcado con yeso donde se va a realizar las deflexiones



Nota: elaboración propia

En la Figura 36 se muestran marcas de yeso que designan los sitios precisos donde se llevó a cabo la prueba de viga Benkelman para determinar las mayores deflexiones en los sistemas.

Figura 37*Dimensionamiento de deflexiones con viga Benkelman*

Nota: Elaboración propia

Las mayores deflexiones medidas con la viga Benkelman en el terreno se muestran en la Figura 37.

4.1.1.4 El desarrollo de información se realiza para derivar el modelo resistente de los sistemas de supervisión y experimento

a: Factor de ajuste utilizado para corregir las mayores deflexiones obtenidas en campo

El modelo robusto generado por el cálculo retrospectivo es mayor que el encontrado en el laboratorio, según la Guía AASHTO (1993). Como resultado, se recomienda utilizar un factor de ajuste para garantizar la compatibilidad con el valor que se utilizó para desarrollar el método AASHTO. Para este factor, un valor ideal es 0,33. (Guzmán e Higuera, 2016).

Tabla 6

Deflexiones corregidas por un factor de ajuste 0.33 según AASTHO

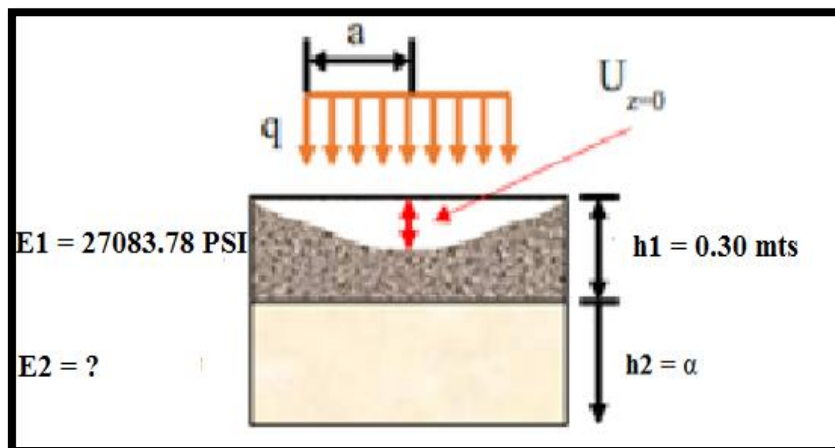
N°	Deflexiones máximas del tramo del experimento con Geotextil (mm)	Deflexión corregida por un factor de 0.33 de AASTHO tramo del experimento con geotextil (mm)	Deflexiones máximas del tramo de control sin Geotextil (mm)	Deflexión corregida por un factor de 0.33 de AASTHO tramo de control sin geotextil (mm)
1	5.01	1.64	6.47	2.13
2	4.45	1.48	6.28	2.09
3	3.67	1.22	6.43	2.13
4	5.49	1.82	6.34	2.08
5	3.88	1.27	7.63	2.53
6	4.95	1.65	6.41	2.12
7	5.28	1.76	6.28	2.09
8	3.71	1.23	7.63	2.51
9	5.38	1.78	5.63	1.87
10	5.49	1.82	6.49	2.13
11	5.15	1.71	5.17	1.72
12	5.01	1.66	6.84	2.27
13	4.58	1.50	4.76	1.57
14	4.78	1.59	6.34	2.08
15	5.01	1.64	6.28	2.07

Nota: Elaboración propia

b: Desarrollar un modelo robusto analizando la capa de elaboración utilizando sistemas elásticos bicapas

Figura 38

Modelo del esquema bicapa



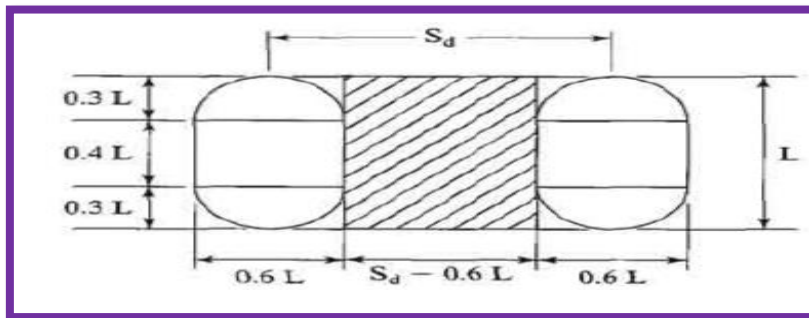
Nota: (Vásquez y Garcia, 2017)

1: Procedimiento para transformar un esquema dual en un esquema circular singular con el fin de calcular el área de contacto

El valor del área de contacto se calcula a partir de la ecuación No. 6 dada anteriormente.

Figura 39

Transformar un esquema doble a un esquema simple



Nota: (Huang, 2004)

$$a = \sqrt{\frac{0.8521 * p_d}{q * \pi} + \frac{S_d}{\pi} * \left(\frac{p_d}{0.5227 * q}\right)^{\frac{1}{2}}}$$

Información del automóvil

Pd: El peso sobre una rueda es de 4519 libras.

q: La presión de contacto es de 80 libras por pulgada cuadrada (Psi).

sd: La distancia entre ejes es igual a 14,96 pulgadas.

π : El símbolo π representa la constante matemática pi. El valor numérico de pi es 3,1416.

$$a = \sqrt{\frac{0.8521 * 4519}{80 * 3.1416} + \frac{14.96}{3.1416} * \left(\frac{4519}{0.5227 * 80}\right)^{\frac{1}{2}}}$$

$$a = 8.05 \text{ Pulg}$$



2: Ecuación para determinar la mayor deflexión

La deflexión límite se conoce tal como se determinó previamente mediante la utilización de la prueba de viga Benkelman en el campo. El objetivo de nuestro estudio es conocer el modelo de resiliencia natural del suelo (MR 2), que requiere el uso de las fórmulas a continuación:

$$U_{z=0} = \frac{1.5 * q * a}{E_2} * F_2$$

Datos:

Cuando Uz es igual a cero: La deflexión máxima es igual a 0.16 cm.

La fuerza ejercida es constante de 80 libras por pulgada cuadrada (PSI).

a: El radio de la región circular es de 8,05 pulgadas.

Deficiencias en nuestros valores

E2: Nos interesa encontrar el modelo resiliente del nivel inferior del natural suelo.

F2: El componente se base en las interacciones entre h1/a y E1/E2.

3: Calculo del factor F2

$$F_2 = \left\{ \left| 1 - \frac{1}{\sqrt[2]{1 + \alpha * \left(\frac{h_1}{a}\right)^2}} \right| * \left(\frac{E_2}{E_1}\right) + \frac{1}{\sqrt[2]{1 + \left(\alpha * \frac{h_1}{a} * \sqrt[3]{\frac{E_1}{E_2}}\right)^2}} \right\}$$



Donde:

α : Es una variable utilizada para modificar ecuaciones con el fin de representar con precisión las reacciones del modelo elástico multicapa. El valor numérico asignado a la variable α en la fórmula original de Kirk es 0,9. Arriba encontrará definiciones de los términos utilizados en las otras ecuaciones.

Para continuar, es necesario ingresar los valores iniciales para los modelos elásticos de ambas capas. Para obtener una mayor precisión, es necesario obtener los datos específicamente de la capa 1, que deben correlacionarse directamente con el valor CBR de laboratorio del 50%.

Información de la primera capa del elemento de relleno

El modelo de la primera capa resiliente se correlaciona positivamente con un valor cbr del 50%.

El valor de Mr se puede calcular utilizando la fórmula

$$Mr = 2555 * CBR^{0.64} \text{ Psi}$$

$$Mr = 2555 * 50^{0.64} \text{ Psi}$$

$$Mr = 31241.49 \text{ Psi}$$

Altura de la capa 1

H = 30 cm convirtiendo a Pulg H = 11.81 Pulg

Valores del suelo de fundación de la segunda capa

Modelo resiliente de la capa 2 correlacionado con cbr = 6.70%

$$Mr = 2555 * CBR^{0.64} \text{ Psi}$$

$$Mr = 2555 * 6^{0.64} \text{ Psi}$$

$$Mr = 8042.81 \text{ Psi}$$



Altura de la capa 2

H = Es infinita

Ahora es posible cambiar en la ecuación de F2

$$F_2 = \left\{ \left| 1 - \frac{1}{\sqrt[2]{1 + 0.90 * \left(\frac{11.81}{8.05}\right)^2}} \right| * \left(\frac{8631.35}{27083.78}\right) + \frac{1}{\sqrt[2]{1 + \left(0.90 * \frac{11.81}{8.05} * \sqrt[3]{\frac{8631.45}{27083.78}}\right)^2}} \right\}$$

F2 = 0.54

Por último, reemplazamos en la ecuación para analizar la deflexión máxima

$$U_{z=0} = \frac{1.5 * q * a}{E_2} * F_2$$

$$U_{z=0} = \frac{1.5 * 80 * 8.05}{8042.81} * 0.54$$

$U_{z=0}$ 0.0648 pulg

$U_{z=0}$ 1.65 mm

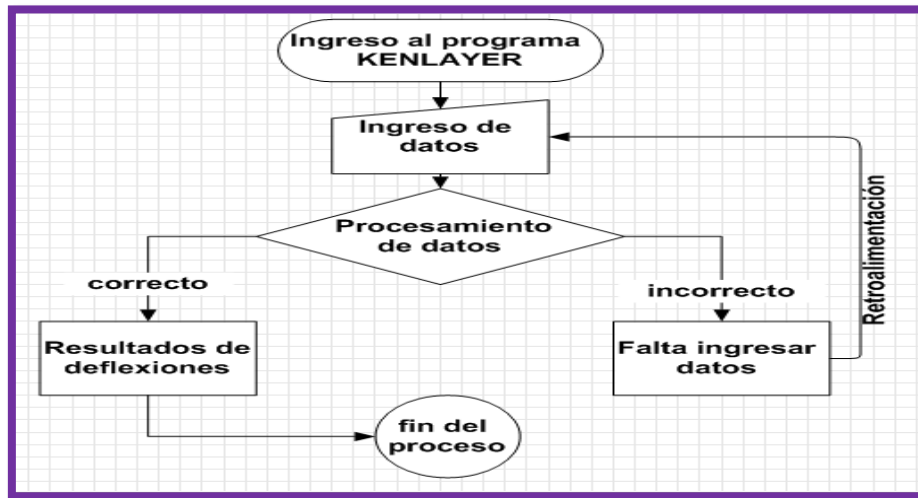
Por ende, concuerda con la alteración adquirida observada de 1,65 mm en el campo correspondiente. Esto sugiere que la cifra del 6% para el CBR (California Bearing Ratio) es exacta. Como resultado, se encuentra que 8042,81 Psi es el modelo de elasticidad en ese punto preciso. transformándolo a 55,45 megapascales de presión.

c: Modelo resiliente mediante software kenlayer

Luego de la adquisición y ajuste de nuestras deflexiones, procedimos con el trabajo del gabinete para determinar el modelo robusto.

