

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE CUENCA

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo

UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA,

INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**“ANÁLISIS COMPARATIVO DE BASES GRANULARES CON
MEZCLA DE CONSOLID, CAL Y CEMENTO”**

**PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO CIVIL**

AUTORES: JUAN FERNANDO VILLA ORTIZ

CHRISTIAN RODRIGO HERAS MARQUINA

DIRECTOR: ING. CESAR HUMBERTO MALDONADO NOBOA

CUENCA-ECUADOR

2024

DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo

**UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y
CONSTRUCCIÓN**

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**“ANÁLISIS COMPARATIVO DE BASES GRANULARES CON MEZCLA
DE CONSOLID, CAL Y CEMENTO”**

**PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO CIVIL**

AUTORES: JUAN FERNANDO VILLA ORTIZ

CHRISTIAN RODRIGO HERAS MARQUINA

DIRECTOR: ING. CESAR HUMBERTO MALDONADO NOBOA

CUENCA - ECUADOR

2024

DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO

DECLARATORIA DE AUTORÍA Y RESPONSABILIDAD

Christian Rodrigo Heras Marquina y Juan Fernando Villa Ortiz portadores de las cédulas de ciudadanía N° 0105260509 y 0106827827. Declaramos ser autore(a)s de la obra: "Análisis comparativo de Bases granulares con mezclas de Consolid, Cal y Cemento", sobre la cual nos hacemos responsables sobre las opiniones, versiones e ideas expresadas. Declaramos que la misma ha sido elaborada respetando los derechos de propiedad intelectual de terceros y eximimos a la Universidad Católica de Cuenca sobre cualquier reclamación que pudiera existir al respecto. Declaramos finalmente que nuestra obra ha sido realizada cumpliendo con todos los requisitos legales, éticos y bioéticos de investigación, que la misma no incumple con la normativa nacional e internacional en el área específica de investigación, sobre la que también nos responsabilizamos y eximimos a la Universidad Católica de Cuenca de toda reclamación al respecto.

Cuenca, 17 de septiembre de 2024

F: 
Christian Rodrigo Heras Marquina
0105260509

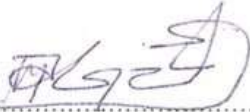
F: 
Juan Fernando Villa Ortiz
0106827827

CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR DE TESIS

Yo, Ing. Msc. César Humberto Maldonado Noboa, certifico que el presente trabajo de titulación realizado por la Sr. Juan Fernando Villa Ortiz y Sr. Christian Rodrigo Heras Marquina, egresados de la UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN, fue desarrollado bajo mi supervisión y tutoría con el tema "Análisis comparativo de Bases granulares con mezcla de Consolid, Cal y Cemento".

Atentamente,

DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO

F: 

Ing. Msc César Humberto Maldonado Noboa

C.I: 0102260916

DOCENTE- TUTOR

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de titulación a Dios y a mis padres, Angel y Matilde, por su sacrificio y esfuerzo incansable, siempre velando por mi bienestar y educación. Su apoyo constante a largo de mi vida y durante mi etapa universitaria ha sido fundamental para forjar mi camino y permitirme culminar la carrera.

A mi querida esposa Bernabeth por ser mi compañera de vida y mi apoyo inquebrantable. Tu amor, paciencia y comprensión han sido fundamental para alcanzar esta meta juntos.

A todos quienes han compartido conmigo este camino, su aliento y amistad han sido un regalo invaluable.

Fernando Villa

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de titulación a Dios y a mis padres, Rodrigo y Yolanda por su amor incondicional, apoyo inquebrantable y sacrificios innumerables a lo largo de los años. Su confianza en mí y su constante aliento han sido mi mayor motivación para llegar hasta aquí.

A mis hermanos, Steven y Matías, por ser mis compañeros de aventuras, mis confidentes y mis inspiraciones. Sus palabras de aliento siempre llegaron en el momento justo para impulsarme a seguir adelante.

A mis amigos y compañeros quienes me han apoyado en cada paso del camino y han compartido tanto los momentos buenos como los desafiantes. Su amistad es un tesoro que atesoro profundamente.

A mis profesores y mentores, por su guía experta, paciencia y sabios consejos que han enriquecido mi formación académica y personal.

A todos aquellos que de una manera u otra han contribuido a la realización de este trabajo, mi más sincero agradecimiento.

Christian Heras

AGRADECIMIENTO

Agradezco en primer lugar a Dios y a la Virgen por concederme la salud y la vida necesarias para alcanzar esta meta. A mis padres, por su infinita paciencia y confianza en mí, y por ofrecerme su ayuda y orientación a lo largo de mi vida; ellos son mi guía y mi inspiración. A mis hermanas, por sus valiosos consejos, y a mi esposa, por ser mi apoyo incondicional en todo momento.

A mis docentes quienes han impartido su conocimiento y experiencias para formarme como un profesional, especialmente al Ing. Cesar Humberto Maldonado Noboa, mi director de tesis gracias por sus sabios conocimientos y orientación profesional quien supo orientarme sin interés alguno para culminar con éxito esta investigación.

Fernando Villa

AGRADECIMIENTO

Quisiera expresar mi más sincero agradecimiento a todas las personas que contribuyeron de alguna manera a la realización de este trabajo:

A mi director de tesis, Ing. Cesar Maldonado, por su orientación experta, paciencia y motivación constante a lo largo de este proceso. Sus consejos y comentarios fueron fundamentales para dar forma a este trabajo de investigación.

A mis profesores de la carrera de Ingeniería Civil, por compartir su conocimiento y por brindarme la oportunidad de aprender y crecer académicamente.

A mis padres y familiares, por su apoyo incondicional, comprensión y por ser mi mayor fuente de inspiración. Su confianza en mí ha sido fundamental para alcanzar este logro.

A mis amigos y compañeros de estudio, por su compañerismo, ánimo y por compartir conmigo momentos inolvidables durante estos años de universidad.

A todos aquellos que de alguna manera contribuyeron con sus conocimientos, experiencias o simplemente con su apoyo moral, les estoy profundamente agradecido.

Christian Heras

RESUMEN

La presente investigación se centra en estabilizar una base granular, mediante la mezcla de distintos aditivos para mejorar la estructura de un pavimento. La construcción de carreteras en Ecuador implica la explotación de materiales no renovables de minas, canteras y ríos. Para abordar este problema, se busca reducir el consumo de estos recursos, mediante la mejora de las propiedades mecánicas de los materiales con alternativas viables y sostenibles. El objetivo fue, encontrar opciones viables de estabilización utilizando aditivos como cal, cemento y Consolid 555, siguiendo las dosificaciones recomendadas por las normativas vigentes y las especificaciones de los proveedores.

Los resultados mostraron que el material sin aditivos estabilizantes presenta un índice de plasticidad (IP) de 3,55% y un CBR de 87%. Se utilizaron dosificaciones de 4% para el cemento, 3% para la cal y 0,6 lt/m³ de Consolid 555 junto con 3 kg/m² de Solidry. Estas dosificaciones mejoraron significativamente la capacidad portante: el CBR con cemento aumentó a 123,7%, con cal a 102,76%, y con Consolid 555 a 190,44%. Además, la implementación de estos aditivos permitió determinar la reducción de los espesores de las capas de base granular, que fueron obtenidos con el ábaco de la normativa AASHTO 1993 para el diseño de la estructura de pavimento; pasando de tener 20 cm de espesor de base sin aditivos a 19 cm de estabilización con cal, a 17 cm de estabilización con cemento y a 13 cm de estabilización con Consolid 555.

Palabras clave: estabilización, aditivos, base granular, mezclas.

ABSTRACT

This research focuses on stabilizing a granular base by mixing different additives to improve the structure of a pavement. The construction of roads in Ecuador involves the exploitation of non-renewable materials from mines, quarries, and rivers. To address this issue, the aim is to reduce the consumption of these resources by enhancing the mechanical properties of materials with viable and sustainable alternatives. The objective was to find viable stabilization options using additives such as lime, cement, and Consolid 555, following the dosages recommended by current regulations and the specifications of the suppliers.

The results showed that the material without stabilizing additives has a plasticity index (PI) of 3.55% and a CBR of 87%. Dosages of 4% for cement, 3% for lime, and 0.6 lt/m³ of Consolid 555 along with 3 kg/m² of Solidry were used. These dosages significantly improved the load-bearing capacity: the CBR increased to 123.7% with cement, 102.76% with lime, and 190.44% with Consolid 555. Furthermore, the implementation of these additives allowed for the determination of the reduction in the thicknesses of the granular base layers, which were obtained using the AASHTO 1993 design guidelines for pavement structures; decreasing from a thickness of 20 cm of base without additives to 19 cm of stabilization with lime, to 17 cm of stabilization with cement, and to 13 cm of stabilization with Consolid 555.

Keywords: stabilization, additives, granular base, mixtures

ÍNDICE DE CONTENIDO

INDICE DE TABLAS	xiii
INDICE DE FIGURAS.....	xvi
INDICE DE ANEXOS	xviii
CAPÍTULO I	1
1. GENERALIDADES	1
1.1. Introducción	1
1.2. Antecedentes	2
1.3. Objetivos	5
1.3.1 Objetivo General.....	5
1.3.2 Objetivos Específicos.....	5
1.4. El Problema	6
1.4.1 Formulación del Problema.....	6
1.4.2 Delimitación del Problema	6
1.5. Justificación.....	7
1.6. Definición de la Zona de Estudio	7
CAPÍTULO II	10
2. MARCO TEORICO	10
2.1. Bases Granulares.....	10
2.2. Clasificación de bases granulares.....	11
2.2.1 Base clase 1	11
2.2.2 Base clase 2.....	12
2.2.3 Base clase 3.....	13
2.2.4 Base clase 4.....	14

2.3.	Clasificación de suelos mediante método S.U.C.S y AASHTO	14
2.3.1	Clasificación de suelos AASHTO	14
2.3.2	Clasificación de suelos SUCS.....	16
2.3.3	Gravas	16
2.3.4	Arenas	17
2.3.5	Suelos finos.....	17
2.4.	Estabilización y mejoras de bases granulares.	18
2.5.	Estabilización de bases con sistema consolid	19
2.5.1	Consolid	19
2.6.	Estabilización de bases con Cal	22
2.7.	Estabilización de base con Cemento.	24
CAPÍTULO III.....		29
3.	METODOLOGIA Y ENSAYOS DE LABORATORIO	29
3.1.	Ensayos por efectuar con su respectiva norma.....	29
3.2.	Ubicación de la zona de extracción de la muestra	33
3.3.	Ensayos a realizar.....	35
3.4.	Análisis granulométrico	35
3.5.	Determinación de los límites de Atterberg.....	37
3.5.1	Determinación del límite líquido (LL).....	37
3.5.2	Determinación del Límite Plástico (LP)	40
3.5.3	Determinación del Índice de Plasticidad.....	42
3.6.	Clasificación del Suelo.....	43
3.7.	Determinación del porcentaje de cemento a adicionar.....	43

3.8.	Determinación del porcentaje de cal a adicionar	44
3.9.	Determinación del porcentaje de consolid a adicionar.....	45
3.10.	Ensayo Proctor modificado	45
3.10.1	Muestra base granular	48
3.10.2	Muestra base granular estabilizada con Cemento al 4%.....	50
3.10.3	Muestra base granular estabilizada con Cal al 3%.....	51
3.10.4	Muestra base granular estabilizada con Consolid 555	53
3.11.	Ensayo CBR	54
3.11.1	CBR de base granular	57
3.11.2	CBR de la base granular estabilizada con Cemento al 4%	59
3.11.3	Muestra base granular estabilizada con Cal al 3%.....	60
3.11.4	Muestra base granular estabilizada con Consolid 555	62
3.12.	Resistencia a la Abrasión de los agregados	64
3.13.	Espesores necesarios de la base dependiendo el tipo de agregado. ...	66
CAPÍTULO IV.....		70
4.	ANÁLISIS Y COMPARACIÓN DE RESULTADOS	70
4.1.	Clasificación de la Base	70
4.1.1	Granulometría de la muestra.....	70
4.1.2	Límite líquido de la muestra	71
4.1.3	Índice de plasticidad de la muestra	71
4.1.4	CBR de la muestra	72
4.1.5	Abrasión de la muestra.....	72
4.2.	Ensayo Proctor modificado	73
4.3.	Comparación del aumento del CBR con el uso de aditivos en las mezclas.	

4.4. Comparación de los porcentajes de CBR con los distintos aditivos a las diferentes energías que se aplicaron.....	75
4.5. Comparación de los porcentajes de limite líquido, limite plástico e índice de plasticidad con los distintos aditivos utilizados.	78
4.6. Comparación de espesores de acuerdo al incremento de CBR para las mezclas con los distintos aditivos.....	81
CAPÍTULO V	85
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	85
5.1. Conclusiones	85
5.2. Recomendaciones.....	86
6. Bibliografía.....	88
7. ANEXOS	93

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Granulometría base clase 1</i>	12
Tabla 2 <i>Granulometría base clase 2</i>	13
Tabla 3 <i>Granulometría base clase 3</i>	13
Tabla 4 <i>Granulometría base clase 4</i>	14
Tabla 5 <i>Coordenadas de obtención de base granular</i>	33
Tabla 8 <i>Ensayos a realizar en las muestras con los diferentes aditivos</i>	35
Tabla 9 <i>Resultados del análisis granulométrico de la base granular</i>	36
Tabla 10 <i>Resultado del ensayo del límite líquido de la base en estado natural</i>	38
Tabla 11 <i>Resultado del ensayo límite plástico de la base granular</i>	41
Tabla 12 <i>Resultado del ensayo índice de plasticidad de la base granular</i>	42
Tabla 13 <i>Resultado del ensayo índice de plasticidad de la base granular estabilizada con cemento 4%</i>	42
Tabla 14 <i>Resultado del ensayo índice de plasticidad de la base granular estabilizada con cal 3%</i>	43
Tabla 15 <i>Resultado del ensayo índice de plasticidad de la base granular estabilizada con consolid 555</i>	43
Tabla 6 <i>Porcentaje de cemento según AASHTO dependiente del peso</i>	44
Tabla 7 <i>Dosificación presentada por el fabricante</i>	45
Tabla 16 <i>Especificaciones de la prueba Proctor modificado</i>	46
Tabla 17 <i>Resultado de la densidad húmeda de la muestra de la base granular</i>	48
Tabla 18 <i>Resultado del contenido de humedad</i>	49
Tabla 19 <i>Resultado de la densidad húmeda de la muestra de la base estabilizada con cemento 4%</i>	50
Tabla 20 <i>Resultado del contenido de humedad</i>	50
Tabla 21 <i>Resultado de la densidad húmeda de la muestra de la base granular estabilizada con cal 3%</i>	51
Tabla 22 <i>Resultado del contenido de humedad</i>	52

Tabla 23 <i>Resultado de la densidad húmeda de la muestra de la base granular estabilizada con Consolid 555</i>	53
Tabla 24 <i>Resultado del contenido de humedad</i>	53
Tabla 25 <i>Valores del CBR para la base granular</i>	57
Tabla 26 <i>Lectura de expansión base granular</i>	57
Tabla 27 <i>Lectura de expansión base granular</i>	58
Tabla 28 <i>Lectura de expansión base granular</i>	58
Tabla 29 <i>Resultados de la obtención del CBR</i>	59
Tabla 30 <i>Lectura de expansión base granular estabilizada con cemento</i>	59
Tabla 31 <i>Lectura de expansión base granular estabilizada con cemento</i>	60
Tabla 32 <i>Lectura de expansión base granular estabilizada con cemento</i>	60
Tabla 33 <i>Resultados de la obtención del CBR</i>	60
Tabla 34 <i>Lectura de expansión base granular estabilizada con cal con 56 golpes</i>	61
Tabla 35 <i>Lectura de expansión base granular estabilizada con cal con 25 golpes</i>	61
Tabla 36 <i>Lectura de expansión base granular estabilizada con cal con 12 golpes</i>	62
Tabla 37 <i>Resultados de la obtención del CBR</i>	62
Tabla 38 <i>Lectura de expansión base granular estabilizada con consolid 555 con 56 golpes</i>	63
Tabla 39 <i>Lectura de expansión base granular estabilizada con consolid 555 con 25 golpes</i>	63
Tabla 40 <i>Lectura de expansión base granular estabilizada con consolid 555 con 12 golpes</i>	63
Tabla 41 <i>Granulometría de las muestras de ensayo</i>	64
Tabla 42 <i>Ensayo de abrasión</i>	66
Tabla 43 <i>Curva granulométrica de la base granular</i>	70
Tabla 44 <i>Límite líquido de la muestra de base</i>	71
Tabla 45 <i>Clasificación por su índice de plasticidad</i>	72
Tabla 46 <i>Clasificación por su CBR</i>	72
Tabla 47 <i>Clasificación por su abrasión</i>	73

Tabla 48 <i>Comparación de resultados ensayo Proctor modificado</i>	73
Tabla 49 <i>Análisis comparativo del CBR con distintos aditivos</i>	82

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 <i>Zona de procesamiento de muestras</i>	8
Figura 2 <i>Zona de explotación del material</i>	9
Figura 3 <i>Clasificación AASHTO</i>	16
Figura 4 <i>Mejoramiento de los límites plástico y líquido agregando cal</i>	23
Figura 5 <i>Coordenadas del punto de obtención del material base</i>	34
Figura 6 <i>Obtención del material de la mina Rooka Azul</i>	34
Figura 7 <i>Curva granulométrica de la base granular</i>	36
Figura 8 <i>Franjas granulométricas de la base granular</i>	37
Figura 9 <i>Realización del ensayo Limite Líquido</i>	38
Figura 10 <i>Grafica del ensayo límite líquido de la base granular</i>	39
Figura 11 <i>Secado de material</i>	47
Figura 12 <i>Tamizado del material</i>	47
Figura 13 <i>Realización del ensayo Proctor modificado</i>	48
Figura 14 <i>Obtención de la humedad óptima de la base granular</i>	49
Figura 15 <i>Obtención de la humedad óptima de la base granular estabilizada con cemento 4%</i>	51
Figura 16 <i>Obtención de la humedad óptima de la base granular estabilizada con cal 3%</i>	52
Figura 17 <i>Obtención de la humedad óptima de la base granular estabilizada con consolid 555</i>	54
Figura 18 <i>Tamizado de la muestra</i>	55
Figura 19 <i>Compactación de la muestra para determinar el CBR</i>	56
Figura 20 <i>Muestra en la prensa CBR</i>	56
Figura 21 <i>Colocación del material de base granular en la máquina de los Angeles</i>	65
Figura 22 <i>Máquina de los Ángeles</i>	65
Figura 23 <i>Grafico para determinar el coeficiente estructural (a_2) de la base granular</i>	67
Figura 24 <i>Selección de números estructurales dependiendo el CBR</i>	68
Figura 26 <i>Comparación de CBR con distintas mezclas</i>	74

Figura 27 <i>Porcentajes de CBR a los distintos golpes aplicados</i>	75
Figura 28 <i>Porcentajes de Cbr a los distintos golpes aplicados</i>	76
Figura 29 <i>Porcentajes de Cbr a los distintos golpes aplicados</i>	77
Figura 30 <i>Porcentajes de Cbr a los distintos golpes aplicados</i>	77
Figura 31 <i>Comparación de los porcentajes de Cbr a los distintos golpes aplicados</i>	78
Figura 32 <i>Comparación del límite líquido</i>	79
Figura 33 <i>Comparación del límite plástico</i>	80
Figura 34 <i>Comparación del índice de plasticidad</i>	81
Figura 35 <i>Comparación de espesores necesarios de la base con y sin cal al 3%</i>	83
Figura 36 <i>Comparación de espesores necesarios de la base con y sin cemento al 4%</i>	83
Figura 37 <i>Comparación de espesores necesarios de la base con y sin consolid 555</i>	84

INDICE DE ANEXOS

Anexo 1 <i>Obtención del material de base</i>	93
Anexo 2 <i>Secado del material</i>	93
Anexo 3 <i>Ensayo de granulometría</i>	94
Anexo 4 <i>Compactación del material de base</i>	94
Anexo 5 <i>Extracción del material en la prensa hidráulica</i>	95
Anexo 6 <i>Mezclado de material fino y grueso</i>	95
Anexo 7 <i>Adicción de consolid a la mezcla</i>	96
Anexo 8 <i>Compactación de material para CBR</i>	96
Anexo 9 <i>Preparación de material para ensayos</i>	97
Anexo 10 <i>Ensayo de límites con aditivos</i>	97
Anexo 11 <i>Muestras de límites saturadas en agua</i>	98
Anexo 12 <i>Extracción de material después del ensayo de compactación</i>	98
Anexo 13 <i>Ensayo de CBR</i>	99
Anexo 14 <i>Saturación de material después del ensayo de CBR</i>	99
Anexo 15 <i>Muestras después de saturación para colocar en la prensa de CBR</i>	100
Anexo 16 <i>Tamizado de material para obtener agregados gruesos y finos</i>	100
Anexo 17 <i>Tamizado de material fino</i>	101
Anexo 18 <i>Ensayo de Abrasión</i>	101
Anexo 19 <i>Mezcla de base con cal para ensayo de compactación</i>	102
Anexo 20 <i>Pesaje del material</i>	102
Anexo 21 <i>Pesaje de los aditivos añadidos</i>	103
Anexo 22 <i>Pesaje de material con molde para ensayos</i>	103
Anexo 23 <i>Ensayos de límites de Atterberg</i>	104
Anexo 24 <i>Ensayo: Granulometría y curva granulométrica</i>	105
Anexo 25 <i>Ensayo: Granulometría y curva granulométrica</i>	105

Anexo 26	<i>Ensayo: Granulometría y franja granulométrica</i>	107
Anexo 27	<i>Ensayo: Límites de atterberg y índice de plasticidad</i>	107
Anexo 28	<i>Ensayo: Compactación de la base granular</i>	108
Anexo 29	<i>Ensayo: CBR de la base granular</i>	109
Anexo 30	<i>Ensayo: CBR de la base granular</i>	109
Anexo 31	<i>Ensayo: CBR de la base granular</i>	110
Anexo 32	<i>Ensayo: CBR de la base granular</i>	110
Anexo 33	<i>Ensayo: de abrasión en la base granular</i>	111
Anexo 34	<i>Ensayo: Compactación de la base granular mezclado con cemento 4%</i>	111
Anexo 35	<i>Ensayo: CBR de la base granular mezclado con Cemento 4%</i>	112
Anexo 36	<i>Ensayo: CBR de la base granular mezclado con Cemento 4%</i>	112
Anexo 37	<i>Ensayo: CBR de la base granular mezclado con Cemento 4%</i>	113
Anexo 38	<i>Ensayo: CBR de la base granular mezclado con Cemento 4%</i>	113
Anexo 39	<i>Ensayo: Compactación de la base granular mezclado con Cal 3%</i>	114
Anexo 40	<i>Ensayo: CBR de la base granular mezclado con Cal 3%</i>	115
Anexo 41	<i>Ensayo: CBR de la base granular mezclado con Cal 3%</i>	115
Anexo 42	<i>Ensayo: CBR de la base granular mezclado con Cal 3%</i>	116
Anexo 43	<i>Ensayo: CBR de la base granular mezclado con Cal 3%</i>	116
Anexo 44	<i>Ensayo: Compactación de la base granular mezclado con Consolid 555</i>	117
Anexo 45	<i>Ensayo: CBR de la base granular mezclado con Consolid 555</i>	118
Anexo 46	<i>Ensayo: CBR de la base granular mezclado con Consolid 555</i>	118
Anexo 47	<i>Ensayo: CBR de la base granular mezclado con Consolid 555</i>	119
Anexo 48	<i>Ensayo: CBR de la base granular mezclado con Consolid 555</i>	119

CAPÍTULO I

GENERALIDADES

1.1. Introducción

En la actualidad uno de los principales inconvenientes en el Azuay y el Ecuador es la vialidad, la necesidad de contar con vías de alta calidad y larga durabilidad que representan un papel fundamental y determinante para el progreso socioeconómico del país. La construcción de carreteras en el Ecuador implica la sobreexplotación de materiales no renovables de canteras, minas y ríos de donde, se obtiene agregados como: base, sub base, mejoramiento, entre otros. Las consecuencias son notables debido a la disminución de materiales no renovables en las minas pertenecientes a la provincia del Azuay. (Moreno & Montoya, 2005).

Es importante recalcar que la obtención de materiales granulares para estructuras de pavimentos conlleva procesos complejos de producción por lo que es necesario optar por alternativas viables mediante la aplicación de aditivos a los agregados que conforman la estructura de un pavimento para mejorar sus propiedades mecánicas. (Moreno & Montoya, 2005).

El presente trabajo de investigación se centrará en el análisis de las propiedades físico – mecánicas de material de base obtenido de “Roocka Azul” ubicada en el sector del Descanso, cantón Paute de la Provincia del Azuay, ya que es una de las importantes canteras que abastece a la provincia de materiales para la construcción vial. Así también se realizará una combinación de esta base granular con distintas mezclas como consolid, cal y cemento; como opción para mejorar las características del material de cantera. (Moreno & Montoya, 2005).