Figura 40

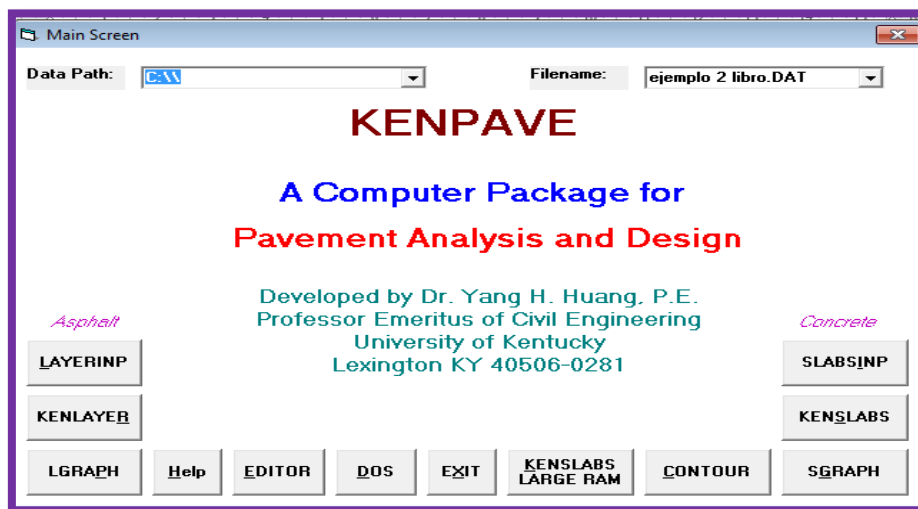
Procedimiento de análisis de deflexiones en kenlayer



Nota: Elaboración propia

Figura 41

Programa para calcular las deflexiones



Nota: Elaboración propia

Figura 42

Ingreso de numero de capas

General Information of LAYERINP for Set No. 1

TITLE: CALCULO DE DEFLEXIONES

Type of material (1=linear, 2=nonlinear, 3=viscoelastic, 4=combined) (MATL)	1
Damage analysis (0=no, 1=yes with summary only, 2=yes with detailed printout) (NDAMA)	0
Number of periods per year (NPY)	1
Number of load groups (NLG)	1
Tolerance for numerical integration (DEL)	0.001
Number of layers (NL)	2
Number of Z coordinates for analysis (NZ)	2
Maximum cycles of numerical integration (ICL)	80
Type of responses (1=displacements only, 5=plus stresses, 9=plus strains) (NSTD)	9
All layer interfaces bonded (1=yes, 0=if some are frictionless) (NBOND)	1
Number of layers for bottom tension (NLBT)	1
Number of layers for top compression (NLTC)	1
System of units (0=English, 1=SI) (NUNIT)	0

OK

(1) This form appears when the 'General' on the Main Menu of LAYERINP is clicked. You can override any of the default values by typing in a new value. You can use the Tab key to move the cursor from one textbox to the next or just click on the textbox before typing. The use of click has the advantage that you don't have to delete the default before typing in the data you want. If you want to read the remaining text, you can use the scrollbar. You can also use the PgDn key after clicking this textbox to make it active.

(2) TITLE (title of run): Any title or comment can be typed on one line. The title should not be longer than 68 characters including spaces. If you make a mistake in typing, use the Del key to erase any typographical errors. When the total length reaches 68, no additional characters can be added. No comma should be used in TITLE. Use colon or semicolon instead.

(3) MATL (types of material): 1 when all layers are linear elastic, 2 when some layers are nonlinear

Nota: Elaboración propia

Figura 43

Ingreso de las alturas de las capas

Z Coordinates of Response Points for Data Set No. 1

Unit in.

Point No.	ZC
1	0
2	11.81

(1) This form appears when the 'Zcoord' menu on the Main Menu of LAYERINP is clicked. The number of Z coordinates on this form is equal to NZ, as specified in the 'General' menu. This form is different from the one used for General Information in that a dotted rectangle, instead of the cursor, is used to indicate the active cell. If the dotted rectangle is not the location for input, you can use the arrow key to move the dotted rectangle to the cell you want to input, or more conveniently by clicking the cell you want. After you type in the data, the dotted rectangle will be changed into a three dimensional box and you must press the Enter key to make it effective. You can also use the up and down arrow keys to make the entry effective. You should not click the other cell before pressing the Enter key, otherwise the data you have typed will move to the cell you click.

(2) ZC (vertical distance, or z coordinate, of each response point): When the point is located exactly at the interface between two layers, the results are at the bottom of upper layer. If the results at the top of lower layer are desired, a slightly larger z coordinate, say 0.0001 larger, should be used.

(3) After typing in the data in the first cell, move to the next cell by pressing the Enter or arrow down key.

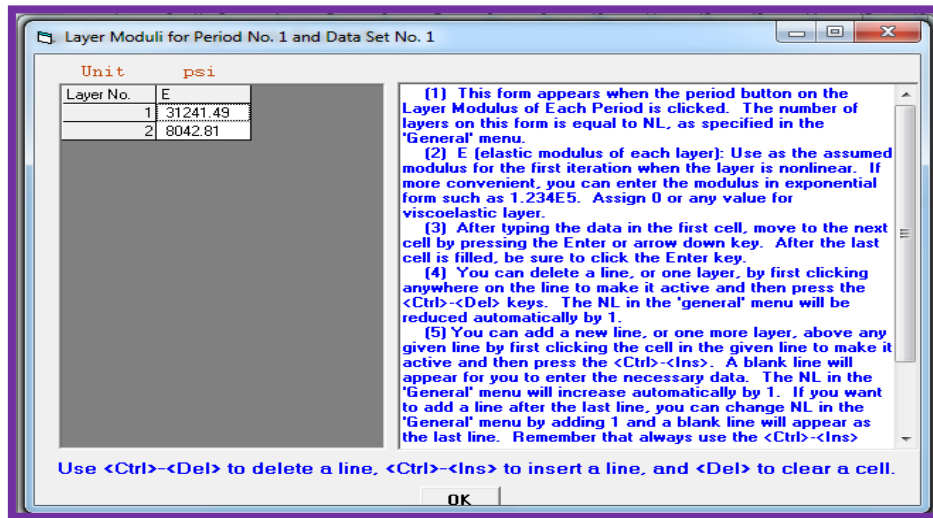
Use <Ctrl>- to delete a line, <Ctrl>-<Ins> to insert a line, and to clear a cell.

OK

Nota: Elaboración propia

Figura 44

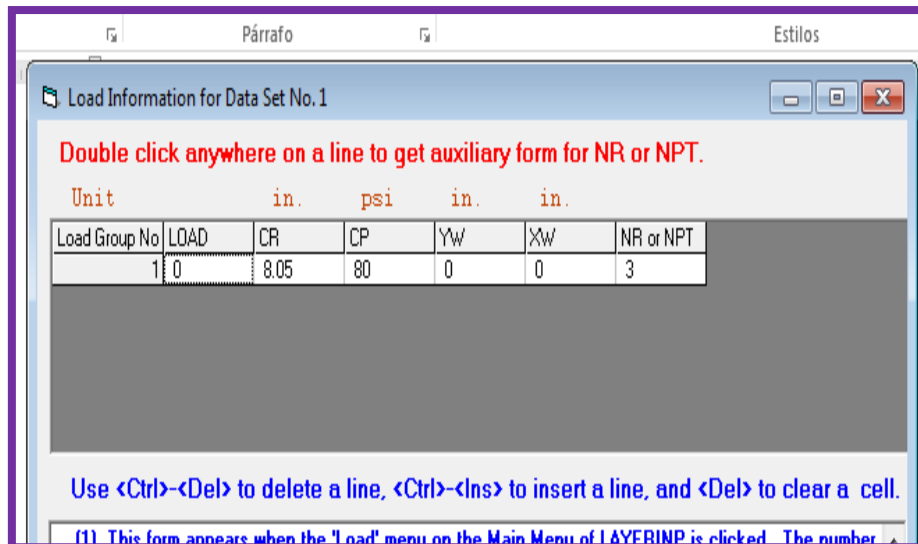
Ingreso del modelo de resiliente de las capas



Nota: Elaboración propia

Figura 45

Ingreso de cargas



Nota: Elaboración propia

Figura 46

Resultados procesados por el programa kenlayer

RADIAL COORDINATE	VERTICAL COORDINATE	VERTICAL DISPLACEMENT	VERTICAL STRESS (STRAIN)	RADIAL STRESS (STRAIN)	TANGENTIAL STRESS (STRAIN)	SHEAR STRESS (STRAIN)
0.00000 (STRAIN)	0.00000	0.06480	80.000 -9.086E-04	108.386 4.543E-04	108.386 4.543E-04	0.000 .000E+00
0.00000 (STRAIN)	11.81000	0.05200	21.452 2.137E-03	-45.303 -1.068E-03	-45.303 -1.068E-03	0.000 .000E+00
4.02500 (STRAIN)	0.00000	0.06205	80.000 -8.333E-04	111.217 3.981E-04	111.991 4.353E-04	0.000 -.269E-10
4.02500 (STRAIN)	11.81000	0.04991	19.474 1.885E-03	-38.116 -8.803E-04	-40.703 -1.005E-03	3.339 .321E-03
8.05000 (STRAIN)	0.00000	0.05058	80.000 -6.452E-04	58.936 2.640E-04	61.376 3.812E-04	0.000 .426E-11
8.05000 (STRAIN)	11.81000	0.04454	14.579 1.268E-03	-20.842 -4.325E-04	-29.237 -8.356E-04	5.074 .487E-03

Nota: Elaboración propia

El software proporciona una desviación máxima de 0,06480 pulgadas. Puede convertir este número a 1,65 mm. Esto asegura que la desviación entre las estimaciones del programa de computadora y las observaciones terrestres que utilizan el haz de Benkelman tenga una variación baja. Esto sugiere que la conllustración de entrada del programa es correcta. Por lo tanto, se encuentra que el suelo natural en este sitio en particular tiene un modelo de resiliencia de 8042,81 Psi o 55,45 MPA.

De manera similar, se examinó cada punto de datos y la tabla número 7 muestra los hallazgos.

Tabla 7*Resumen de modelos resilientes logrados por retrocálculo***Resultados del Modelo resiliente obtenidos por retrocálculo a partir de las deflexiones**

N° de pruebas	CBR de suelo natural sin Geotextil (%)	Modelo de resiliente Sin Geotextil (MPA)	Modelo de resiliente con Geotextil (MPA)
1	3.04	35.95	55.44
2	3.29	37.67	67.74
3	3.13	36.48	95.36
4	3.21	37.24	47.44
5	7.61	64.52	86.86
6	3.14	36.71	55.45
7	3.28	37.68	50.29
8	7.60	64.51	94.06
9	4.40	45.47	49.35
10	3.05	35.96	47.43
11	5.50	52.45	52.75
12	2.65	32.87	55.45
13	6.80	60.08	64.51
14	3.22	37.68	60.08
15	3.27	37.60	55.45
promedio	4.21	43.53	62.51

Nota: Elaboración Propia

Los hallazgos de nuestro estudio para satisfacer las metas planteadas se muestran en la Tabla 7. Sin geotextil, el modelo resiliente promedio de la subestructura de control es de 43,53 MPa. Por el contrario, la subestructura geotextil del experimento tuvo un Modelo Resiliente promedio de 62,51 Mpa. Esta variación ilustra ampliamente el efecto del geotextil tejido. En suelos con baja capacidad de carga, el geotextil solo aumenta el modelo de resiliencia en un promedio de 1,43 veces, según un aumento de 18,99 Mpa en el modelo de resiliencia. Además, se muestra el valor medio de CBR del suelo natural (4,21%). Este valor cae por debajo del umbral del 6%, lo que confirma que el suelo no es apto para su uso como subrasante.