1.2. Antecedentes

En el Ecuador se ha realizado investigaciones sobre mezclas bases con aditivos con el propósito de mejorar la capacidad de carga de las capas granulares que conforman la estructura de un pavimento. Expertos laboratoristas e ingenieros viales han obtenido avances significativos en nuevas tecnologías de aditivos, así como mejorar las metodologías de aplicación en elementos existentes como la cal y el cemento.

En la siguiente tabla se denota algunas investigaciones, tesis y trabajos acerca de la aplicación de aditivos en bases granulares para mejorar sus características.

Titulo	Resumen	Resultados	Fuente
“Estudio del comportamiento de las bases de pavimentos rígidos en la ciudad de Cuenca y su influencia en el diseño”	Se enfoca al estudio de la estabilización de bases granulares con adición del 7% de cemento a materiales	Los valores del CBR incrementaron con la adición de cemento, la resistencia aumentó, disminuyó la plasticidad y hubo menor deformabilidad.	(Murillo Vázquez, 2010)
Bases estabilizadas con cemento: Algunos comentarios sobre sus ventajas e inconvenientes	Se basa en el estudio y análisis de las bases estabilizadas con cemento, centrándose en sus propiedades mecánicas, resistencia a la compresión	Alta resistencia en condiciones de superior saturación adecuada para zonas con elevado nivel freático o superior precipitación, resistencia elástica ante cargas de tránsito evitando problemas de deformación permanente	(Arce-Jiménez, 2011)
“Estudio de una mezcla de base granular con cemento y solid soil para una	Desarrollo de una mezcla base granular con cemento y solid soil para mejorar la	En la investigación nos presenta una comparación entre dos mezclas	(Pineda & Rodríguez, 2019)

resistencia a la compresión de 2.5 Mpa”	resistencia y durabilidad de las bases granulares	generadas en el laboratorio y el campo con materiales proporcionados y especificados, lo cual se encontró que las mezclas tomadas en campo con diferentes dosificaciones generaron una mayor resistencia alcanzando 2.75 Mpa	
Estabilización de la subrasante con ceniza de quinua y cal en la Carretera Lago Sagrado, Puno, Perú	En Perú la estabilización de suelos en estas carreteras mediante el uso de ceniza de quinua y cal.	Muestran una mejora significativa en las características del suelo, lo que podría contribuir a una mejor conectividad y seguridad vial en la zona	(Mamani, Vega , & Rea , 2023)
Estudo laboratorial de um solo tropical granular estabilizado químicamente para fins de pavimentação	Analiza la influencia de aditivos como la cal y la arena, y recomienda evaluar los costos.	La cal influye en la estabilización química de suelos al reaccionar con la sílice o alúmina presentes en el suelo para formar un gel, lo que aumenta la resistencia del suelo	(Talitha Rocha & Ribeiro de Rezende, 2017)
Análisis del uso del sistema consolid, para el mejoramiento de base granular existente, en una pista de aterrizaje, chanchamayo,2019	Mejorar una base granular existente de una pista de aterrizaje sin la necesidad de material de préstamo, y que esté dentro de los estándares requeridos	En una dosificación del 1% del sistema consolid, mejoró la base granular existente de la pista de aterrizaje sin necesidad de recurrir a material de préstamo. Resultó en un aumento del CBR hasta un 180% y una disminución del IP en más del 60%.	(Quiñonez & Rojas, 2019)

Estabilización de un suelo de subrasante de carretera con el sistema consolid	En Manabí se presentó un estudio sobre la estabilización de un suelo de subrasante de carretera con el sistema Consolid 444 (CD444) y el aditivo Solidry	Mostraron una mejora significativa en la capacidad resistente del suelo tratado, lo que conlleva a tener vías con mejor trabajabilidad estructural y mayor tiempo de vida útil.	(Jácome Macías & Ortiz Hernández, 2022)
---	--	---	---

1.3. Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Realizar un análisis comparativo de la incorporación de aditivos como consolid, cal y cemento en la estabilización de material de base producido en la Mina Rooka Azul perteneciente al Cantón Paute

1.3.2 Objetivos Específicos

- Realizar la caracterización de material de base producido en Rooka Azul, a través de ensayos de laboratorio
- Realizar los estudios necesarios para determinar las cantidades óptimas de mezclas a añadir al material
- Analizar las propiedades mecánicas de los materiales estabilizados con las diferentes mezclas propuestas
- Comparar los resultados de los ensayos entre el material con y sin mezclas

1.4. El Problema

1.4.1 Formulación del Problema

En la provincia del Azuay existe una sobreexplotación de materiales granulares debido a la gran demanda y necesidades de los constructores; factores que afectan al medio ambiente, por lo que resulta complicado encontrar fuentes que puedan abastecer los proyectos de construcción dentro de la Provincia del Azuay. (*Explotación de áridos / El Tiempo*, s. f.)

La producción de una base granular en una cantera inicia con la extracción del material utilizando equipo mayor, para fragmentar las rocas, luego el material es triturado para lograr tamaños adecuados de acuerdo a la granulometría especificada, y para facilitar su transporte. Posteriormente será procesado hasta lograr tamaños adecuados, depositando en tolvas y zarandas para clasificar los materiales, luego de lo cual irá a un centro de acopio para ser distribuido al público

1.4.2 Delimitación del Problema

Las minas de materiales granulares en la Provincia del Azuay están estratégicamente ubicadas cerca de yacimientos naturales, ríos o canteras donde se encuentran los materiales pétreos, la extracción de grava, arena y piedra, se realiza generalmente a cielo abierto mediante maquinaria pesada como excavadoras, cargadores frontales y trituradoras. Las ubicaciones cercanas a las fuentes naturales permiten una logística más sencilla y reducen los costos de transporte. El abastecimiento de la Minera Rooka Azul se centra en la explotación de material procedente del talud cerro negro cercano al río Paute, se transporta hasta el sitio de producción ubicado a la altura de El Descanso. Por esta razón, se propone como alternativa reducir el uso de materiales mediante la estabilización del material con el uso de cal, cemento y consolid 555 con el fin de obtener espesores menores en la estructura del pavimento (Tepán Vele, 2022).

1.5. Justificación

En la provincia y en el país en general, se presenta un problema muy grave, la calidad de los materiales, así como la disminución de recursos y las condiciones climáticas han ocasionado el acelerado deterioro de las carreteras, lo que genera importantes limitaciones en la comunicación y el comercio para los habitantes. En consecuencia, existe la necesidad de garantizar la calidad de los materiales e innovar soluciones que permitan enfrentar el incremento de cargas en el pavimento.

La justificación radica en ofrecer diversas alternativas para abordar la sobreexplotación de material granular destinado a la producción de bases. Se propone la mezcla de consolid, cal y cemento para evaluar su idoneidad en estructuras de pavimentos, con el objetivo de proporcionar una opción rentable que reduzca el consumo de espesores de base en proyectos viales. Estas alternativas nos proporcionan la disminución de la sobreexplotación de las canteras en la provincia del Azuay, por lo tanto, obtenemos menor contaminación ambiental.

Se llevará a cabo un análisis del comportamiento de la base al combinarla con los aditivos mencionados, mediante ensayos de compresión y CBR, con el fin de determinar la resistencia máxima con los diferentes porcentajes de cada mezcla.

1.6. Definición de la Zona de Estudio

La zona donde se procesa el material, se encuentra ubicada en el sector El Descanso, comunidad El Descanso, Cantón Paute Provincia del Azuay precisamente en las coordenadas (740395.27E, 9684714.62 m N).

Figura 1

Zona de procesamiento de muestras.



Nota. Toma de Google Earth

La zona donde se procesa el material, se encuentra ubicada en el sector Tamuga, Comunidad El Descanso, Cantón Paute, Provincia del Azuay precisamente en las coordenadas. (735,890.01 m E, 9'686,061.10 m N). Al ser una mina ubicada en un área coluvial, como taludes, generalmente se produce una variedad de materiales de construcción y agregados naturales debido a la composición de los sedimentos y rocas que se encuentran en esa ubicación. (Rookaazul, 2024)

Figura 2

Zona de explotación del material.



Nota. Tomado de Google Earth.

CAPÍTULO II

MARCO TEORICO

2.1. Bases Granulares.

La base granular es la capa de la estructura de pavimento que generalmente soporta la carpeta asfáltica en los pavimentos flexibles o a la losa de concreto en los rígidos. Esta capa está compuesta por materiales granulares (piedra triturada) sin tratamiento, colocado sobre la subbase. En algunos casos, esta capa puede construirse directamente sobre la subrasante cuando esta presenta un buen desempeño mecánico, es decir, cuando tiene un valor de CBR adecuado. La principal función de esta capa es transferir las cargas de tránsito con valores adecuados a las capas inferiores.(Tepán Vele, 2022)

Estructuralmente, la carpeta asfáltica desempeña un papel crucial al absorber los esfuerzos horizontales y parte de los verticales. Esto se debe a que las cargas de los vehículos se distribuyen a través de las capas inferiores. La capa de base, situada justo debajo de la carpeta asfáltica tiene la principal de soportar la mayor parte de los esfuerzos verticales, de modo que su rigidez o resistencia a la deformación bajo las sollicitaciones repetidas del tránsito suele estar en relación con la intensidad del tránsito pesado. Por lo tanto, para tránsito medio y ligero se utilizan las tradicionales bases granulares, mientras que para tránsito pesado se emplean materiales granulares tratados con algún tipo de cementante.(Meza & Piusseaut, 2019)

En las Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos y Puentes. Se establece a las bases granulares como: “La capa de espesor definido, de materiales sujetos a determinadas especificaciones, colocada sobre la subbase o la subrasante para soportar la superficie o rodadura”(MOP-2002, s. f.)

Una base granular consiste en la mezcla de piedra o grava, arena y suelo en su estado natural, ya sea clasificados o parcialmente triturados, con el propósito de formar una capa esencial dentro del pavimento. En resumen, los materiales utilizados deben cumplir con ciertos requisitos técnicos. La cantidad de material que pase por un tamiz N° 40 no debe ser menor que 25 y un índice de plasticidad menor de 6. Además, la resistencia a la abrasión deberá 40% y la capacidad de soporte del material deben alcanzar valores mínimos de 80% del CBR. Estos criterios garantizan que los materiales utilizados cumplan con los estándares de calidad requeridos.(MOP-2002, s. f.)

2.2. Clasificación de bases granulares.

2.2.1 Base clase 1

Los materiales utilizados para estas bases están compuestos por una mezcla de agregados pétreos, tanto finos como gruesos, que han sido triturados al cien por ciento (100%) y cuentan con una granulometría uniforme, encajando dentro de los rangos especificados para los tipos A y B de agregados, según se indica en la tabla 1. No obstante, si fuera preciso añadir más material de relleno mineral para cumplir con los requisitos de graduación, se podrá complementar la granulometría con una trituración adicional de agregados o mediante la incorporación de arena fina, los cuales serán mezclados obligatoriamente en la planta de trituración.(MOP-2002, s. f.)

Tabla 1*Granulometría base clase 1*

Tamiz	Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada	
	Tipo A	Tipo B
2" (50,8mm)	100	-
1 ½" (38,1mm)	70-100	100
1" (25,4mm)	55-85	70-100
¾" (19,0mm)	50-80	60-90
3/8" (9,5mm)	35-60	45-75
Nº 4 (4,76mm)	25-50	30-60
Nº 10 (4,76mm)	20-40	20-50
Nº 40 (4,76mm)	10-25	10-25
Nº 200 (4,76mm)	2-12	2-12

Nota. Recuperado de (MOP-2002, s. f.)

2.2.2 Base clase 2

Son bases compuestas por fragmentos de roca o grava, donde al menos un 50% en peso del agregado grueso ha sido triturado, El equipo de trituración debe permitir la clasificación de los elementos molidos, a fin de obtener los tamaños especificados. Si se necesita material de relleno mineral para cumplir con los requisitos de granulometría, se puede completar con material de una trituración adicional o con arena fina, preferiblemente mezclados en planta. Estas bases deben estar uniformemente graduadas dentro de los límites granulométricos indicados en la tabla 2.(MOP-2002, s. f.)

Tabla 2*Granulometría base clase 2.*

Tamiz	Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada
1" (25,4mm)	100
¾" (19,0mm)	70-100
3/8" (9,5mm)	50-80
N° 4 (4,76mm)	35-65
N° 10 (4,76mm)	25-50
N° 40 (4,76mm)	15-30
N° 200 (4,76mm)	3-15

*Nota. Recuperado de (MOP-2002, s. f.)***2.2.3 Base clase 3**

Son bases compuestas por fragmentos de roca o grava, donde al menos un 25% en peso del agregado grueso ha sido triturado. Si se necesita material de relleno mineral para cumplir con los requisitos de granulometría, se puede completar con material de una trituración adicional o con arena fina. Estas bases deben estar uniformemente graduadas dentro de los límites granulométricos indicados en la tabla 3. (MOP-2002, s. f.)