4.1.2 Metodología de trabajo en laboratorio

4.1.2.1 Inicio

Para conocer las características físico mecánicas del elemento sacado de la cantera, se utilizó en el lapso a continuación mostrado en el trabajo:

Inicialmente, el material fue sacado de la cantera de Taparachi y sacudido a través de una pantalla de tres pulgadas. Después de eso, fue llevado al laboratorio y sometido a una serie de pruebas, incluido análisis granulométrico, LL, LP, IP, clasificación del suelo, abrasión de Los Ángeles, supervisor modificado y CBR.

4.1.2.2 Elemento sacado de la cantera de la ciudad de los vientos para ser parte el nivel de optimización

La cantera está situada en la provincia de San Román, departamento de Puno, al suroeste de la ciudad de Juliaca. Estas son sus coordenadas topográficas: Sus coordenadas son 378225.00 este y 8283805.00 norte, y su elevación es 3825.00 metros sobre el nivel del mar. La cantera de Taparachi tiene una capacidad de dos millones de metros cúbicos y puede producir alrededor de dos millones de metros cúbicos de material.

Figura 47

Vista de la cantera Taparachi



Nota: (Mamani, 2019, p. 71)

Figura 48

Obtención de la muestra para caracterizar la subrasante



Nota: Elaboración propia

4.1.2.3 Dimensionamiento de la muestra para calificar las cualidades del material de la capa de optimización

Todo el ensayo requerido para este estudio se aplicó de acuerdo con los lineamientos proporcionados en el Manual de la Cantera Taparachi. Este estudio se relaciona con la caracterización de las cualidades físico-mecánicas del suelo de la cantera para la construcción de la subrasante.

Los montos anticipados para cada prueba que cumpla con los parámetros se muestran en la Tabla 8, la cual está basada en los requisitos desarrollados en el Manual de Ensayos de Materiales del MTC (2016).

Tabla 8*Elemento necesario para los ensayos*

Ensayo	Norma MTC	Cantidad (KG)	N° de Ensayos (Und)	Parcial
Granometría	E 204	20	1	20
Límite de consistencia	E 111	20	1	20
Contenido de material orgánico	E 118	20	1	20
Abrasión de los Ángeles	E 207	20	1	20
Relación densidad humedad	E 115	20	1	20
Pretor modificado	E 115	30	3	90
Cbr	E 132	30	3	90
total, de material requerido para los ensayos (kg) =				280

Nota: Elaboración propia

4.1.2.4 Cualidades físicas del suelo de la cantera Taparachi para la capa de optimización

A: Evaluación granulométrica

Para la prueba de análisis granulométrico se necesitan unos 5000 gramos de material. Luego se utilizó el tamiz No. 4 para separar las muestras gruesas y finas. Se utilizó el tamiz No. 4 para el ensayo grueso y el tamiz No. 200 para las partículas durante el proceso de lavado posterior. A continuación, las muestras gruesas y finas correspondientes se secaron en el horno a 110 grados centígrados durante



veinticuatro horas. Las muestras se secaron y luego se pesó cada muestra gruesa y fina antes de pasarla por un conjunto diferente de tamices designados para fina y gruesa, individualmente. Por último, se halló el peso mantenido en cada filtro.

Ejecución de datos

El peso de la muestra antes del tamizado se resta del peso de la muestra después del tamizado para hallar la carga perdida. Esto muestra cuánta muestra se perdió durante el procedimiento de tamizado.

El porcentaje de peso caído es del 2,24%; Esta es una cantidad moderada y adecuada para el trabajo que estamos desempeñando.

Luego seguimos adelante e hicimos las modificaciones necesarias en función del porcentaje alcanzado. Luego se calculó utilizando este método la proporción del total que se retuvo:

$$\% \text{ Retenido} = \frac{\text{Peso retenido en el tamiz}}{\text{peso total}} * 100$$

$$\% \text{ que pasa} = 100 - \% \text{ retenido acumulado}$$

$$\% \text{ que pasa } N^{\circ} 200 = \frac{\text{Peso total} - \text{peso retenido por la } N^{\circ} 200}{\text{peso total}} * 100$$

En la Tabla 9, se enumeran los porcentajes retenidos acumulados para determinar el porcentaje acumulado que aprueba. Este se calcula restando el porcentaje retenido acumulado de 100.

Tabla 9

Cuadro para el procesamiento de la granulométrico

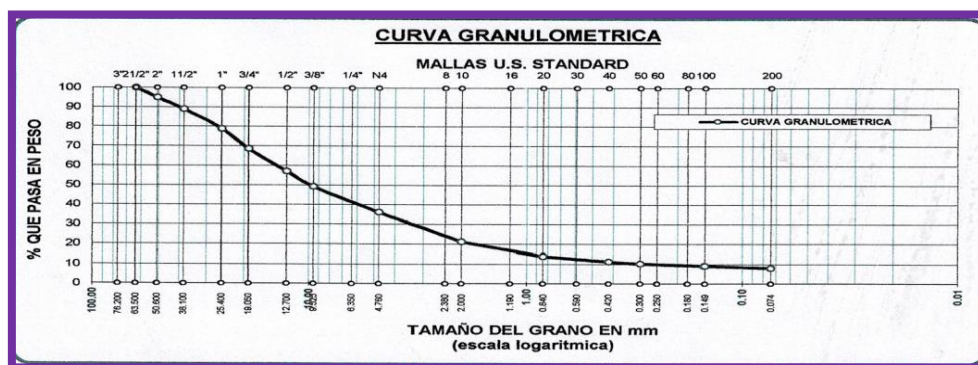
Tamices ASTM	Abertura mm	Peso Retenido	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% que Pasa
3"	76.200				
2 1/2"	63.500	0.00	0.00	0.00	100.00
2"	50.600	253.80	5.08	5.08	94.92
1 1/2"	38.100	301.38	6.04	11.11	88.89
1"	25.400	302.17	10.64	21.16	78.84
3/4"	19.060	513.22	10.25	31.42	68.58
1/2"	12.700	521.36	11.43	42.85	57.15
3/8"	9.525	396.47	7.98	50.78	49.22
1/4"	6.350				
N°4	4.760	659.38	13.19	63.97	36.03
N°8	2.380				
N°10	2000	206.25	41.25	78.83	21.17
N°16	1,190				
N°20	0.840	99.47	19.39	86.00	14.00
N°30	0.590				
N°40	0.420	36.52	7.30	88.63	11.37
N°50	0.300	13.87	2.77	89.63	10.37
N°60	0.250				
N°80	0.180				
N°100	0.149	16.29	3.26	90.80	9.20
N°200	0.074	15.68	3.14	91.93	8.07
BASE		111.92	22.38	100.00	0.00
TOTAL		5000.00	100		
% PERDIDA		2.24			

Nota: laboratorio de suelos de la UANCV

Resultados

Figura 49

Curva granulométrica de la catera taparachi



Nota: Laboratorio de suelos de la UANCV



El elemento proveniente de la cantera tiene una distribución granulométrica deseable, como se observa en la Figura 49. Esta característica posibilita una compactación efectiva durante la construcción de un proyecto.

B: Limite líquido

Aproximadamente 200 gramos de material deben pasar por un tamiz No. 40 para poder realizar la prueba de LL. Luego, la muestra se humedece y se combina con una espátula para crear una masa homogénea. Posteriormente se guarda durante un día entero en una bolsa.

La muestra fue manipulada al día siguiente. Se compactó un trozo de masa y se distribuyó hasta una profundidad de 10 mm en el vaso Casagrande. La masa se marcó mediante una herramienta de puntuación. Luego se dieron los golpes apropiados. Hasta que se cerró la ranura de 13 mm, el mango del dispositivo Casagrande se giraba a un ritmo de dos golpes por segundo. Se observó cuántos golpes (N) fueron útiles para cubrir la ranura. Para hallar el nivel de humedad de la masa, finalmente se tomó una muestra.

Calculo:

La fórmula a continuación se usa para hallar la prueba de límite líquido.

$$LL = w^n \left(\frac{N}{25} \right)^{0.121}$$

Donde:

LL = Límite líquido

N = Numero de golpes requeridos para cerrar la ranura para el contenido de humedad

w^n = Contenido de humedad del suelo



Resultados

Tabla 10

Resultado del límite líquido

Tarro	S	N
Suelo húmedo + tarro gr	36.91	37.17
Suelo seco + tarro gr	31.81	32.01
Peso del tarro gr	19.84	12.01
Peso del agua gr	5.11	1
Peso del suelo seco gr	12.88	2
Humedad %	39.33	112
Nº de golpes	25	25
Límite líquido		39.22

Nota: Elaboración propia

El límite líquido que es 39,22 se muestra en la Tabla 10.

C: Límite plástico e índice de plasticidad:

La prueba de límite plástico requiere una muestra que pese aproximadamente 200 gramos de material que haya sido tamizada a través de un tamiz número 40. Posteriormente, la muestra se humedece y luego se mezcla utilizando una espátula hasta formar una mezcla uniforme. Aplique suficiente presión a la masa entre los dedos mientras la enrolla sobre una superficie de vidrio lisa para darle forma de barras o cilindros con un diámetro de 3,2 mm. Posteriormente, estas barras o cilindros se encierran dentro de cápsulas y se someten a un día completo de horneado para determinar el contenido de humedad en el volumen final. El índice de plasticidad se calcula restando el resultado de la prueba de LP del valor de la prueba de LL.

El límite plástico se refiere a la cantidad máxima de deformación que puede sufrir un suelo sin agrietarse ni romperse. El contenido de humedad promedio se puede calcular calculando el promedio del contenido de humedad de las dos determinaciones. Una aproximación entera de un valor porcentual.



$$L_{\text{mite plástico}} = \frac{\text{Peso de agua}}{\text{Peso de suelo secado al horno}} * 100$$

Tabla 11

Resultado del ensayo del límite plástico

Tarro	S	N
Suelo húmedo + tarro gr	36.91	37.16
Suelo seco + tarro gr	31.81	32.00
Peso del tarro gr	19.86	12
Peso del agua gr	5.11	1
Peso del suelo seco gr	12.88	2
Humedad %	39.31	112
Límite Plástico		21.86

Nota: Elaboración propia

El límite plástico del material proveniente de la cantera de Taparachi, medido en 21.86, se muestra en la Tabla 11.

Índice de plasticidad: Se calcula restando el límite líquido al límite plástico.

$$I.P. = L.L. - L. P.$$

$$I.P = 39.22 - 21.86$$

$$I.P = 17.36$$

Índice de plasticidad del suelo de la cantera VS valor de índice de plasticidad de la MTC _ 2014.

Tabla 12

Datos obtenidos del índice de plasticidad en laboratorio vs MTC 2014

Ensayo	Cantera	Datos obtenidos de laboratorio	Especificaciones técnicas del MTC _2014 para la corona
Índice de plasticidad (%)	Taparachi	17.37	< 10

Nota: Elaboración propia



Los datos de laboratorio del ensayo de taparachi, que poseen un IP de 17.34, se muestran en la Tabla 12. Este número excede el límite del manual, lo que indica que la plasticidad del material no cumple con los requisitos para la capa de recubrimiento como se describe en MTC_2014. Estos criterios establecen que el índice de plasticidad de la capa de cobertura de los terraplenes debe ser inferior a 10.

D: Clasificación de suelos:

El suelo de la cantera Taparachi se categorizó considerando los datos granulométricos y los estados de consistencia (límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad). La categorización de suelos SUCS, el gráfico de plasticidad del sistema AASHTO y el gráfico de plasticidad del sistema SUSC, respectivamente, se muestran en las ilustraciones Nos. 8, 9, 10 y 11, sirvieron de base para esta clasificación.

Sistema de clasificación SUCS

Resultados

- El 91.93% del material retenido en el tamiz número 200 y más del 50% de la fracción gruesa en el tamiz número 4 indican que el material es grava (G).
- El porcentaje de material que pasa la malla 200 es de 2.59%, lo que indica que es grava limpia.

Utilizaremos la curva granulométrica para calcular D10, D30 y D60.

Curva granulométrica del suelo de la cantera Taparachi.

Dónde conseguirlo:

$$D_{10} = 0.253$$

$$D_{30} = 3.639$$

$$D_{60} = 14.28$$

Por último, obtenemos el coeficiente de curvatura (C_c) y el coeficiente de uniformidad (C_u).

Según el C_u es mayor que 4 y C_c esta entre 1 y 3, el suelo está clasificado como GW.

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} = \frac{14.28}{0.253} = 56.6$$

$$C_c = \frac{D_{30}^2}{D_{10} * D_{60}} = \frac{3.639^2}{0.253 * 14.28} = 3.67$$

Según el C_u es > 4 y $C_c = 1$ y 3 , el suelo está denotado como **GP**

Figura 50

Grafico de organización de suelos SUCS

Criterio para la migración de símbolos de grupo			Símbolos de grupo
Suelos de grano grueso Más de 50% retenido en el tamiz núm. 200	Gravas Más de 50% de fracción gruesa retenida en el tamiz núm. 4	Gravas limpias Menos de 5% finos ^a	$C_u \geq 4$ y $1 \leq C_c \leq 3^b$ GW
	Arenas 50% o más de la fracción gruesa para tamiz núm. 4	Gravas con finos Más de 12% finos ^a	$C_u < 4$ y/o $1 > C_c > 3^b$ GP
		Arenas limpias Menos de 5% finos ^b	$PI < 4$ o gráficos por debajo de línea "A" (figura 4.2) GM
		Arenas con finos Más de 12% finos ^a	$PI > 7$ y gráficos en o por encima de línea "A" (figura 4.2) GC
Suelos de grano fino 50% o más pasa a través del tamiz núm. 200	Limos y arcillas Límite líquido menor que 50	Inorgánico	$C_u \geq 6$ y $1 \leq C_c \leq 3^b$ SW
		Orgánico	$C_u < 6$ y/o $1 > C_c > 3^b$ SP
	Limos y arcillas Límite líquido 50 o más	Inorgánico	$PI < 4$ o gráficos por debajo de línea "A" (figura 4.2) SM
		Orgánico	$PI > 7$ y gráficos en o por encima de línea "A" (figura 4.2) SC
Suelos altamente orgánicos Materia orgánica principalmente, color oscuro y orgánico		Inorgánico	$PI > 7$ y gráficos en o por encima de línea "A" (figura 4.2) ^c CL
		Orgánico	$PI < 4$ o gráficos por debajo de línea "A" (figura 4.2) ^c Límite líquido: secado < 0.75; vea la figura 4.2; zona OL OL
		Orgánico	Límite líquido: no secado < 0.75; vea la figura 4.2; zona OH OH
			Gráficos PI en o por encima de línea "A" (figura 4.2) Gráficos PI por debajo de "A" línea (figura 4.2) Límite líquido: secado < 0.75; vea la figura 4.2; zona OH OH

^a Gravas con 5 a 12% de finos requieren símbolos dobles: GW-GM, GW-GC, GP-GM, GP-GC.
^b Arenas con 5 a 12% de finos requieren símbolos dobles: SW-SM, SW-SC, SP-SM, SP-SC.
^c $C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$; $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} * D_{60}}$
^d Si $4 \leq PI \leq 7$ y gráficos en la zona rayada en la figura 4.2, se usa doble símbolo GC-GM o SC-SM.
^e Si $4 \leq PI \leq 7$ y gráficos en la zona rayada en la figura 4.2, se usa doble símbolo CL-ML.

Nota: (DAS, 2013, p. 83)

Figura 51

Organización de suelos SUCS Cantera Taparachi

Simbolo de grupo		Nombre de grupo
GW	<15% de arena	Grava bien graduada
	≥15% de arena	Grava bien graduada con arena
GP	<15% de arena	Grava mal graduada
	≥15% de arena	Grava mal graduada con arena
GW-GM	<15% de arena	Grava bien graduada con limo
	≥15% de arena	Grava bien graduada con limo y arena
GW-GC	<15% de arena	Grava bien graduada con arcilla (o arcilla limosa)
	≥15% de arena	Grava bien graduada con arcilla y arena (o arcilla limosa y arena)
GP-GM	<15% de arena	Grava mal graduada con limo
	≥15% de arena	Grava mal graduada con limo y arena
GP-GC	<15% de arena	Grava mal graduada con arcilla (o arcilla limosa)
	≥15% de arena	Grava mal graduada con arcilla y arena (o arcilla limosa y arena)
GM	<15% de arena	Grava limosa
	≥15% de arena	Grava limosa con arena
GC	<15% de arena	Grava arcillosa
	≥15% de arena	Grava arcillosa con arena
GC-GM	<15% de arena	Grava limo arcillosa
	≥15% de arena	Grava limo arcillosa con arena

Nota: (DAS,2013, p. 84)

Sistema de clasificación AAS.HTO.

Según (Das, 2013), los ingenieros utilizan el Sistema Unificado, mientras que los departamentos de transporte emplean principalmente el sistema AASHTO. Como resultado, utilizaremos el Sistema de Clasificación AASHTO para agrupar el suelo. La Figura 52 muestra los resultados de las pruebas granulométricas, como las restricciones de consistencia de los suelos utilizados para realizar esta tesis.

Figura 52

Organización de suelos AASTHO

Clasificación general	Materiales granulares (35% o menos del total de la muestra pasada por el núm. 200)						
	A-1			A-2			
Grupo de clasificación	A-1-a	A-1-b	A-3	A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7
Análisis de tamiz (porcentaje de paso)							
Núm. 10	50 máx.	50 máx.	51 mín.				
Núm. 40	30 máx.	25 máx.	10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.
Núm. 200	15 máx.						
Características de la fracción de paso núm. 40							
Límite líquido				40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.
Índice de plasticidad	6 máx.		NP	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.
Tipos comunes de materiales significativos constituyentes	Fragmentos de roca, grava y arena		Arena fina	Limo o grava arcillosa y arena			
Clasificación general de la subrasante	Excelente a bueno						

Nota: (DAS, 2013, p. 79)

El índice de grupo está dado por la fórmula:

$$IG = (F - 35)[0.2 + 0.005 (LL - 40)] + 0.01(F - 15)(PI - 10)$$

Donde

F: % pasado por el tamiz número 200

LL: Límite líquido

IP: Índice de plasticidad

E: Abrasión los ángeles:

De acuerdo con el Manual de Ensayo de Materiales, para partículas menores a 1 ½", se realizó la prueba de abrasión de Los Ángeles mediante el Método "A" utilizando la granulometría previamente adquirida. Luego se dividió la muestra en



cuatro tamaños: 1 3/4, 1/2, 1/2 y 3/8 de pulgada, a cada tamaño se le asignó un peso determinado.

El cilindro del equipo de Los Ángeles contenía toda la muestra, que había sido limpiada y secada en un horno, junto con la cantidad necesaria de esferas. El material se tamizó a través de la malla #12 una vez que el cilindro terminó de girar. La diferencia de peso (peso previo a la prueba versus peso después de la prueba) nos dice qué proporción de abrasión tiene la muestra. El % de desgaste, que expresa la diferencia entre los pesos inicial y final de la muestra de prueba en relación con su peso inicial, se utiliza para cuantificar el producto de la prueba de abrasión. Para realizar este cálculo se utiliza la siguiente fórmula:

$$\% \text{ desgaste} = \frac{\text{peso inicial} - \text{peso final}}{\text{peso inicial}} * 100$$

$$\% \text{ desgaste} = \frac{5002 - 3584}{5002} * 100$$

$$\% \text{ desgaste} = 28.36$$

Tabla 13

Producto de la prueba de abrasión los Ángeles en laboratorio vs MTC_2014

Prueba	Cantera	Producto de laboratorio	Especificaciones técnicas del MTC _2014 desgaste los ángeles
Abrasión los ángeles	Taparachi	28.36%	60%

Nota: Elaboración propia

En la Tabla 13 se muestra una medida de desgaste de 28.35, lo que indica conformidad con la característica dada. El desgaste máximo permitido para la formación de la subrasante es del 60%, siguiendo el MTC-2014.



F: Próctor modificado:

Para conocer el contenido de humedad ideal y la densidad seca máxima, se realizó la prueba Proctor modificado. Se seleccionó esta prueba porque utilizaba un molde de 6" y el método "C" para recolectar la granulometría. Se empleó un tamiz de 3/4" para filtrar un material que pesaba treinta kilogramos. Luego, el material se dividió en cuatro tubos de ensayo, cada uno con una concentración diferente de humedad: 2, 4, 6 y 8%. Después de eso, la muestra se puso en un molde y se trituro en cinco capas con un apisonador manual, dando 56 golpes a cada capa. Por último, se utilizó la curva de compactación para evaluar el volumen y el peso del molde además de la muestra compactada para obtener el contenido de humedad ideal.

Procesamiento y cálculos de la prueba

Para determinar el contenido de agua se utilizó el protocolo de prueba mencionado anteriormente.