Tabla 3*Granulometría base clase 3.*

Tamiz	Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada
¾" (19,0mm)	100
N° 4 (4,76mm)	45-80
N° 10 (4,76mm)	30-60
N° 40 (4,76mm)	20-35
N° 200 (4,76mm)	3-15

Nota. Recuperado de (MOP-2002, s. f.)

2.2.4 Base clase 4

Son bases compuestas por fragmentos de piedras o gravas, obtenidos a través de trituración o tamizado, de acuerdo con los requisitos establecidos en la tabla 4, y que presentan una distribución uniforme de sus partículas dentro de los parámetros granulométricos. (MOP-2002, s. f.)

Tabla 4

Granulometría base clase 4.

Tamiz	Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada
2" (50,8mm)	100
1" (25,4mm)	60-90
Nº 4 (4,76mm)	20-50
Nº 200 (0,75mm)	0-15

Nota. Recuperado de (MOP-2002, s. f.)

2.3. Clasificación de suelos mediante método S.U.C.S y AASHTO

La categorización de suelos nos permite definir de manera específica las características que presentan los suelos, los dos métodos utilizan parámetros primordiales para la clasificación de los mismos tales como granulometría y Límites de Atterberg, estos parámetros aprueban determinar la repartición de tamaños y contenidos de humedad que presentan las muestras. (Arízaga Mora, 2014)

2.3.1 Clasificación de suelos AASHTO

Los suelos con base a su comportamiento se clasifican en siete grupos representados por los símbolos A-1 al A-7, estos a su vez se subdividen en 12 subgrupos. (Montejo , 1997)

a) Suelos Granulares: Este tipo se suelos contienen un 35% o menos, del agregado fino que traspasa el tamiz N° 200.

A-1: Este grupo de materiales está compuesto por una mezcla homogénea de piedra triturada, grava, arena y un material ligante con baja plasticidad. (Montejo , 1997)

A-2: Incluye una amplia gama de material granular que sujeta menos del 35% de partículas finas. (Montejo , 1997)

A-3: Estos materiales abarcan las arenas finas, las arenas de playa y aquellas que contienen nula cantidad de limo y no presentan plasticidad. (Montejo , 1997) (Montejo , 1997)

b) Materiales Limo-arcillosos: Este tipo se suelos contienen más de 35% del material fino que pasa el tamiz N°200. (Montejo , 1997)

A-4: Este grupo de materiales incluye suelos limosos con baja o nula plasticidad, que dominan un 75% de componentes finos que pasa a través del tamiz N°200. (Montejo , 1997)

A-5: Son suelos limosos, tienen un límite líquido elevado y son elásticos. (Montejo , 1997)

A-6: El material característico de este grupo es la arcilla plástica. Al menos las tres cuartas partes de estos suelos deben poder pasar a través de un tamiz N° 200 de malla fina. (Montejo , 1997)

A-7: El material característico de esta agrupación es la arcilla plástica: son elásticos y sus límites líquidos son altos. (Montejo, 1997)

Figura 3

Clasificación AASHTO

Tabla 3.3 Clasificación de suelos por el método AASHTO											
Clasificación general	Materiales granulares (35% ó menos, pasa el tamiz No. 200)							Materiales limo-arcillosos (Más del 35% pasa el tamiz No. 200)			
	A - 1		A - 2								A-7
Subgrupos	A-1-a	A-1-b	A-3	A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7	A-4	A-5	A-6	A-7-5 A-7-6
Porcentaje que pasa el tamiz: No. 10 (2.00 mm) No. 40 (0.425 mm) No. 200 (0.075 mm)	50 máx. 30 máx. 15 máx.	— 50 máx. 25 máx.	— 31 mín. 10 máx.	— — 35 máx.	— — 35 máx.	— — 35 máx.	— — 35 máx.	— — 36 mín.	— — 36 mín.	— — 36 mín.	— — 36 mín.
Características del material que pasa el tamiz No. 40 (0.425 mm): Límite líquido Índice de plasticidad	— 6 máx.	— NP	40 máx. 10 máx.	41 mín. 10 máx.	40 máx. 11 mín.	41 mín. 11 mín.	40 máx. 10 máx.	41 mín. 10 máx.	40 máx. 11 mín.	41 mín. 11 mín.*	
Tiempo de fundación	Excelente a bueno		Excelente a bueno		Excelente a bueno			Regular a malo			

* El índice de plasticidad del subgrupo A-7-5, es igual ó menor a U-30.
El índice de plasticidad del subgrupo A-7-6, es mayor que U-30.

Nota. Recuperado de (Montejo, 1997)

2.3.2 Clasificación de suelos SUCS

Los suelos gruesos se pueden clasificar en dos categorías principales: gravas (G) y arenas (S). La separación se realiza utilizando el tamiz N° 4, de modo que un suelo se considera parte del grupo G si más del 50% de su fracción gruesa queda retenida en dicho tamiz. Por el contrario, si más del 50% pasa a través del tamiz, el suelo se clasifica en el grupo S. Tanto las gravas como las arenas se subdividen en cuatro subgrupos cada uno (GW, GP, GM, GC y SW, SP, SM, SC). (Montejo, 1997)

2.3.3 Gravitas

Si la cantidad de partículas finas contenidas en la grava es inferior al 5%, la grava se clasifica como bien graduada (GW) siempre y cuando cumpla con los siguientes requisitos: el coeficiente de curvatura (Ce) debe tener un valor entre 1 y 3, y el coeficiente de uniformidad (Cu)

debe ser superior a 4. En caso de que no se cumplan estos parámetros, la grava se clasificará como mal graduada (GP). (Montejo , 1997)

Si la grava contiene más del 12% de partículas finas, se clasifica como GC si esas partículas son arcilla, o GM si son limo. Cuando el contenido de finos está entre 5 y 12%, se utiliza una clasificación dual, como GW-GC, para reflejar la mezcla de tipos de partículas. (Montejo, 1997)

2.3.4 Arenas

Si el contenido de partículas finas en la arena es inferior al 5%, entonces se clasifica como bien gradada (SW) si no cumple ciertos criterios, o mal gradada (SP). Por otro lado, si el contenido de finos supera el 12%, la arena se considera arcillosa (SC) si los finos son arcilla, o limosa (SM) si los finos son limo. (Montejo , 1997)

Cuando el contenido de finos está entre 5 y 12%, se utiliza una clasificación combinada, por ejemplo, SP – SM.

2.3.5 Suelos finos

El sistema unificado clasifica los suelos de grano fino en tres categorías: suelos limosos sin materia orgánica (M), suelos arcillosos sin materia orgánica (C) y suelos limosos y arcillosos con materia orgánica (O). (Montejo , 1997)

MI Limos inorgánicos de baja compresibilidad

Ol: Limos y arcillas orgánicas de baja compresibilidad

Cl: Arcillas inorgánicas de baja compresibilidad

CH: Arcillas inorgánicas de alta compresibilidad

MH: Limos orgánicos de alta compresibilidad

OH: Arcillas y limos orgánicos de alta compresibilidad". (Montejo, 1997)

2.4. Estabilización y mejoras de bases granulares.

A lo largo de la historia, las personas han empleado cal y distintos tipos de aditivos para fortalecer los distintos suelos existentes. En las distintas civilizaciones latinoamericanas como la de los incas y los aztecas, una de las principales funciones fue mantener caminos estables, los cuales fueron esenciales para diversas actividades. En el siglo XX, se avanzó en la creación de aditivos, maquinaria de construcción y procesos de instalación. Esto permitió la utilización de una mezcla de cemento Portland añadiendo agua, y al ser mezclada con el suelo existente se consolida el suelo de una mejor manera. (Balbuena Flores & Clavo Rimarachin, 2022)

Entre 1910 y 1920, se comenzó a investigar de manera sistemática el comportamiento del suelo-cemento. En el Reino Unido, Brook Bradley logró emplear con notoriedad una mezcla de cemento con arcilla para la fabricación de carreteras en 1917. Viendo los buenos resultados, este proceso dejó de ser utilizada más tarde (Balbuena Flores & Clavo Rimarachin, 2022). En los Estados Unidos, el uso del hormigón de suelo se desarrolló cuando Joseph Hay Amies patentó una mezcla conocida como "Soilamies" en 1917. Una colaboración entre la Asociación de Cemento Portland (PCA), el Departamento de Carreteras Públicas y el Departamento de Carreteras del Estado de Carolina del Sur dió lugar a la construcción de varios tramos de carreteras experimentales entre 1930 y 1940, lo que contribuyó al progreso técnico en la estabilización del hormigón de suelo.

Mediante la adición de cal al suelo, se logró una mejora significativa y rentable de sus cualidades físicas, químicas y mecánicas. Al realizar pruebas con diferentes concentraciones de

cal (0%, 2%, 4% y 6%), se observó un aumento gradual en el valor del CBR, evidenciando un fortalecimiento progresivo del suelo a medida que se incrementaba el porcentaje de cal. Esto demuestra que la estabilización con cal es una técnica efectiva para preparar el terreno como base de carreteras, ya que mejora de manera notable las características del suelo, haciéndolo más resistente y adecuado para soportar cargas pesadas. La eficacia de esta técnica no solo optimiza la calidad del suelo, sino que también contribuye a la durabilidad y estabilidad de las infraestructuras viales, justificando su implementación en proyectos de construcción de carreteras. (Balbuena Flores & Clavo Rimarachin, 2022).

(García Restrepo, 2022) Además, en un estudio que tuvo como objetivo estabilizar el suelo rojo con grava y cal hidratada para construir caminos de bajo volumen en Nyeri, Kenia, se realizaron pruebas físicas y mecánicas en el suelo estabilizado. Los resultados mostraron que la adición de cal redujo el índice de plasticidad y aumentó significativamente el CBR, indicando que las mezclas de suelo, grava y cal son adecuadas para carreteras pavimentadas. La eficacia de esta técnica no solo optimiza la calidad del suelo, sino que también contribuye a la durabilidad y estabilidad de las infraestructuras viales, justificando su implementación en proyectos de construcción de carreteras.

2.5. Estabilización de bases con sistema consolid

2.5.1 *Consolid*

El sistema Consolid es una tecnología avanzada para estabilizar e impermeabilizar suelos, distinguiéndose de los métodos tradicionales al garantizar una compactación irreversible del suelo. Su aplicación aumenta la resistencia y reduce la capilaridad y permeabilidad de las bases de las carreteras, lo que resulta en una significativa reducción de los costos de sostenimiento y alarga la vida útil de los proyectos de infraestructura. Consiste en dos aditivos principales:

Consolid 444 (CD444) y Solidry. El CD444 induce la aglomeración irreversible de las partículas finas del suelo, reduciendo su superficie activa y mejorando la capacidad de compactación. Por otro lado, Solidry complementa esta acción al bloquear los capilares y evitar que el agua superficial penetre en la capa tratada. En conjunto, estos productos ofrecen una solución integral para mejorar la estabilidad y durabilidad de las estructuras viales. (Jácome Macías & Ortiz Hernández, 2022)

El sistema Consolid AG, que incluye los componentes Consolid (C-555), Solidry y Conservex, está diseñado para estabilizar y impermeabilizar suelos, especialmente en tipos cohesivos y semi-cohesivos como limosos y arcillosos. Su principio fundamental es la versatilidad, destacándose el aditivo Consolid por su emulsión invertida con monómeros, polímeros y un catalizador que acelera la penetración. Entre sus beneficios se encuentran la reducción del índice plástico y del hinchamiento del suelo, así como un aumento en el CBR (California Bearing Ratio). La aplicación del sistema es sencilla, ya sea en el lugar o en planta, utilizando maquinaria convencional y permitiendo ajustes en la dosificación para alcanzar las propiedades deseadas del suelo tratado. (Huaraca, 2021)

(Jácome Macías & Ortiz Hernández, 2022). En su artículo científico: “Stabilization of a road subgrade soil with the consolid” En la investigación se presenta un estudio sobre la estabilización de un suelo de subrasante de carretera con el sistema Consolid 444 (CD444) y el aditivo Solidry en donde se utilizaron normativas de ensayos de mecánica de suelos de laboratorio, tales como AASHTO -T.88_ ASTM D 422, AASHTO-T.89_ ASTM D4318, AASHTO T-180_ ASTM D-1557, AASHTO T-193_ ASTM”. El estudio utilizó un suelo de subrasante arcilloso de baja calidad, clasificado como limo de alta plasticidad MH según la norma SUCS y como suelo A-7-5 según la norma AASHTO. Se realizaron excavaciones en la

parroquia Colón, provincia de Manabí, Ecuador, para obtener muestras inalteradas y realizar ensayos. Se aplicó el sistema Consolid para alterar las características del suelo y mejorar su resistencia y durabilidad geotécnica. Los resultados demostraron un progreso significativo en la capacidad de carga del suelo tratado, lo que resulta en vías con una estructura más manejable y una vida útil prolongada. Se observó un aumento en el CBR y una disminución en el esponjamiento del suelo tratado en comparación con el suelo natural. Se probaron diferentes concentraciones de aditivos en cilindros de suelo para evaluar la capacidad de carga. Estos hallazgos sugieren que la estabilización del suelo mediante el sistema Consolid puede mejorar considerablemente sus propiedades geotécnicas, lo que a su vez mejora la calidad de las carreteras y promueve el desarrollo económico de las comunidades al facilitar una mejor conexión entre ciudades.

(Quiñonez & Rojas, 2019). Llevó a cabo un estudio experimental en la base granular de toda el área de la pista de aterrizaje de la base aérea Capitán de la Fuerza Aérea del Perú. Los resultados mostraron que es posible mejorar la base granular existente de la pista de aterrizaje, con un aumento del CBR hasta un 180% y una disminución del IP en más del 60% con una dosificación del 1%. El Sistema Consolid tiene un impacto significativo en la sensibilidad al agua del suelo, reduciendo el ascenso de humedad por capilaridad o la disolución por lluvias. Consiste en la mezcla de productos o aditivos en el suelo a tratar, adaptados al tipo de suelo. En suelos arcillosos, el producto SOLIDRY tiene un mejor rendimiento que el CONSERVEX, que se utiliza en suelos de baja plasticidad.

(Condor Martínez & Huamancayo Cuba, 2016). Realizo la investigación y también aborda el uso del aditivo Consolid en la estabilización de suelos, independientemente de su tipo. Este aditivo se enfoca en el proceso de unión entre partículas del suelo sin alterar su composición química o

física. Las fuerzas capilares retienen el agua entre los espacios vacíos del suelo, mientras que las no capilares forman un recubrimiento superficial que impide la unión de las partículas. El Consolid actúa reduciendo este recubrimiento de agua, lo que mejora la capacidad de trabajo del suelo, su resistencia a cargas y cortes. Esto se logra mediante la formación de estructuras moleculares complejas que reducen la tensión superficial del agua alrededor de las partículas del suelo, permitiendo su evaporación y dejando la cantidad necesaria para la lubricación entre las partículas. Esto promueve una mayor capacidad de compactación y resistencia a la deformación del suelo. Además, reduce los contenidos de agua del suelo, especialmente su saturación capilar.

(Aguirre & Prado , 2012). Realizó el sistema Consolid y como cambia las propiedades del suelo al aplicar un líquido soluble en agua que cataliza la petrificación del suelo. Este líquido fomenta la atracción electromagnética entre las partículas del suelo, lo que reduce su superficie externa y aumenta su capacidad de compactación. Además, rodea las partículas finas del suelo con cationes en su capa de absorción, formando estructuras de baja orientación que otorgan al suelo mayor resistencia a la deformación y compactación. El objetivo es estabilizar los suelos para su uso en la construcción de caminos y otras infraestructuras civiles, mejorando así sus propiedades mecánicas mediante la aceleración de procesos naturales de atracción de partículas y compactación.

2.6. Estabilización de bases con Cal

Crear una mezcla de suelo-cal es un proceso sencillo que involucra combinar cuidadosamente la tierra, la cal y el agua. La cal utilizada puede ser óxido de calcio (cal anhidra o cal viva) o hidróxido de calcio (cal hidratada o cal apagada), que se obtiene mediante la

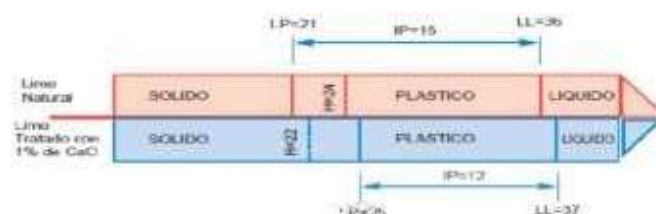
calcinación de materiales calizos. Esta cal también se conoce como cal aérea, ya que se solidifica en el aire debido a la reacción con el dióxido de carbono cuando se mezcla con agua.

- Para suelos que contienen una combinación de grava y arcilla, se recomienda usar una concentración de 2 a 4% de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ en peso.
- En el de suelos altamente arcillosos, se sugiere utilizar una capa granular superficial con un 5 a 10% de cal en peso, o una capa inferior con un 1 a 3% de cal en peso.

La cal actúa como un estabilizante, lo que permite secar suelos húmedos, mejorar y estabilizar las propiedades a corto y largo plazo de los suelos arcillosos, y hacer un uso más eficiente de los suelos de la zona, reduciendo o evitando el impacto ambiental que podría generarse por la extracción de otros suelos o el vertido de los procedentes de las excavaciones. Los efectos de la cal sobre los diferentes tipos de suelos se dan de acuerdo con el tipo de estabilización, ya sea por modificación. (Mamani, Vega , & Rea , 2023)

Figura 4

Mejoramiento de los límites plástico y líquido agregando cal.



Nota. Obtenido de (Mamani, Vega , & Rea , 2023)

(Mamani, Vega , & Rea , 2023) *El artículo científico:* “Estabilización de la subrasante con ceniza de quinua y cal en la Carretera Lago Sagrado, Puno, Perú” El artículo científico aborda la problemática de la falta de vías pavimentadas que conecta la ciudad de

Puno ubicado en Perú, lo que resulta en la mayoría de las carreteras de conexión son de trochas. La investigación se enfoca en mejorar la estabilidad de estos caminos mediante el uso de cal. Los resultados obtenidos muestran una mejora significativa en las características del suelo, lo que podría contribuir a una mejor conectividad y seguridad vial en la zona. El estudio incluyó varias etapas, como el reconocimiento del lugar de la carretera para identificar las ubicaciones críticas, la excavación de calicatas a una profundidad de 1,50 m y la toma de muestras de suelo para realizar ensayos en laboratorio. Los resultados indican que la adición de cal mejoró las propiedades mecánicas del suelo, como la densidad seca y el CBR.

La determinación de la dosis óptima para la estabilización de suelos, destacando la necesidad de realizar ensayos mecánicos y controlar la compactación y el curado, examina el impacto de aditivos como la cal, sugiriendo también evaluar los costos asociados. La cal mejora la estabilización química del suelo al reaccionar con la sílice o alúmina, formando un gel que incrementa la resistencia y modifica la carga eléctrica de los argilominerales, fomentando la floculación y la formación de compuestos como silicato y aluminato de calcio hidratado. Sin embargo, su eficacia puede variar según la mineralogía del suelo. (Talitha Rocha & Ribeiro de Rezende, 2017)

2.7. Estabilización de base con Cemento.

El cemento portland tiene la capacidad de modificar y mejorar la calidad del suelo. Además, puede transformar el suelo en una masa cementada, lo que incrementa de manera considerable su resistencia y durabilidad. La cementación se puede visualizar como una combinación de dos fenómenos: la unión mecánica del cemento a las superficies minerales rugosas y los enlaces químicos que se desarrollan entre el cemento y dichas superficies. Este

último proceso cobra mayor importancia a medida que los materiales se vuelven finos, ya que las superficies tienden a ser más lisas y existe una mayor área disponible. (Velasquez, 2018)

Antes de proceder con la estabilización del terreno usando cemento Portland, es crucial determinar el nivel de mejora que se desea alcanzar. Existen dos tipos principales de mezclas: suelo-cemento y suelo modificado con cemento. La diferencia principal radica en la cantidad de cemento empleada, aspecto que debe analizarse minuciosamente, ya que el cemento es el componente más costoso y su proporción influye en la viabilidad técnica y económica del proceso de estabilización. El suelo-cemento es un fabricado a partir de una combinación de suelos finos o granulares, cemento y agua, que se compacta y madura para formar un material endurecido con propiedades mecánicas específicas. Este material suele utilizarse capa de apoyo (base) para otros materiales tratados con cemento o concreto hidráulico, o bien como capa resistente (base) debajo de capa bituminosas. El suelo modificado con cemento es una técnica de estabilización que mejora las propiedades físicas y mecánicas del terreno. Esta técnica implica la mezcla de cemento con el suelo, ya sea directamente en el sitio de construcción o en una planta de tratamiento, con el objetivo de aumentar su resistencia, durabilidad y capacidad de carga. (Velásquez, 2018)

(Pineda & Rodríguez , 2019). En el trabajo de titulación “Estudio de una mezcla de base granular con cemento y solid soil para una resistencia a la compresión de 2.5 Mpa”. La investigación se centró en mejorar la resistencia y durabilidad de las bases granulares utilizadas en la construcción de vías, mediante la adición de cemento y solid soil como aditivo potenciador. El objetivo principal era encontrar una fórmula óptima para el material granular, determinar la mejor cantidad de cemento y consolid, y asegurar que la mezcla resultante cumpliera con los requisitos de diseño y especificaciones de construcción. Se logró determinar una dosificación

óptima para la mezcla granular con cemento y solid soil que mejoró significativamente las propiedades mecánicas del suelo, aumentando su resistencia y capacidad de carga. En la investigación se compararon dos mezclas generadas en el laboratorio y en el campo con materiales específicos, encontrando que las muestras de mezclas tomadas en el campo mostraron una mayor resistencia, alcanzando 2.75 Mpa, superando el valor requerido de 2.5 Mpa.

Se destaca que los beneficios de estabilizar los materiales granulares con cemento hidráulico, mejora la capacidad de soporte del suelo y propiedades físicas, de manera que evitan las deformaciones en la estructura del pavimento. La estabilización con cemento hidráulico busca reducir esta degradación al convertir la base en un estrato impermeable de alta rigidez. (Carballo, Murillo, & Gallardo, 2023)

Al momento de examinar las bases estabilizadas con cemento, centrándose en sus propiedades mecánicas, resistencia a la compresión y comportamiento en diferentes condiciones climáticas, así como en su aplicación en pavimentos, se destaca la importancia del control de calidad en la construcción de estas bases y la necesidad de adaptar la tecnología y las especificaciones técnicas a las condiciones específicas de cada país. Además, se resalta la relevancia de experimentar con materiales locales para ajustar las especificaciones a las condiciones locales. El Boletín Técnico del Programa de Infraestructura del Transporte ofrece información detallada sobre las bases estabilizadas con cemento, resaltando sus ventajas y desventajas, así como su aplicación en pavimentos. (Arce-Jiménez, 2011).

Algunos puntos destacados incluyen:

Ventajas: Resistencia excepcional en condiciones de alta humedad, ideal para zonas con nivel freático elevado o precipitaciones abundantes. Capacidad elástica ante cargas de tránsito,

evitando problemas de deformación permanente frecuentes en bases de material granular. La resistencia a la compresión a los 7 días puede ir desde 20 kg/cm² hasta más de 100 kg/cm², especialmente en climas lluviosos, proporcionando una elevada resistencia a la erosión en los bordes y esquinas de los pavimentos de hormigón.

Desventajas: Necesidad de optimizar los ensayos y especificaciones para certificar la estabilización a largo plazo de materiales degradables. Limitaciones en la técnica de colocación con niveladora, lo que puede resultar en un producto final más heterogéneo en resistencia y espesor.

Las bases estabilizadas con cemento Portland como una alternativa sostenible para reciclar agregados en el campo, ofrecen beneficios como la mejora de propiedades mecánicas, homogeneización de la mezcla y contribución a políticas sostenibles. (Soto-Espitia, y otros, 2016)

Con el propósito de ofrecer una visión amplia de los cambios químicos y mecánicos que suceden en las propiedades del suelo al ser tratado con cemento Portland, conlleva alteraciones químicas significativas en las propiedades del suelo, como la formación de compuestos como CSH (silicato de calcio hidratado) y CAH (hidróxido de calcio aluminoso) durante la hidratación del cemento en presencia de agua. Se destaca que el suelo tratado con cemento puede ser afectado negativamente por materiales orgánicos, lo que puede dificultar la reacción de cementación y requerir más cemento para un tratamiento efectivo, así como también la posible formación de sulfatos de calcio y aluminio (etringita) debido al ataque de sulfatos, lo cual puede ocasionar hinchamiento y reducción de la resistencia. Se recomienda precaución para mitigar la formación de etringita en suelos tratados con cemento, especialmente en presencia de sulfatos.

Además, se aborda el fenómeno de la carbonatación, que puede afectar la resistencia y la plasticidad del suelo tratado con cemento al reaccionar los silicatos y aluminatos de calcio hidratados con el dióxido de carbono atmosférico. (Ibtehaj Taha Jawad, 2022)

CAPÍTULO III

METODOLOGIA Y ENSAYOS DE LABORATORIO

La aplicación de ensayos de laboratorio a materiales granulares son la base para el diseño de la estructura de un pavimento, porque permiten obtener sus propiedades físicas, químicas y mecánicas, tomando en cuenta las especificaciones técnicas y normativas vigentes regidas, para así garantizar el óptimo funcionamiento de la estructura del pavimento.