Usando, se calculó la densidad húmeda:

$$p_m = 1000 * \frac{(M_t - M_{md})}{V}$$

Cálculo de la densidad seca mediante

$$p_d = \frac{p_m}{1 + \frac{W}{100}}$$

$$\gamma_d = 62,43 * p_d \dots \dots \dots en \left(\frac{lbf}{pie^3}\right)$$

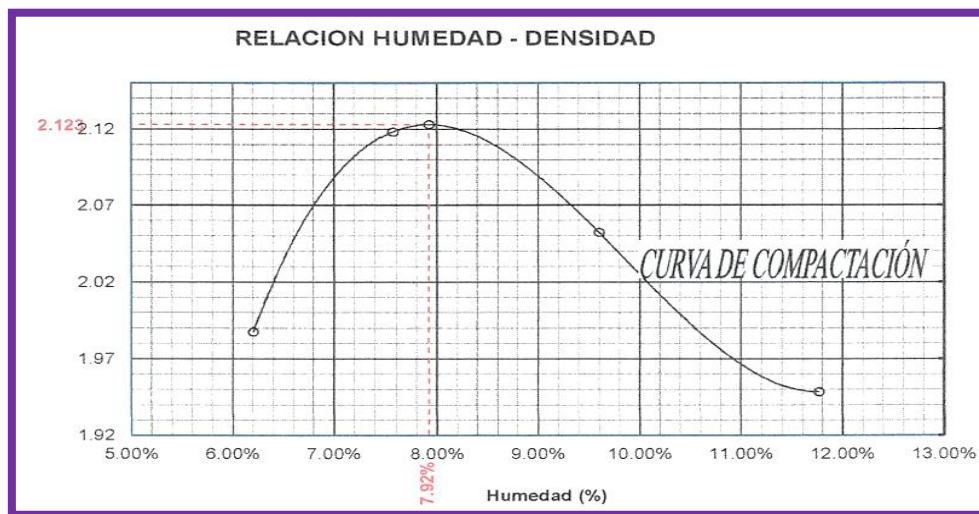
$$\gamma_d = 9,807 * p_d \dots \dots \dots en \left(\frac{KN}{m^3}\right)$$

Donde:

γ_d = peso unitario seco del especimen compactado

Figura 53

Proctor modificado de la cantera Taparachi



Nota: laboratorio de la UANCV JULIACA

Tabla 14

Resultados del ensayo de proctor modificado

Prueba	1	2	3	4
Contenido de Humedad (%)	6.21	7.58	9.61	11.78
Densidad Seca (gr/cm ³)	1.988	2.118	2.052	1.948

Nota: laboratorio de suelos de la Universidad Andina Néstor Cáceres

Velásquez

La prueba Proctor modificada arrojó una densidad seca máxima de 2.118 gr/cm³, con un (w) ideal de 7.57, tal cual se señala en la Figura 53. Como consecuencia, estos hallazgos nos ayudaron a crear las subestructuras del pavimento.



G: Valor relativo de apoyo CBR

Se recolectaron ensayos que pesaban dieciocho kg para evaluar el valor relativo de CBR o capacidad de carga del suelo. A estos materiales se les realizó la prueba CBR con energía de fundación de 12, 25 y 56 golpes luego de dividirlos en tres secciones iguales. Para la prueba se utilizó el contenido de humedad ideal del suelo y las muestras se mezclaron adecuadamente durante todo un día. Tras la compactación, las muestras pasaron 96 horas sumergidas en agua. Todos los días durante este período, se tomaron medidas para determinar el grado de expansión de la muestra.

Para determinar la capacidad de carga de las muestras, después del cuarto día se les realizó un ensayo de penetración con el aparato CBR de laboratorio. Para generar gráficos que muestren si era necesaria o no una corrección, finalmente se recogieron datos de penetración y tensión.

Tabla 15

Resultados del ensayo de cbr en laboratorio vs MTC_2014

Ensayo	Muestra taparachi	Especificaciones de la MTC_2014 para la Subrasante
CBR 0.1" al 100% MDS	54.5 %	CBR > 6%
CBR0.1" al 100% MDS	29.0 %	CBR > 6%

Nota: Elaboración propia

En la Tabla 15 se muestra que el valor de CBR del laboratorio fue del 55%. Con base en esto podemos confirmar que el material de la cantera Taparachi cumple con la capa de subrasante debido a que las especificaciones técnicas MTC-2014 estipulan que el CBR debe ser de al menos 6%.



4.2. Contrastación de la hipótesis

Contrastación de hipótesis General

1: planteamiento de la hipótesis

$$H_0: u \leq 1.8$$

Los suelos con una capacidad de soporte inadecuada no ven una mejora de 1,8 veces en el modelo de resiliencia cuando se coloca geotextil tejido en la subrasante como refuerzo.

$$H_a: u > 1.8$$

Los suelos con capacidad de soporte limitada tienen un modelo de resiliencia que aumenta 1,8 veces cuando se utiliza geotextil tejido como refuerzo en la subrasante.

2: nivel de significancia

Dado que hicimos todo lo posible para evitar errores, el grado de importancia para este proyecto de estudio es del 5%. α es igual al 5%.

3: función pivotal prueba estadística

Con una media conocida y una desviación estándar desconocida, la prueba t de Student es la prueba estadística que empleamos para evaluar nuestras hipótesis.

Para evaluar la hipótesis se utilizó la prueba t de Student. Esta investigación compara dos muestras, una obtenida antes de la aplicación de nuestro material geotextil y otra posterior a la misma. El objetivo es descubrir si el material ha afectado el modelo de resiliencia. Con menos de 25 puntos de datos, las poblaciones pequeñas son el público objetivo de esta prueba.

$$T = \frac{\bar{X} - u_0}{\frac{s}{\sqrt{n}}}$$

Tabla 16*Prueba estadística de la t- student*

Procesamiento de la prueba estadística de la t - student			
Nº de prueba	Modelo Resiliencia sin Geotextil (MPA) (a)	Modelo Resiliencia con Geotextil (MPA) (d)	Valor de incremento en el Modelo Resiliencia (l)
1	35.95	55.44	1.53
2	37.67	67.72	1.81
3	36.48	95.38	2.62
4	37.24	47.44	1.28
5	64.52	86.88	1.36
6	36.72	55.46	1.52
7	37.67	50.28	1.34
8	64.52	94.07	1.47
9	45.48	49.36	1.08
10	35.97	47.42	1.33
11	52.44	52.76	1.02
12	32.88	55.44	1.68
13	60.09	64.52	1.08
14	37.67	60.09	1.58
15	37.61	55.44	1.46
Promedio de incremento			1.47 veces
Desviación estandar			0.38

Nota: Elaboración propiaPromedio de $\bar{I} = 1.47$ Numero de datos $n = 15$ Desviación muestral $S_I = 0.38$

$$T_{cal} = \frac{\bar{X} - u_0}{\frac{s}{\sqrt{n}}}$$

$$T_{cal} = \frac{1.47 - 1.8}{\frac{0.39}{\sqrt{15}}}$$

$$T_{cal} = -3.26$$

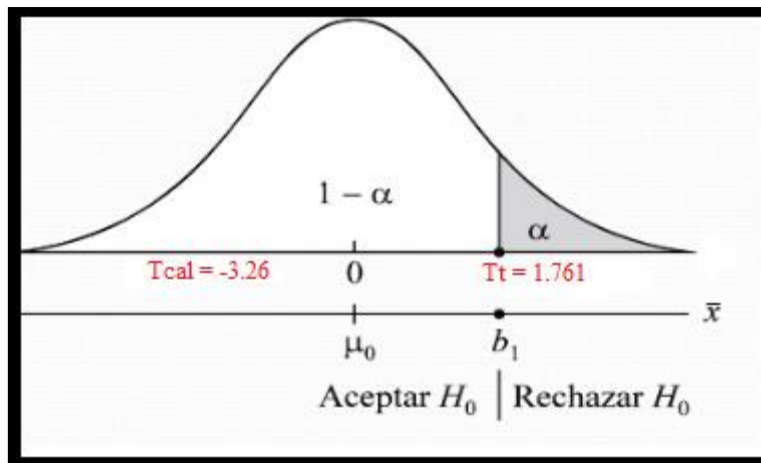
4: Identificación de las zonas de rechazo y aceptación

Con el cuadro estadístico de la T STUDENT se puede hallar el resultado de T tabulado con los datos siguientes:

$$g.l = 15 - 1 = 14, \alpha = 5\% \text{ Obtenemos un valor de } 1.761$$

Figura 54

Gráfica de distribución T Student $T_t=1.761$ $T_{cal}=-3.26$



Nota: Elaboración propia

5: Conclusión y discusión

$T_{cal} = -3,26$ está fuera de la zona esencial, por lo que aceptamos H_0 y rechazamos la otra teoría.

Interpretación: Cuando se utiliza geotextil tejido como apoyo de subrasante, la investigación estadística muestra que el modelo de resiliencia de bases con poca



disponibilidad de carga no mejora en 1,8 veces. Así, queda claro que el geotextil eleva el modelo en una media de 1,47 veces.

Contrastación de hipótesis Particular 01

a: Se plantea la hipótesis

$$H_0: \mu \leq 49.34$$

La resiliencia del modelo para suelos mejorados de poca disponibilidad de carga con una capa de subrasante de 0,30 es de al menos 49,34 Mpa.

$$H_a: \mu > 49.34$$

Los modelos de resiliencia para suelos mejorados de baja capacidad de carga con una capa de subrasante de 0,30 son superiores a 49,34 Mpa.

b: nivel de relevancia

El grado de significancia de este proyecto de investigación se fija en el 5% con el fin de reducir errores. α equivale al 5%.

c: examen estadístico de la función fundamental

Comparamos nuestras hipótesis utilizando una prueba estadística llamada prueba T de Student de una muestra.

$$T = \frac{\bar{X} - u_0}{\frac{s}{\sqrt{n}}}$$

Tabla 17

Resultados de Modelo resilientes sin geotextil y una capa de 0.30 de material de relleno

Resultados de Modelo resilientes sin geotextil y una capa de 0.30 de material de relleno							
35.97	37.67	36.48	37.24	64.52	36.72	37.67	64.52
45.48	35.97	52.46	32.88	60.07	37.67	37.61	

Nota: Elaboración propia

Media $\bar{X} = 43.52$

Desviación muestral $s = 11.14$

$$T = \frac{\bar{X} - u_0}{\frac{s}{\sqrt{n}}}$$

$$T_{cal} = \frac{43.53 - 49.34}{\frac{11.15}{\sqrt{15}}}$$

$$T_{cal} = -2.03$$

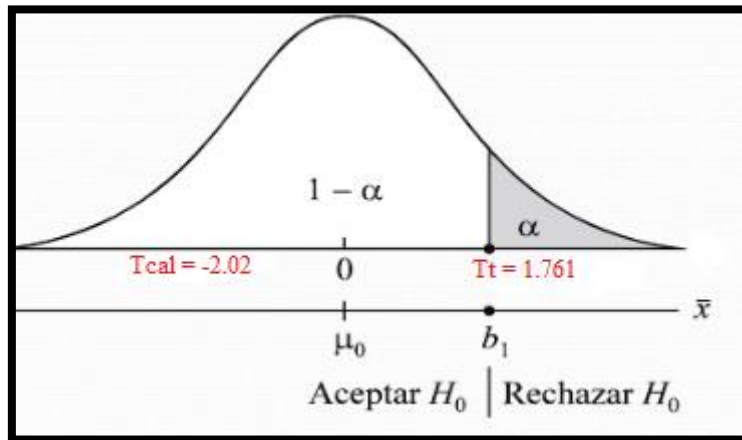
d: Captación de las zonas de rechazo y aceptación

Usted podrá adquirir el valor de T tabulado con los siguientes valores utilizando la tabla estadística del ESTUDIANTE T:

$g.l = 15 - 1 = 14$, $\alpha = 5\%$, Hallamos un dato alarmante $t_{0.05,14} = 1.762$

Figura 55

Gráfica de distribución T Student $T_t=1.762$ $T_{cal}=-2.02$



Nota: Elaboración propia

e: Conclusión y discusión

No se acepta la hipótesis alternativa y se acepta la hipótesis nula (H_0) ya que $T_{cal} = -2,02$ no se encuentra dentro de la zona importante.

Interpretación: Se ha demostrado estadísticamente que agregar una capa de subrasante de 0,30 a suelos de poca disponibilidad de carga mejora su modelo de resiliencia en un promedio de menos de 49,34 Mega pascales.

Distinción de hipótesis Especifica 02

a: elaboración de la hipótesis

$$H_0: \mu \leq 77.88$$

Menos de 77,88 Mpa es el modelo de resiliencia de bases suelos con poca disponibilidad de carga complementados con geotextil y una capa de subrasante de 30 cm.

$$H_a: \mu > 77.88$$



Los suelos de poca capacidad de carga mejorados con geotextil y una capa de subrasante de 0,30 tienen modelos robustos superiores a 77,88 Mpa.

b: nivel de relevancia

Para minimizar errores, el grado de relevancia para este proyecto de estudio se fija en el 5%. α es igual al 5%.

c: examen estadístico de la función fundamental

Comparamos nuestras hipótesis utilizando una prueba estadística llamada prueba T de Student de un ensayo.

$$T = \frac{\bar{X} - u_0}{\frac{s}{\sqrt{n}}}$$

Tabla 18

Datos obtenidos de Modelo resilientes con geotextil y capa de 0.30 de material de relleno

Resultados de Modelo resilientes con geotextil y una capa de 0.30 de material de relleno							
55.44	67.74	95.36	47.42	86.86	55.46	50.28	94.05
49.36	47.44	52.74	55.46	64.52	60.09	55.44	

Nota: Elaboración propia

Media $\bar{X} = 62.52$

Desviación muestral $s = 16.42$

$$T = \frac{\bar{X} - u_0}{\frac{s}{\sqrt{n}}}$$

$$T_{cal} = \frac{62.52 - 77.87}{\frac{16.42}{\sqrt{15}}}$$

$$T_{cal} = -3.63$$

d: Identificación de las áreas de rechazo y aceptación

El dato de T tabulado utilizando los siguientes valores se puede encontrar utilizando la tabla de estadísticas STUNDENT T:

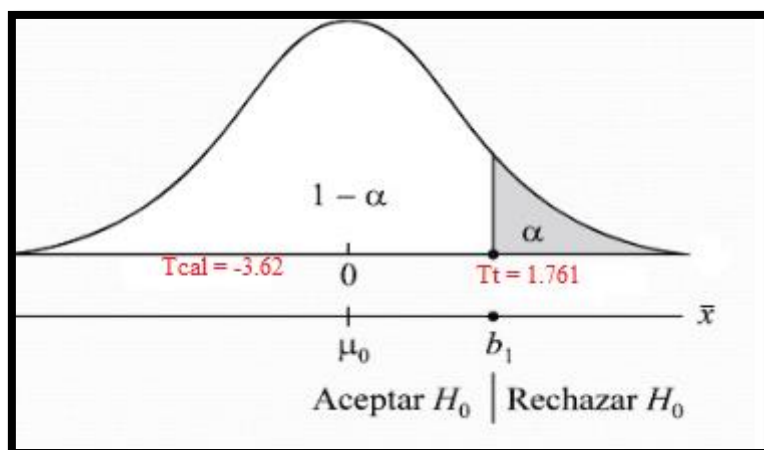
$$g.l = 15 - 1 = 14$$

$$\alpha = 5\%$$

Hallamos un dato alarmante $t_{0.05,14} = -1.761$ por lo tanto la región crítica de la prueba es $RC = T < -1.761$

Figura 56

Gráfica de distribución T Student $Tt=1.761$ $Tcal=-3.62$



Nota: Elaboración propia

e: Conclusión y discusión

En consecuencia, se rechaza la hipótesis alternativa y se acepta la hipótesis nula (H_0) ya que $T_{cal} = -3,62$ no se encuentra dentro de la zona importante.



Interpretación: de los suelos de baja capacidad de carga aumenta cuando se usa geotextil junto con una capa de subrasante de 30 cm, con un valor promedio de menos de 77,88 Mpa.

Distinción de hipótesis Especifica 03

a: desarrollo de la teoría

$$H_0: \mu \geq 6 \%$$

El CBR del suelo de cimentación supera el 6%, lo que indica su capacidad de carga.

$$H_a: \mu < 6 \%$$

El CBR del suelo de cimentación es inferior al 6%, lo que indica una baja capacidad de carga.

b: nivel de relevancia

Para minimizar errores, el grado de relevancia para este proyecto de estudio se fija en el 5%.

$$\text{Por lo tanto: } \alpha = 5\%$$

c: examen estadístico de la función fundamental

Comparamos nuestras hipótesis utilizando una prueba estadística llamada prueba T de Student de un ensayo.

$$T = \frac{\bar{X} - u_0}{\frac{s}{\sqrt{n}}}$$



Tabla 19

Datos obtenidos de CBR del suelo natural

Valores de resultados de CBR natural por retroanálisis							
3.04	3.29	3.13	3.23	7.61	3.16	3.27	7.61
4.41	3.06	5.51	2.64	2.66	3.29	3.26	

Nota: Elaboración propia

Media $\bar{X} = 4.22$

Desviación muestral $s = 1.75$

$$T = \frac{\bar{X} - u_0}{\frac{s}{\sqrt{n}}}$$

$$T_{cal} = \frac{4.22 - 6}{\frac{1.75}{\sqrt{15}}}$$

$$T_{cal} = -3.92$$

d: Captación de las zonas de rechazo y aceptación

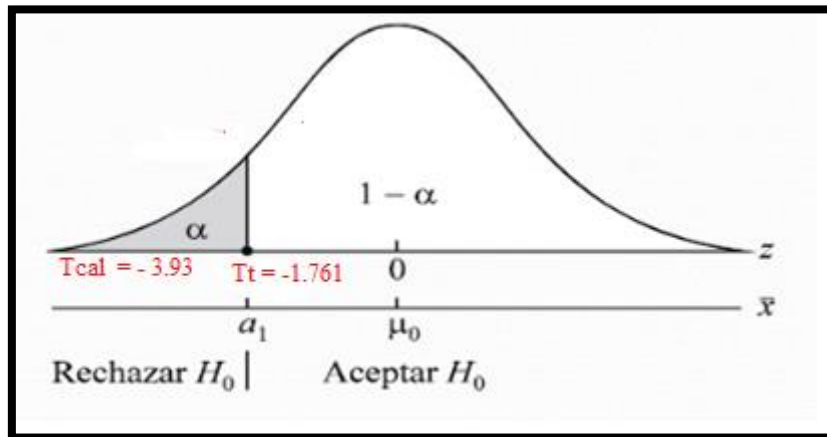
El dato de T tabulado utilizando los siguientes datos se puede encontrar utilizando la tabla de estadísticas STUNDENT T:

$$g.l = 15 - 1 = 14, \alpha = 5\%$$

Hallamos un dato alarmante $t_{0.05,14} = 1.761$ por lo tanto la región crítica de la prueba es $1.761 > T = RC$

Figura 57

Gráfica de distribución T Student $T_t = -1.761$ $T_{cal} = -3.93$



Nota: Elaboración propia

e: Finalización y discusión

Aceptamos H_0 porque $T_{cal} = -3,93$ está fuera de la zona crítica.

Interpretación: Según pruebas estadísticas, el CBR (Relación de carga de California) del suelo de cimentación es inferior al 6%, lo que sugiere una capacidad de carga comparativamente pobre.

Distinción de hipótesis Específica 04

Dado que los datos se recopilaron a partir de una única prueba para cada atributo, lo que arrojó un único resultado, se realizó un análisis directo para evaluar la hipótesis específica 4. Como tal, en estas circunstancias, no se pudieron ejecutar pruebas estadísticas. Más bien, se realizó una comparación entre el manual vial del MTC (2014) y los datos de laboratorio.

Tabla 20*Cualidades físicas y mecánicas del elemento para rellenar de la cantera*

Cualidades físicas y mecánicas del elemento para rellenar de la cantera				
Ensayo	Valores Resultado en laboratorio	de la	Requisitos de los materiales según MTC 2014	Hipotesis
Tipo de material	A-1-b		A-1-a ,A-1-b,A-2-4, A-2-6 y A-3	Si cumple
Tamaño maximo	3"		3"	Si cumple
Desgaste los Ángeles	28.35 %		60 %	Si cumple
Índice de plasticidad	17.36		10	No cumple

Nota: Elaboración propia

Se identificaron las propiedades físicas y mecánicas del elemento para rellenar de la cantera Taparachi. Los materiales empleados en el proyecto de estudio tienen una dimensión máxima de 3 pulgadas. Las clasificaciones de suelos de las categorías A-1-a (0) y AASTHO coinciden con el material. Los ángulos de desgaste de este material resultaron ser del 28,35%. Estas características aceptan las normas generales para terraplenes EG-2013. Sin embargo, el índice de plasticidad del material del 17,36% es superior al límite superior especificado por los criterios técnicos. Según las normas técnicas, la base y el cuerpo del terraplén deben tener un índice de plasticidad inferior al 11,6%, y la corona o subrasante debe tener un índice inferior al 10%. Por tanto, la hipótesis 4 es infundada.

4.3. Discusión

Los hallazgos de nuestra tesis muestran que el geotextil tejido TR 4000 aumenta el modelo de resiliencia de los suelos de poca disponibilidad de carga en un factor de 1,43. Los hallazgos se alinean con la investigación realizada por Hueto y Montoya (2016) para su tesis, "Adición de geotextil tejido T-2400 a la estructura intrínseca de diferentes tipos de materiales de relleno". Según sus resultados, que

se muestran en la Tabla 21, el geotextil tejido aumenta el modelo de resistencia en un factor de 1,14 a 1,6.

Tabla 21

Resultados de la tesis de Hueto y Montoya

Tipo de material	Cbr sin Geotextil %	Cbr sin Geotextil %	Modelo resiliente sin Geotextil (PSI)	Modelo resiliente con Geotextil (PSI)	Incremento del geotextil
Arcilla	2.4	4.0	4474.31	6204.54	1.6 veces
Zahoma	29.5	30.6	22288.30	22816.69	1.03 veces
Arena	20.2	23.1	17491.05	19059	1.14 veces

Nota: Elaboración propia

El modelo de resiliencia del geotextil tejido TR 4000 se multiplica por 1,43, como lo demuestran nuestros datos. El Informe de Suficiencia de Raymundo (2007) "Aplicación de Geotextiles Tejidos en Pruebas de Control y Monitoreo de Carreteras Afirmadas" establece que los suelos con baja capacidad portante tienen un modelo de resiliencia incrementado en 43. Los datos que adquirió Raymundo se muestran en la Tabla 22, que muestra que los geotextiles tejidos El geotextil aumenta el modelo de resiliencia de los suelos con poca capacidad de carga en un factor de 2,57.