3.1. Ensayos por efectuar con su respectiva norma

Análisis granulométrico: según la normativa ASTM C 136-01 es el método estándar de ensayo para análisis por tamizado de agregados fino y grueso. La granulometría de un agregado se refiere a un procedimiento manual o mecánico que permita separar las partículas del agregado grueso del fino según su tamaño, de modo que se puedan determinar las cantidades por peso retenidas en cada tamiz con relación al peso total, mediante el proceso de tamizado. Para ello se emplean diferentes tamices con aberturas específicas que establecen el tamaño máximo del agregado. En la práctica, los pesos de cada tamaño se representan como porcentajes retenidos en cada malla en comparación con la muestra total. Estos porcentajes retenidos se calculan tanto de forma individual como acumulada en cada tamiz, y con esta información se elabora la gráfica de granulométrica. (Simeon, s. f.)

$$\% \text{ retenido} = \frac{W_{\text{tamiz}}}{w_1} * 100$$

Ecuación 1

Donde:

- W tamiz: Peso retenido en cada tamiz
- W1: Peso de la muestra secada al horno

Ensayo de humedad: Según el procedimiento MTC E 108 (ASTM D 2216), la humedad de un suelo se calcula como el porcentaje de agua en relación al peso de los componentes sólidos en una muestra de suelo. Para obtener esta medida, se coloca la muestra en un horno a temperatura controlada de 110 ± 5 °C hasta que su peso se mantenga constante. (Díaz Chacon, 2018)

El porcentaje de humedad se obtiene mediante el cálculo de la diferencia entre el peso del material húmedo y el peso del material seco. Este valor se expresa un porcentaje utilizando la siguiente fórmula:

$$(W\%) = W_w/W_s * 100 \qquad \text{Ecuación 2}$$

Dónde:

- W%, es el contenido de agua.
- Ww, es el peso de agua que contiene la muestra.
- Ws, es el peso del suelo seco.

Ensayos Límites de Atterberg: De acuerdo con la norma NTP 339.129 (ASTM D 4318), este método establece los límites que diferencian los tres estados en los que puede hallarse un suelo: líquido, plástico o sólido. Estos límites son el límite de liquidez (LL) y el límite plasticidad (LP), que también pueden ser denominados como WL, WP y WS, respectivamente, para cumplir con las convenciones internacionales más comunes.

Para determinar estos límites, se trabajan con agregados finos que pasan por un tamiz de malla cuadrada de 0.42 mm (tamiz n° 40) según la normativa (Díaz Chacon, 2018).

Límite Líquido: Se determina para cualquier tipo de suelo en donde se requieren 25 golpes para cerrar en media pulgada dos partes de una pasta de suelo.

Límite Plástico: El punto en el que el suelo se rompe y se desmorona cuando se moldea en pequeños rollos de 3 mm de grosor, utilizando la palma de la mano y una superficie plana, es el contenido de humedad del suelo. (Díaz Chacon, 2018)

Índice de plasticidad: Se encuentra la diferencia entre el Límite Líquido (LL) y el Límite Plástico (LP) se denomina Índice de Plasticidad (IP). Esta medida es fundamental para comprender el comportamiento de los suelos y sus propiedades. (Sanz, 1995)

$$IP = LL - LP \qquad \text{Ecuación 3}$$

En dónde.

- IP: índice de plasticidad
- LL: límite líquido
- LP: límite Plástico.

Ensayo Proctor Modificado: según la norma ASTM D1557 se analiza la relación entre la densidad y la humedad de un suelo específico aplicando un esfuerzo mediante una energía de compactación específica. Esto se logra dejando caer un pisón cilíndrico desde alturas de 12” y 18” dentro de un molde cilíndrico de 4” y 6” de diámetro. (Díaz Chacon, 2018)

$$D_s = D_h / (1 + W\% / 100) \qquad \text{Ecuación 4}$$

En dónde:

Ds: Densidad seca.

Dh: Densidad húmeda.

W%: Contenido de humedad.

Ensayo CBR: Conforme a la norma NTP 339.175 (ASTM D 1883), este ensayo tiene como meta principal identificar la resistencia a la penetración, conocida como Relación Soporte de California, de suelos y agregados compactados en el laboratorio, utilizan humedad adecuada y diversos niveles de compactación. Fue creado por el Departamento de Carreteras de California como una forma de clasificar y valorar la aptitud de un suelo para emplearse como sub-base o material de base en la construcción vial.

Este ensayo es ampliamente utilizado en el diseño de pavimentos y evalúa la resistencia al corte, es decir, la fuerza necesaria para romper el suelo, bajo situaciones controladas de humedad y densidad. (Díaz Chacon, 2018)

El ensayo de CBR (California Bearing Ratio) evalúa la resistencia de una muestra compactada de suelo midiendo la carga requerida para penetrar un pistón de dimensiones específicas a una velocidad constante. Antes de realizar la prueba, la muestra se introduce en agua durante cuatro días y se registra su hinchamiento. Este proceso de inmersión se realiza para simular condiciones de humedad que podrían ocurrir en el suelo en la vida real. (Díaz Chacon, 2018)

Durante el ensayo, el pistón penetra en la muestra y está conectado a un dispositivo de registro, como un “plotter”, que genera una gráfica mostrando la correlación entre la carga aplicada y la profundidad de penetración del pistón en la muestra. Este análisis proporciona

información sobre la capacidad del suelo para soportar cargas bajo condiciones específicas de humedad y compactación. (Díaz Chacon, 2018)

Ensayo de abrasión

El ensayo de abrasión se emplea para estimar el perjuicio que los materiales pueden experimentar a causa de su grado de desgaste, baja resistencia estructural y posibles planos de cristalización. Esta prueba permite determinar el desgaste por fricción en los agregados gruesos. Los agregados deben tener resistencia a la abrasión, el aplastamiento y la degradación para comportarse adecuadamente bajo la carga del tráfico, tal y como fueron diseñados. La prueba consiste en someter una muestra del material a una carga abrasiva dentro de la máquina de los ángeles a una velocidad específica..(Ensayo de abrasión, 2015)

3.2. Ubicación de la zona de extracción de la muestra

Para la obtención del material de muestra se eligió la cantera Rooka Azul, debido a que es la proveedora que distribuye áridos a la provincia del Azuay. Para tomar las coordenadas del sitio de estudio utilizamos la aplicación UTM GEOMAP la misma que está configurada con el sistema geográfico WGS84 Zona 17 hemisferio sur.

Tabla 5

Coordenadas de obtención de base granular

Coordenadas UTM, Zona 17 S	
Este	735,890.01
Norte	9'686,061.10

Nota. *Fuente (Autores)*

Figura 5

Coordenadas del punto de obtención del material base.



Nota. Obtenida de GEO MAP.

Figura 6

Obtención del material de la mina Rooka Azul.



Nota. Fuente (Autores)

3.3. Ensayos a realizar

Para realizar los ensayos mecánicos, primero debemos obtener el material granular de base de la zona presentada con anterioridad, mediante los ensayos determinaremos las propiedades de los materiales y así poder clasificar la base. Los ensayos pertinentes se realizarán en la Universidad Católica de Cuenca en el campus Miracielos laboratorio de suelos de Ingeniería Civil.

Tabla 6

Ensayos a realizar en las muestras con los diferentes aditivos.

Ensayos	Base Granular	Base con Cemento	Base con Cal	Base con Consolid
Análisis granulométrico	x			
Límites de Atterberg	x	x	x	x
Proctor modificad	x	x	x	x
Ensayo CBR	x	x	x	x
Abrasión	x			

Nota. Fuente (Autores)

3.4. Análisis granulométrico

El análisis granulométrico se realizó con una muestra inicial de 15227,5 gramos para determinar la granulometría del material de agregados gruesos con los tamices de 3 pulgadas hasta el material pasante el tamiz N° 4

Para el análisis granulométrico de suelos finos se procedió a tomar 500 gramos de material, después se procedió a lavar el material sobre el tamiz N° 200, posterior se dejó secar en el horno 24 horas para realizar un tamizado de manera mecánica, luego se pesa el material retenido en los tamices y se procede a tabular los datos para obtener una curva granulométrica

Tabla 7

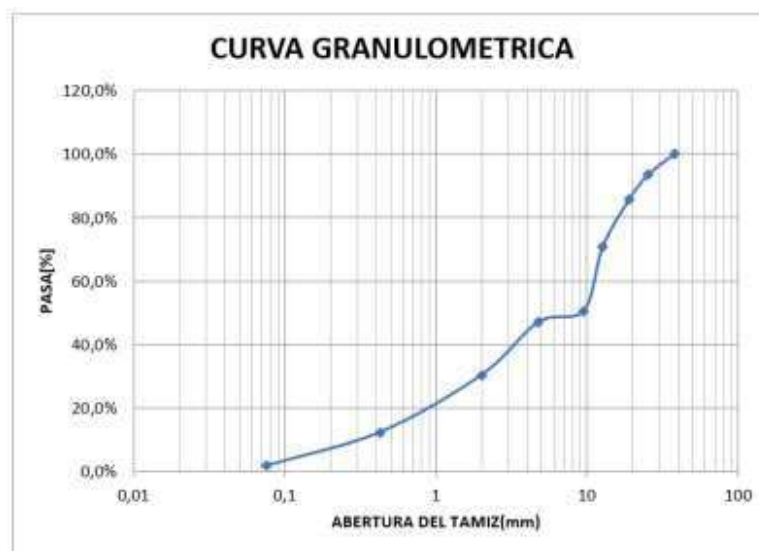
Resultados del análisis granulométrico de la base granular.

Tamiz N°	Abertura(mm)	Retenido (gr)	Ret. Acumulado (gr)	%Retenido	%Pasa
1 ½"	38,1	0	0	0%	100%
1"	25,4	979,5	979,5	6,57%	93,4%
¾"	19,1	1149,5	2129,0	7,71%	85,7%
½"	12,7	2232,0	4361,0	14,98%	70,7%
3/8"	9,52	2993,0	7354,0	20,09%	50,6%
N° 4	4,76	538,5	7892,5	3,61%	47%
N° 10	2	148,5	148,5	20,24%	30,4%
N° 40	0,425	161,0	309,5	21,26%	12,4%
N°200	0,075	94,5	404,0	14,2%	1,8%

Nota. Fuente (Autores)

Figura 7

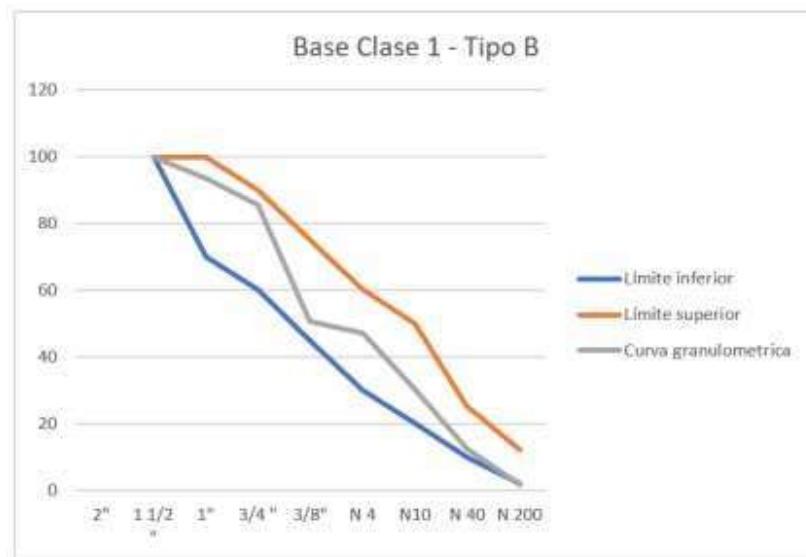
Curva granulométrica de la base granular



Nota. Gráfica del porcentaje que pasa con el tamiz correspondiente. Fuente (Autores)

Figura 8

Franjas granulométricas de la base granular



Nota. Fuente (Autores)

Nota: Gráfica de la franja granulométrica que muestra que la base utilizada se clasifica como base clase 1 tipo B.

3.5. Determinación de los límites de Atterberg

3.5.1 Determinación del límite líquido (LL)

Para determinar este parámetro, utilizamos cuatro tipos de muestras: una en su estado natural y las otras tres con aditivos específicos. Esto nos permite analizar el comportamiento del material granular y clasificar el suelo, buscando así identificar el mejor rendimiento del suelo bajo diferentes condiciones de carga y humedad.

Para cada tipo de ensayo, se tomó una muestra de 200 gramos de base en su estado natural y se comparó con muestras a las que se añadieron los aditivos correspondientes: cal, cemento y Consolid 555. Para las muestras estabilizadas, se determinó la relación de peso

correspondiente a cada porcentaje establecido de los aditivos mencionados anteriormente. Las muestras deben ser tamizadas con el tamiz N° 40 antes de añadir agua. La adición de agua debe ser ajustada de tal manera que el cierre del punto de partida en la cuchara Casagrande ocurra entre 35 y 42 golpes. Posteriormente, se continúa añadiendo agua, con el objetivo de que en los siguientes puntos el número de golpes disminuya entre 4 y 8 cada vez.

Figura 9

Realización del ensayo Limite Líquido



Nota: Muestra de base granular colocada en la cuchara de Casagrande para obtener los límites líquidos.

a) Limite líquido base granular

Tabla 8

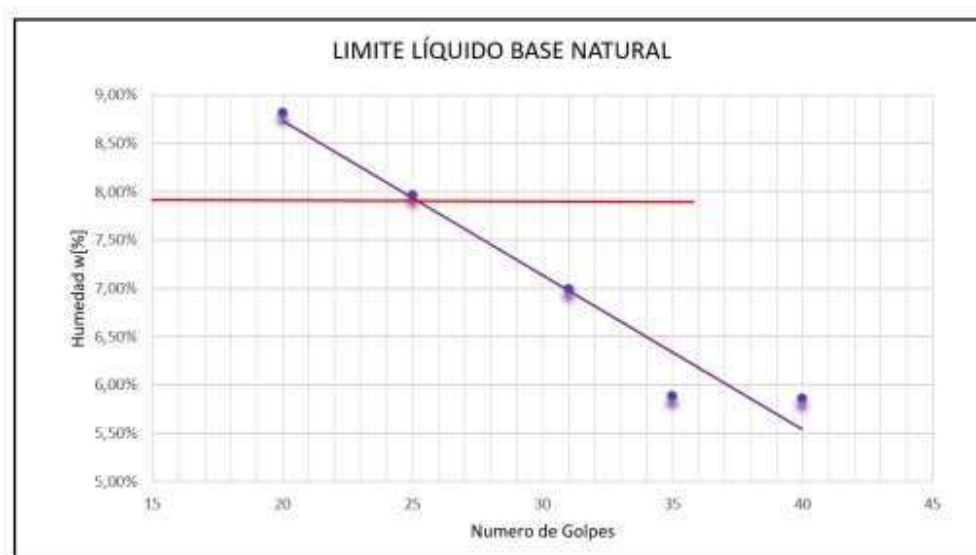
Resultado del ensayo del limite líquido de la base en estado natural

	Límite Líquido				
Recipiente N°	1c	2c	3c	4c	5c
N° Golpes	40	35	31	25	20
Tarro+ M. Humedad	35,07	24,18	30,8	35,73	32,18
M. Seca + Tarro	33,80	23,52	29,60	33,99	30,57
Peso del Agua	1,27	0,66	1,2	1,74	1,61
Peso del Recipiente	12,12	12,29	12,43	12,13	12,31
Peso muestra Seca	21,68	11,23	17,17	21,86	18,26
% de Humedad	5,86%	5,88%	6,99%	7,96%	8,82%

Nota. Fuente (Autores)

Figura 10

Grafica del ensayo límite líquido de la base granular



Nota. Fuente (Autores)

Según el análisis realizado, el límite líquido se obtuvo a partir de la representación gráfica, resultando en un valor de 7,80%. Para determinar este valor, se trazó una línea de tendencia a 25 golpes, basada en los datos obtenidos de cinco pruebas realizadas para establecer los puntos de influencia.

b) Límite Líquido de la base granular estabilizada con Cemento al 4%

La muestra de base granular estabilizada con el cemento al 4% no tiene un límite líquido definido, por ende;

$$LI = 0$$

La muestra no tiene límite líquido discernible.

c) Límite Líquido de la base granular estabilizada con Cal al 3%

La muestra de base granular estabilizada con cal 3% no tiene un límite líquido definido, por ende;

$$Ll= 0$$

La muestra no tiene límite líquido discernible.

d) Límite Líquido de la base granular estabilizada con Consolid 555

La muestra estabilizada con consolid 555 no tiene un límite líquido definido, por ende;

$$Ll=0$$

La muestra no tiene límite líquido discernible.

3.5.2 Determinación del Límite Plástico (LP)

Para el siguiente ensayo, se utiliza una porción del material empleado en la determinación del límite líquido y se añade un porcentaje de agua según las condiciones del material. Después de mezclar bien con la espátula, se forman rollos de 3 mm de diámetro sobre una superficie lisa.

Cuando estos rollos presenten fisuras a lo largo de toda su longitud, se pesan y se obtienen los datos de humedad correspondientes.

a) Límite plástico base granular

Tabla 9

Resultado del ensayo limite plástico de la base granular

Recipiente N°	Límite Plástico				
	6c	7c	8c	9c	10c
Tarro+ M. Humedad	17,69	18,97	15,97	15,36	17,52
M. Seca + Tarro	17,50	18,68	15,81	15,20	17,30
Peso del Agua	0,19	0,29	0,16	0,16	0,22
Peso del Recipiente	12,18	12,16	12,29	11,42	12,34
Peso muestra Seca	5,32	6,52	3,52	3,78	4,96
% de Humedad	3,57%	4,45%	4,55%	4,23%	4,44%
Promedio % Humedad	4,25%				

Nota. Fuente (Autores)

Para realizar este ensayo, es importante destacar que se prepararon y analizaron cinco muestras para obtener un promedio representativo y preciso del Límite Plástico. Este enfoque asegura que los resultados sean fiables y consistentes. En la tabla presentada, se observa que el Límite Plástico obtenido es del 4,25% de humedad.

b) Límite Plástico de la base granular estabilizada con Cemento al 4%

La muestra de base granular estabilizada con el cemento al 4% no tiene un límite plástico definido, por ende;

$$L_p = 0$$

La muestra carece de limite plástico.

c) Límite Plástico de la base granular estabilizada con Cal al 3%

La muestra de base granular estabilizada con cal al 3% no tiene un límite plástico definido, por ende;

$$L_p = 0$$

La muestra carece de límite plástico.

d) Límite Plástico de la base granular estabilizada Consolid 555

La muestra de base granular estabilizada con el consolid no tiene un límite plástico definido, por ende;

$$L_p = 0$$

La muestra carece de límite plástico.

3.5.3 Determinación del Índice de Plasticidad

Para determinar el índice de plasticidad se obtiene de la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico.

a) Índice de plasticidad de la base granular

Tabla 10

Resultado del ensayo índice de plasticidad de la base granular

Índice de plasticidad	
IP	3,53

Nota. Fuente (Autores)

b) Límite Plástico de la base granular estabilizada con Cemento al 4%

Tabla 11

Resultado del ensayo índice de plasticidad de la base granular estabilizada con cemento 4%

Índice de plasticidad	
IP	0

Nota. Fuente (Autores)

c) Límite Plástico de la base granular estabilizada con Cal al 3%

Tabla 12

Resultado del ensayo índice de plasticidad de la base granular estabilizada con cal 3%

Índice de plasticidad	
IP	0

Nota. Fuente (Autores)

d) Límite Plástico de la base granular estabilizada Consolid 555

Tabla 13

Resultado del ensayo índice de plasticidad de la base granular estabilizada con consolid 555

Índice de plasticidad	
IP	0

Nota. Fuente (Autores)

3.6. Clasificación del Suelo

La clasificación de suelos según la AASHTO se basa en la evaluación de la granulometría y las propiedades físicas del suelo, con el propósito de determinar su idoneidad para la construcción de carreteras y pavimentos. De acuerdo con los análisis realizados, se determinó que el suelo en estudio se clasifica como un suelo A-1-a, según los siete tipos establecidos por la AASHTO. Este tipo de suelo se caracteriza por su alto contenido de grava, donde más del 50% del material pasa por el tamiz N.º 4.

3.7. Determinación del porcentaje de cemento a adicionar

La determinación según Alfonso Montejo nos recomienda que para la estabilización suelo-cemento se puede tomar los porcentajes presentados por la clasificación del suelo mediante AASHTO. (Montejo , 1997)

Tabla 14

Porcentaje de cemento según AASHTO dependiente del peso.

Grupo AASHTO	% de cemento por peso
A-1-a 3-5	
A-1-b 5-8	
A-2	5-9
A-3	7-11
A-4	7-12
A-5	8-13
A-6	9-15
A-7	10-16

Nota: Tomado de (Montejo et al., 2019)

Incluso, el Ministerio de transporte y Obras Publicas establece que el porcentaje adicional en la mezcla se encuentre entre el 5 y el 12% del suelo seco.(MOP-2002, s. f.)

Los autores han tomado en consideración la tabla presentada por AASHTO y han optado por utilizar el 4% de cemento en relación con el peso ya que el suelo clasificado se encuentra en una clasificación A-1-a siendo un suelo de muy buena calidad, para así determinar el comportamiento de la base mediante ensayos mecánicos.

3.8. Determinación del porcentaje de cal a adicionar

Para el tratamiento de materiales granulares con capacidad portante para bases sobre los cuales va colocado la capa de rodadura, estos materiales generalmente contienen menos del 50% de material que pasa el tamiz No.40 son tratados con porcentajes que varían de 2 a 4% de cual útil cual, en relación al peso seco por adición de estabilizante, (generalmente de 2 a 3 por ciento)

en una primera etapa en el suelo para hacerlo friable. (*MANUAL DE ESTABILIZACION DE SUELO TRATADO CON CAL*, s. f.)

Se han tomado en consideración los porcentajes presentados por los autores por lo tanto para este caso se utilizará el 3% de cal para determinar el comportamiento de la base mediante ensayos.

3.9. Determinación del porcentaje de consolid a adicionar

Para la evaluación del incremento en el CBR del material analizado utilizamos la dosificación proporcionada por el proveedor de aditivo Consolid 555, especificada en su ficha técnica.

Los autores han tomado referencia de la tabla presentada por los proveedores utilizando la dosificación media del Consolid y el Solidry.

Tabla 15

Dosificación presentada por el fabricante.

Dosificación			
Consolid	Líquido	0,6	lt/m ³
Solidry	Polvo	3	kg/m ²

Nota: Dosificación de Consolid 555 y Solidry en m³. Tomado de: Autor 2024

3.10. Ensayo Proctor modificado

Se realizó este ensayo con la finalidad de determinar la densidad seca máxima posible de la base granular ensayada, teniendo en cuenta el nivel óptimo de contenido de humedad. Es importante entender que la densidad seca máxima es un parámetro crítico que indica la máxima densidad que un suelo puede alcanzar cuando se compacta a un contenido de humedad específico.

Después de revisar la norma ASTM 1577 y considerando nuestro tipo de suelo, decidimos utilizar el método C. El material presentado cumple con los requisitos, ya que más del 20% del material es detenido en el tamiz de 9.5 mm, y menos del 30% del peso es detenido en el tamiz de 19 mm. (Das, 2013)

Tabla 16

Especificaciones de la prueba Proctor modificado

Especificaciones de la prueba Proctor modificada			
Elemento	Método A	Método B	Método C
Diámetro del molde	101,6 mm	101,6 mm	152,3 mm
Volumen del molde	943,3cm ³	943,3cm ³	2124cm ³
Peso del martillo	44,5N	44,5N	44,5N
Altura de la caída del martillo	457,2mm	457,2mm	457,2mm
Número de golpes de martillo por capa	25	25	56
Número de capas de compactación	5	5	5
Energía de compactación	2696 kN-m/m ³	2697 kN-m/m ³	2698 kN-m/m ³

Nota. Recuperado de (Das, 2013)

Primero, se secó el material y se tamizó para separar las fracciones fina y gruesa. Luego, se tomaron cuatro muestras de 5500 g cada una. De cada muestra, se midió la humedad natural para establecer la cantidad de agua que debía añadirse a cada porción. Posteriormente, se graficó una curva relacionando la humedad óptima con la densidad seca.