Tabla 22

Resultados de la tesis de Raymundo

Tipo de material	Cbr sin geotextil %	Cbr con geotextil %	Modelo resiliente sin geotextil (psi)	Modelo resiliente con geotextil (psi)	Incremento del geotextil
Arcilla	0.7	1.8	2033.54	3721.97	2.57 veces

Nota: Elaboración propia

Los hallazgos de nuestro estudio nos han llevado a concluir que el uso de geotextil tejido con una composición TR 4000 reduce considerablemente la alteración. En la actualidad, la distorsión es 1,32 veces menor que cuando no se



utiliza geotextil. Esto es para que el peso se distribuya uniformemente por el pavimento gracias a la función estructural del geotextil. Los resultados de la presente investigación se alinean con las conclusiones presentadas en la tesis de Noboa (2016), "Evaluación de la resistencia de la subrasante utilizando una combinación de geomalla y geotextil". Se desprende claramente de la Tabla 23 de su tesis que la alteración se puede minimizar 1,33 veces mayor cuando se utiliza geotextil.

Tabla 23

Datos obtenidos de Noboa de la alteración

Tipo de material	Alteración sin geotextil	Alteración con geotextil	Disminución de deformaciones
Suelo de mala calidad	2.033	1.525	1.33 veces

Nota: Elaboración propia



CONCLUSIONES

PRIMERA: Según los hallazgos del estudio, la subrasante tejida TR 4000 carente de geotextil tiene un modelo resistente estándar de 43,53 Mpa, mientras que la subrasante con geotextil tiene un modelo resistente estándar de 62,51 Mpa. Es evidente que el geotextil tejido TR 4000 tiene un impacto significativo ya que el modelo de resiliencia de bases con capacidad de carga limitada mejoró en 18,99 Mpa, o un aumento del 43%. Como resultado, los datos no respaldan la hipótesis del estudio.

SEGUNDA: El modelo robusto, que se determinó mediante retrocálculo utilizando las desviaciones de la base de poca capacidad de carga, mejora con la adición de un nivel de subrasante de 30 centímetros. Es posible inferir que la hipótesis específica 1 es falsa ya que el modelo robusto es 43,53 Mpa.

TERCERA: El modelo resistivo, que se calculó retroactivamente a partir de las desviaciones de la base con poca capacidad de carga, mejora con la adición de un nivel de subrasante de 30 cm y la aplicación de geotextil tejido TR 4000. Como resultado, se encontró el valor del modelo de resistencia de 62,51 Mpa, lo que proporciona pruebas suficientes para no aceptar la hipótesis particular 2.

CUARTA: Un cálculo retroactivo basado en las deflexiones presentes en el suelo de cimentación arrojó un valor promedio de 4,62% para la capacidad de carga del CBR. Como resultado, se apoya la tercera hipótesis particular.



QUINTA: Para conocer más sobre las características desde el punto de vista físico y mecánico del elemento para rellenar extraído de la cantera, se hizo un experimento. El contenido de la guía de estudio no podrá tener más de tres pulgadas de diámetro. Se muestra que el material pertenece al grupo de categorización de suelos AASTHO A-1-a (1). Se incluye en el grupo A-1-a (0). Se determinó que este material se ha erosionado en un 28.35% en Los Ángeles. Estas características cumplen con los requisitos y cumplen las normas generales para terraplenes establecidas en EG-2013. Por otro lado, el índice de plasticidad del material del 17,36% es superior al límite superior especificado por los requisitos técnicos. Las especificaciones técnicas establecen que el IP del suelo y cuerpo del terraplén debe ser inferior al 11,6%, mientras que el IP de la subrasante o coronación debe ser inferior al 10%. Por tanto, la cuarta hipótesis es infundada.



RECOMENDACIONES

PRIMERA: Se debe colocar geotextil tejido sobre la subrasante como refuerzo en las situaciones en que el valor CBR del suelo sea inferior al 3%. Esto garantiza que TR 4000 funcionará de la manera más eficiente posible, ya que las especificaciones técnicas del geotextil tejido TR 4000 establecen que debe usarse con suelos que tengan un valor CBR inferior al 3%. Además, con las subestructuras es fundamental tener precaución al construir.

SEGUNDA: Para realizar la siguiente investigación, se sugiere construir un pavimento con material geotextil y otro sin, para ver si existe diferencia de costo entre ambos métodos.

TERCERA: Se recomienda realizar un diseño de pavimento utilizando material geotextil además de un diseño diferente sin geotextil para poder realizar la siguiente consulta. Con base en este análisis, los dos diseños pueden compararse con respecto a su impacto en la reducción del grosor de la capa de pavimento.

CUARTA: Se recomienda que los suelos con poca disponibilidad de carga, definidos como aquellos con un (CBR) inferior al dos por ciento, sean objeto de investigaciones con este geotextil tejido. Además, se recomienda probar el geotextil a varias alturas para examinar el comportamiento estructural del material.

QUINTA: Es buena idea sugerir investigaciones que formen la capa de optimización utilizando suelos de diferentes fuentes. Esto se debe a que el índice de



plasticidad, uno de los requisitos más relevantes, no se cumple en la base de la cantera de Taparachi.



BIBLIOGRAFÍA

- Andrade, F. A. (Abril de 2007). Definición Moderna de los Parametros para el Diseño de Pavimentos . Sangolqui: ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO.
- Arce, S. M. (2016). "MEJORAMIENTO DE LA SUBRASANTE CON GEOMALLAS MULTIAXIALES TIPO TX140 Y TX160, APLICADO A UN TRAMO DE LA CALLE ALEMANIA LA MOLINA - CAJAMARCA 2016". Tesis. Cajamarca, Perú: Universidad Privada del Norte.
- bandara, N., & Gunaratne, M. (2018). *GEOTECHNICAL ASPECTS OF PAVEMENT ENGINEERING*. Estados Unidos: Momentun Press.
- Cahuapaza, C. (2020). *Incidencia de la geomalla biaxial en el modulo resiliente de la subrasante de diseño para pavimentos flexibles Puno 2020*. Lima: Universidad César Vallejo.
- Charaja, F. C. (2011). *Metodología de la Investigación*. Puno- Perú: Sagitarios.
- Comunicaciones, M. d. (2013). "*Especificaciones Técnicas Generales para Construcción*". Lima.
- Comunicaciones, M. d. (2016). *Manual de Ensayo de Materiales*. PERU: MTC.
- Condori, A. N. (2015). "OPTIMIZACIÓN DE ESPESORES DE PAVIMENTOS CON APLICACIÓN DE GEO-SINTÉTICOS." . Tesis. Puno, Perú: Universidad Nacional del Altiplano.
- Cordo, O. V. (2006). *Manual de Diseño de Pavimentos en Base al Método AASHTO – 93*. La Paz: instituto Nacional de Carreteras de Estados Unidos (NHI).
- Corros, M., Urbáez, E., & Corredor, G. (2009). *Manual De Evaluación De Pavimentos*.



- DAS, b. M. (2013). *principios fundamentales de geotecnia*. Mexico: Cengage Learning.
- Fiorini, A. (2027). *Aplicación de geosintéticos en la construcción de carreteras*. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Fonseca, A. M. (2006). *Ingeniería de Pavimentos*. Bogota: Stella Valbuena Garcia.
- García, M. a. (2008). *Pavimentos*. Mexico.
- Gotuzzo, R. P. (2007). *Metodología de la investigación*. Lima: San Marcos.
- Hoffman, M. S., & Berger, L. (1985). *Estudio de evaluación estructural de pavimentos basados en la interpretación de curvas de deflexiones (ensayos no destructivos)*.
- Huang, Y. H. (2004). *Pavement Analysis and Design*. Estados Unidos de América: Marcia Horton .
- Hueto, A., & Montoya, A. (2016). "Adición del geotextil T- 2400 a la intrínseca de diferentes tipos de materiales para rellenos ". Cartagena, Cartagena: Universidad de Cartagena de Indias.
- Koerner. (2016). *Geotextiles From Design to Applications*. EE.UU: Matthew Deans.
- Leyva, P. P., & Guillermo, L. S. (2012). Observaciones a la metodología de diseño de pavimentos reforzado con Geosintéticos. *Revista de ingeniería de obras Civiles, Chile*, 12.
- Liscano, F. A. (2003). *Diseño Racional de Pavimentos*. BOGOTA : Editorial Javeriano.
- Maccaferri. (2015). *Estabilización de subrasantes con Geosintéticos* . Panamá.



- Mallick, R. B., & Tahar, E. K. (2013). *PAVEMENT ENGINEERING Principles and Practice*. EE.UU: Taylor & Francis Group.
- Mallick, R., & Tahar, E. K. (2013). *Pavement Engineering: Principles and Practice*. Londres Nueva York: Group, LLC.
- Mamani, Q. R. (2019). *CORRELACIONES DEL CBR "IN SITU" PDC Y DENSIDAD SECA- PDC DE RELLENOS COMPACTADOS CON SUELOS DE LA CANTERA DE TAPARACHI DE LA CIUDAD DE JULIACA*. Juliaca: Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez.
- Menéndez, J. R. (2016). *Ingeniería de Pavimentos Materiales*. Instituto de la Construcción y Gerencia .
- Mestre, E. (2020). *Aplicación de geosintéticos en vías terciarias: caso de estudio Municipio de Carurú Departamento del Vaupés*. Bogotá D.C.: Universidad Católica de Colombia.
- Minaya, S., & Ordóñez, A. (2006). *DISEÑO MODERNO DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS*. LIMA: Difundido por la ICG.
- MTC, M. . (2014). *Manual De Carreteras Suelos" Suelos, Geología, Geotecnia Y Pavimentos*. Lima.
- Noboa, A. S. (2016). "Evaluación en el nivel de resistencia de una subrasante, con el Uso Combinado de una geomalla y un geotextil" . Ecuador: Universidad de Cuenca.
- Papagiannakis. (2008). *Pavement Design and Materials*. Estados Unidos de América: Jhons y Sons.
- PAVCO. (2007). *Especificaciones Generales de construcción con Geosintéticos*. Colombia Bogota.



- Pavco. (2009). *Manual de diseño con geosintéticos* . Bogotá Colombia: Zeta Comunicadores S.A. .
- Quintana, H. A. (2015). *pavimentos materiales, construcción y diseño*. Perú: Macro.
- Raymundo, J. C. (2007). *Aplicación de geotextiles Tejidos en vías afirmadas ensayos de control y monitoreo*. Lima- Perú: Universidad Nacional de Ingeniería.
- Redrovan, E. A. (2014). *Evaluación de Pavimentos en base a metodos no destructivos y analisis inverso* . ECUADOR.
- Sandoval, C. H. (2009). Caracterización de la resistencia de la subrasante con la información del deflectómetro de impacto. *Revista Facultad de ingenieria UPTC 2010 VOL.19 28, 74*.
- Toirac, J. (2012). *CARACTERIZACIÓN GRANULOMÉTRICA DE LAS PLANTAS PRODUCTORAS DE ARENA EN LA REPÚBLICA DOMINICANA, SU IMPACTO EN LA CALIDAD Y COSTO DEL HORMIGÓN*. República Dominicana: Redalyc.
- Vásquez, L., & Garcia, F. (2017). Análisis racional de capas de conformación para pavimentos asfálticos. *ResearchGate*, 13.
- Villalaz, C. C. (1980). *Mecánica de suelos y cimentaciones*. México: Limusa Noriega Editores.



ANEXOS

ANEXO 1. MATRIZ DE CONSISTENCIA

ANEXO 2. PANEL FOTOGRÁFICO

ANEXO 3. RESULTADOS DE LOS ENSAYOS



ANEXO 1. MATRIZ DE CONSISTENCIA

TÍTULO: Influencia de la Aplicación del Geotextil Tejido en el Modelo de Resiliencia de la Sub Rasante para Pavimentos Flexibles de la Ciudad de Juliaca 2023

Problema	Objetivo	Hipótesis	Variable	Metodología
<p>Problema General</p> <p>¿Cómo influye en el modelo de resiliencia de los suelos de subrasante de baja capacidad de soporte el uso del geotextil tejido para pavimentos flexibles de la ciudad de Juliaca?</p> <p>Problemas Específicos</p> <p>¿Cuál es el modelo de resiliencia de los suelos de baja capacidad de soporte mejorada con una capa de subrasante de 30 centímetros?</p> <p>¿Cuál es el modelo de Resiliencia de los suelos de baja capacidad de soporte mejorada con geotextil tejido y una capa de subrasante de 30 centímetros?</p>	<p>Objetivo General</p> <p>Determinar la influencia del geotextil tejido como refuerzo de la subrasante en el modelo de resiliencia de los suelos de baja capacidad de soporte para pavimentos flexibles de la ciudad de Juliaca.</p> <p>Objetivos Específicos</p> <p>Determinar el modelo de resiliencia de los suelos de baja capacidad de soporte mejorada con una capa de subrasante de 30 centímetros.</p> <p>Determinar el modelo de resiliencia de los suelos de baja capacidad de soporte mejorada con geotextil tejido y una capa de subrasante de 30 centímetros.</p>	<p>Hipótesis General</p> <p>La colocación del geotextil tejido como refuerzo en la subrasante Incrementa en 1.8 veces más en el modelo de resiliencia de los suelos con baja capacidad de soporte para pavimentos flexible en la ciudad de Juliaca.</p> <p>Hipótesis Especificas</p> <p>El modelo de resiliencia de los suelos de baja capacidad de soporte mejorada con una capa de subrasante de 30 centímetros fluctúa entre 49.34 - 61.20 Mpa.</p> <p>El modelo de resiliente de los suelos de baja capacidad de soporte mejorada con geotextil tejido y una capa de subrasante de 30 centímetros fluctúa entre 71.88-86.41 Mpa.</p>	<p>Variable Independiente</p> <p>Refuerzo de subrasante con geotextil</p> <p>Variable Dependiente</p> <p>Modelo de resiliencia</p>	<p>Tipo de investigación</p> <p>Investigación cuantitativa</p> <p>Nivel de investigación</p> <p>Nivel Explicativo</p> <p>Diseño de investigación</p> <p>Experimental</p> <p>Población: La población de estudio son los suelos de subrasantes de baja capacidad de soporte considerados insuficientes</p> <p>Muestra: Se conformarán dos subestructuras de subrasante que estas comprenden el (suelo</p>



<p>¿Cuál es la capacidad de soporte del CBR en el suelo de fundación?</p> <p>¿Cuáles son las características físicas y mecánicas del suelo de optimización de subrasante?</p>	<p>Determinar la capacidad de soporte del CBR en el suelo de fundación.</p> <p>Determinar las características físicas y mecánicas del suelo de optimización de subrasante.</p>	<p>La capacidad de soporte del suelo de fundación tiene un CBR menor a 6% que no cumple las especificaciones de calidad establecidas según el Manual de Carreteras MTC 2014.</p> <p>Las características físicas y mecánicas de la subrasante mejorada son granulometría, límites de consistencia, clasificación, abrasión los ángeles que cumplen con las especificaciones técnicas de calidad según el EG-2013</p>	<p>natural, reforzado con Geotextil y una capa de optimización con material de préstamo) y la otra misma estructura, pero sin geotextil.</p> <p>Instrumento Ensayos en laboratorio para caracterización del material de relleno Norma EG- 2003</p> <p>Ensayos en campo para evaluar la subrasante MTC 2014 Manual de ensayos MTC2014</p>
---	--	---	---

ANEXO 2. PANEL FOTOGRÁFICO



Fotografía N° 01: Corte de terreno para conformar las subestructuras



Fotografía N° 02: Conformación de la subestructura sin geotextil de control con Material de relleno de la cantera Taparachi



Fotografía N° 03: Colocación del geotextil en la subestructura de experimento



Fotografía N°04: Conformación de la subestructura con geotextil de experimento con Material de la cantera Taparachi



Fotografía N° 05: Extendido del material de relleno de la cantera Taparachi



Fotografía N° 06: Saturación con agua de las subestructuras



Fotografía N° 07: Compactación de las subestructuras



Fotografía N° 08: Ensayo de densidad de campo en las subestructuras



Fotografía N°09: Marcado para realizar en estos puntos el ensayo de viga Benkelman



Fotografía N°10: Ensayo de viga Benkelman



ANEXO 3. RESULTADOS DE LOS ENSAYOS



ANEXO 1
FORMULARIO DE AUTORIZACIÓN

AUTORIZACIÓN PARA LA INCORPORACIÓN DE LOS
TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN
EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL UANCV

Formato digital

Fecha de entrega: 03-10-2024

1. Datos del autor (es):

Nombres y Apellidos: JESUS ALBERT QUISPE FLORES
Dirección: Jr. FRANCISCO BOLOGNESI N° 752 - JULIACA
DNI/Carné de Extranjería/Pasaporte N°: 45228881
Teléfono: 959333894 email: ajesuqf@gmail.com

Nombres y Apellidos: _____
Dirección: _____
DNI/Carné de Extranjería/Pasaporte N°: _____
Teléfono: _____ email: _____

Facultad y/o Escuela de Posgrado: MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL
Escuela Profesional o Mención: GEOTECNIA Y TRANSPORTES
Título o Grado Académico a optar: MAESTRO EN INGENIERÍA CIVIL
Asesor: Mgt. FRANZ JOSEPH BARAHONA PERALES

Esta obra se encuentra dentro de las siguientes denominaciones:

Trabajo de Investigación Tesis Trabajo de Suficiencia Profesional Trabajo Académico

Título: INFLUENCIA DE LA APLICACIÓN DEL GEOTEXTIL TEJIDO EN EL MÓDULO DE RESILIENCIA DE LA SUBRASANTE PARA PAVIMENTOS FLEXIBLES DE LA CIUDAD DE JULIACA 2023

Palabras claves, (3 a 5 términos): RESILIENCIA, GEOTEXTIL TEJIDO, RETROANÁLISIS

¿Esta obra se desarrolló en la UANCV ^{1,2}?

2

¹ Indicar si su producción intelectual ha empleado recursos tales como, instalaciones, laboratorios, insumos, equipos, bases de datos, asesoría técnica por parte del personal de la UANCV, financiamiento, entre otros relacionados.

² Si su producción intelectual se desarrolló en la UANCV totalmente o parcialmente, deberá autorizar el depósito en el Repositorio de manera obligatoria.



2. Referencia de tesis:

- Bachiller
- Titulo
- 2da Especialidad
- Maestría
- Doctorado

3. Licencias:

a) Licencia estándar:

Bajo los siguientes términos, autorizo el depósito de mi tesis en el Repositorio Digital de la UANCV.

Con la autorización de depósito de mi producción Intelectual, otorgo a la Universidad Andina "Néstor Cáceres Velásquez" una licencia no exclusiva para reproducir, distribuir, comunicar al público, transformar (únicamente mediante su traducción a otros idiomas) y poner a disposición del público mi producción intelectual (incluido el resumen), en formato físico o digital, en cualquier medio, conocido o por conocerse, a través de los diversos servicios por la Universidad, creados o por crearse, tales como el Repositorio Digital de tesis UANCV, colección de producción intelectual, entre otros, en el Perú y en el extranjero por el tiempo y veces que considere necesarias, y libres de remuneraciones.

En virtud de dicha licencia, la Universidad Andina "Néstor Cáceres Velásquez" podrá reproducir mi producción intelectual en cualquier tipo de soporte y en más de un ejemplar, sin modificar su contenido, solo con propósitos de seguridad, respaldo y preservación.

Declaro que la producción intelectual es una creación de mi autoría y exclusiva titularidad, coautoría con titularidad compartida, y me encuentro facultado a conceder la presente licencia y, asimismo, garantizo que dicha producción intelectual no infringe derechos de autor de terceras personas.

La Universidad Andina "Néstor Cáceres Velásquez" consignará el nombre del y/o los autor(es) de la producción intelectual, y no le hará ninguna modificación más que la permitida en la licencia.

Autorizo su publicación (marque con una X)

- Sí, autorizo que se deposite inmediatamente.
- Sí, autorizo que se deposite a partir de la fecha (d/m/a): _____
- No autorizo.

b) Licencia CREATIVE COMMONS 4.0 INTERNACIONAL:

Si usted concede una licencia CREATIVE COMMONS sobre su producción intelectual, mantiene la titularidad de los derechos de autor de esta y, a la vez, permite que otras personas puedan reproducirla, comunicarla al público y distribuir ejemplares de esta, bajo las condiciones siguientes:

¿Quiere permitir usos comerciales de su producción intelectual?

Sí: significa que usted permite la reproducción, distribución y comunicación pública de la producción intelectual incluso con fines comerciales.

No: significa que usted permite la reproducción, y comunicación pública de la producción intelectual, pero sin fines comerciales.

- Sí autorizo
- No autorizo



Jurisdicción de su Licencia

Todas las licencias CREATIVE COMMONS son de ámbito mundial, sin embargo, usted puede elegir entre la opción "internacional" o una adaptada a su jurisdicción, como para el caso peruano.

La opción "internacional" emplea el lenguaje y la terminología de los tratados internacionales; en cambio, la adaptada a su jurisdicción, recoge las particularidades de la legislación peruana.

En consecuencia, la opción "internacional" goza de una mayor eficacia a nivel mundial, gracias a que tiene jurisdicción neutral. Mientras que la opción adaptada a la jurisdicción del Perú goza de una mayor eficacia ante los tribunales peruanos.

Internacional

Nacional

Línea de investigación: TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN - P50

Firma de Autor



huella digital

03-10-2024

Fecha