Figura 11

Secado de material



Nota. Fuente (Autores)

Figura 12

Tamizado del material



Nota. Fuente (Autores)

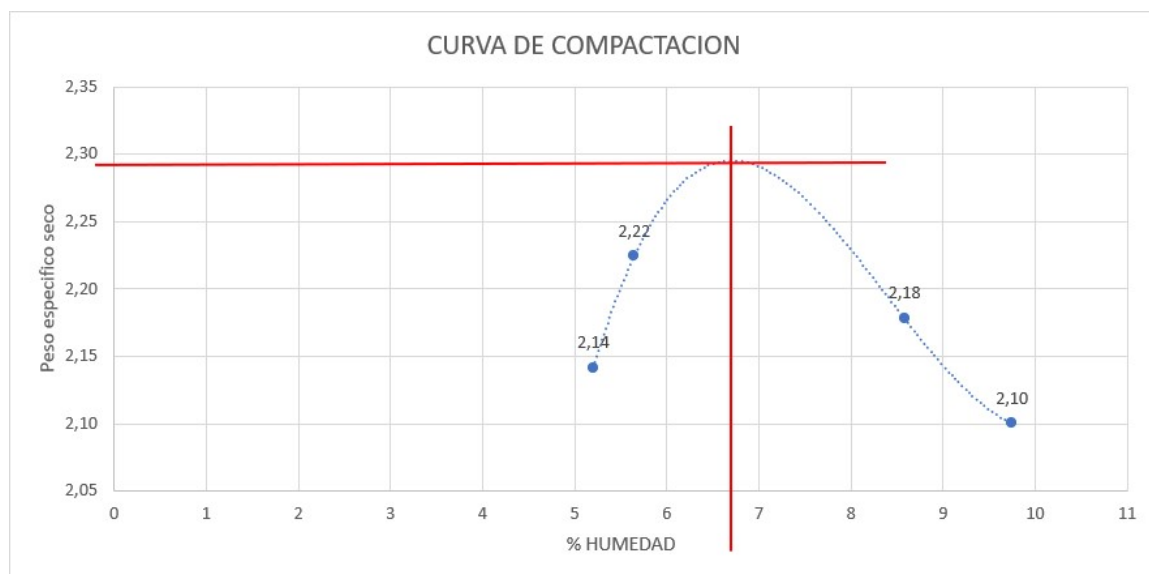
Figura 13*Realización del ensayo Proctor modificado**Nota.* Fuente (Autores)**3.10.1 Muestra base granular****Tabla 17***Resultado de la densidad húmeda de la muestra de la base granular*

	Ensayo de compactación			
Muestra	1	2	3	4
Humedad añadida en %	7,25	10,25	13,25	16,25
Agua aumentada en cc	180	270	360	450
Peso molde cilíndrico+ suelo húmedo	10622,5	10832	10864,5	10734,5
Peso del molde cilíndrico sin collarín	5754,5	5754,5	5754,5	5754,5
Volumen molde sin collarín	2160,67	2160,67	2160,67	2160,67
Densidad húmeda en gr/cm ³	2,25	2,34	2,36	2,30

Nota. Fuente (Autores)

Tabla 18*Resultado del contenido de humedad*

Número de tarro	Contenido de humedad							
	P7	P8	P1	P2	P3	P3	P5	P6
Peso del tarro + suelo húmedo	118,36	128,54	155	123,6	75,9	82,34	118,22	87,81
Peso del tarro + muestra seca	115,85	125,55	150,13	121,7	72,6	79,27	113,56	83,97
Peso del tarro	67,46	68,22	70,84	86,03	43,25	43,88	66,44	43,98
Porcentaje de humedad	5,18	5,21	6,14	5,14	8,48	8,67	9,88	9,60
Promedio de humedad	5,20		5,64		8,75		9,74	

Nota. Fuente (Autores)**Figura 14***Obtención de la humedad óptima de la base granular**Nota.* Fuente (Autores)

Para encontrar el porcentaje óptimo de humedad, primero se debe identificar el punto máximo en la curva de compactación. Desde este punto, se traza una línea horizontal y luego una

línea perpendicular hasta el eje de la humedad. El punto de intersección indica la humedad óptima correspondiente a la densidad seca máxima.

En la figura, se observa que la densidad seca máxima alcanzada es de 2,29 g/cm³, con un contenido óptimo de humedad del 6,7%

3.10.2 Muestra base granular estabilizada con Cemento al 4%

Tabla 19

Resultado de la densidad húmeda de la muestra de la base estabilizada con cemento 4%

Muestra	Ensayo de compactación			
	1	2	3	4
Humedad añadida en %	8,65	11,65	14,65	17,65
Agua aumentada en cc	180	270	360	450
Peso molde cilíndrico+ suelo húmedo	10537,5	10777,5	10851,5	10809
Peso del molde cilíndrico sin collarín	5754,5	5754,5	5754,5	5754,5
Volumen molde sin collarín	2160,67	2160,67	2160,67	2160,67
Densidad húmeda en gr/cm ³	2,21	2,32	2,35	2,33

Nota. Fuente (Autores)

Tabla 20

Resultado del contenido de humedad

Número de tarro	Contenido de humedad							
	P7	P8	P1	P2	P3	P3	P5	P6
Peso del tarro + suelo húmedo	96,5	96,5	112,3	101	129,3	101,4	114,7	80,2
Peso del tarro + muestra seca	95,4	95,5	109,9	99,2	123	97,2	110,5	77,1
Peso del tarro	62,55	68,22	65,9	66,8	43,25	43,88	66,44	43,98
Porcentaje de humedad	3,34	3,66	5,45	5,55	7,89	7,87	9,53	9,35
Promedio de humedad	3,5		5,50		7,88		9,44	

Nota. Fuente (Autores)

Figura 15

Obtención de la humedad óptima de la base granular estabilizada con cemento 4%



Nota. Fuente (Autores)

En la figura, se observa que la densidad seca máxima alcanzada es de 2,209 g/cm³, con un contenido óptimo de humedad del 6,2%

3.10.3 Muestra base granular estabilizada con Cal al 3%

Tabla 21

Resultado de la densidad húmeda de la muestra de la base granular estabilizada con cal 3%

Muestra	Ensayo de compactación			
	1	2	3	4
Humedad añadida en %	7,55	10,55	13,55	16,55
Agua aumentada en cc	180	270	360	450
Peso molde cilíndrico+ suelo húmedo	10534	10715,5	10940	10854
Peso del molde cilíndrico sin collarín	5754,5	5754,5	5754,5	5754,5
Volumen molde sin collarín	2160,67	2160,67	2160,67	2160,67
Densidad húmeda en gr/cm ³	2,21	2,29	2,39	2,36

Nota. Fuente (Autores)

Tabla 22*Resultado del contenido de humedad*

	Contenido de humedad							
Número de tarro	P7	P8	P1	P2	P3	P3	P5	P6
Peso del tarro + suelo húmedo	117,74	162,3	104,63	107,3	88,7	102,1	131,8	77,3
Peso del tarro + muestra seca	114,56	159,21	102,13	104,8	86,12	99,58	126,39	74,49
Peso del tarro	43,87	68,22	62,56	66,76	43,2	65,9	66,44	43,98
Porcentaje de humedad	4,49	3,39	6,31	6,34	6,01	7,33	9,02	9,21
Promedio de humedad	3,94		6,33		6,67		9,11	

Nota. Fuente (Autores)**Figura 16***Obtención de la humedad óptima de la base granular estabilizada con cal 3%**Nota.* Fuente (Autores)

En la figura, se observa que la densidad seca máxima alcanzada es de 2,31 g/cm³, con un contenido óptimo de humedad del 7,9%

3.10.4 Muestra base granular estabilizada con Consolid 555

Tabla 23

Resultado de la densidad húmeda de la muestra de la base granular estabilizada con Consolid

555

Muestra	Ensayo de compactación			
	1	2	3	4
Humedad añadida en %	7,45	10,45	13,45	16,45
Agua aumentada en cc	180	270	360	450
Peso molde cilíndrico+ suelo húmedo	10626,3	10785,5	10928	10826
Peso del molde cilíndrico sin collarín	5754,5	5754,5	5754,5	5754,5
Volumen molde sin collarín	2160,67	2160,67	2160,67	2160,67
Densidad húmeda en gr/cm ³	2,25	2,32	2,39	2,34

Nota. Fuente (Autores)

Tabla 24

Resultado del contenido de humedad

Número de tarro	Contenido de humedad							
	P7	P8	P1	P2	P3	P3	P5	P6
Peso del tarro + suelo húmedo	197,4	152,2	166,4	143,3	120,7	99,6	99,4	119,6
Peso del tarro + muestra seca	191,2	147,5	161,9	138,7	115,8	95,5	95,69	113,1
Peso del tarro	67,4	44,4	68,1	52,3	54,4	52,3	52,2	43,7
Porcentaje de humedad	5,01	4,46	4,77	5,28	7,82	8,36	8,53	9,31
Promedio de humedad	4,73		5,03		8,09		8,92	

Nota. Fuente (Autores)

Figura 17

Obtención de la humedad óptima de la base granular estabilizada con consolid 555



Nota. Fuente (Autores)

En la figura, se observa que la densidad seca máxima alcanzada es de 2,325 g/cm³, con un contenido óptimo de humedad del 6,4%

3.11. Ensayo CBR

El material secó, se tamizó para obtener agregados gruesos que pasaron por el tamiz N° 3/4 y se retuvieron en el tamiz N°4, y los agregados finos se tomaron a partir del material retenido en el tamiz N°4. Se obtuvieron tres muestras de 5500 gramos para la base granular sin aditivo. Para los suelos estabilizados, se realizó una relación del peso con el porcentaje a adicionar de cada uno de los aditivos correspondientes.

Luego, se procedieron a compactar los cilindros en 5 capas, aplicando diferentes números de golpes: 12, 25 y 56. Una vez realizada la compactación, se enceraron y se colocaron en un deformímetro para ser sumergidos en agua durante 4 días. Durante estos días, se tomaron

mediciones con el deformímetro para determinar el hinchamiento de las muestras de suelo. Al finalizar este proceso, se retiraron los moldes del agua y se escurrieron, se realizó la prueba de resistencia al corte del suelo con el equipo de CBR. Después, se determinó el valor del CBR y se utilizó las gráficas correspondientes.

Figura 18

Tamizado de la muestra



Nota. Fuente (Autores)

Figura 19

Compactación de la muestra para determinar el CBR



Nota. Fuente (Autores)

Figura 20

Muestra en la prensa CBR



Nota. Fuente (Autores)

3.11.1 CBR de base granular

Tabla 25

Valores del CBR para la base granular

	CBR		
Energía de compactación	56 golpes	25 golpes	12 golpes
% de CBR	87,02	41,00	21,62
Densidad seca(gr/cm ³)	2,13	2,01	1,97

Nota. CBR y densidad seca para cada energía de compactación. *Fuente (Autores)*

Como se muestra en la tabla denotamos que los valores del CBR es de 87% con la densidad seca máxima de 2,13gr/cm³

Resultados obtenidos de esponjamiento

Las probetas, tras ser expuestas a saturación de agua durante 4 días consecutivos, arrojaron los siguientes resultados en cada muestra.

Tabla 26

Lectura de expansión base granular

MOLDE DE 56 GOLPES					
Tiempo transcurrido en días	Lectura dial en pulgadas	Altura de la muestra en pulgadas	Esponjamiento		
			Pulgadas	%	
0	0	0	0	0	
4	7	5,07	0,007	0,14	

Nota. Fuente (Autores)

Tabla 27*Lectura de expansión base granular*

MOLDE DE 25 GOLPES					
Tiempo transcurrido en días	Lectura dial en pulgadas	Altura de la muestra en pulgadas	Esponjamiento		
			Pulgadas	%	
0	0	0	0	0	
4	0	5	0	0	

Nota. Fuente (Autores)**Tabla 28***Lectura de expansión base granular*

MOLDE DE 12 GOLPES					
Tiempo transcurrido en días	Lectura dial en pulgadas	Altura de la muestra en pulgadas	Esponjamiento		
			Pulgadas	%	
0	0	0	0	0	
4	2	7	0,002	0,04	

Nota. Fuente (Autores)

Dado que la expansión volumétrica, se evaluó el hinchamiento de la muestra con la adición de aditivos químicos.

3.11.2 CBR de la base granular estabilizada con Cemento al 4%

Tabla 29

Resultados de la obtención del CBR

	CBR		
	56 golpes	25 golpes	12 golpes
Energía de compactación	56 golpes	25 golpes	12 golpes
% de CBR	123,7	71,40	33,98
Densidad seca(gr/cm ³)	2,08	2,03	1,84

Nota: CBR y densidad seca para cada energía de compactación con mezcla de cemento al 4%. Fuente (Autores)

Como se muestra en la tabla denotamos que los valores del CBR es de 124% con la densidad seca máxima de 2,08gr/cm³

Resultados obtenidos de esponjamiento

Las probetas, tras ser expuestas a saturación de agua durante 4 días consecutivos, arrojaron los siguientes resultados en cada muestra.

Tabla 30

Lectura de expansión base granular estabilizada con cemento

MOLDE DE 56 GOLPES					
Tiempo transcurrido en días	Lectura dial en pulgadas	Altura de la muestra en pulgadas	Esponjamiento		
			Pulgadas	%	
0	0	0	0	0	
4	0	5	0	0	

Nota. Fuente (Autores)

Tabla 31*Lectura de expansión base granular estabilizada con cemento*

MOLDE DE 25 GOLPES					
Tiempo transcurrido en días	Lectura dial en pulgadas	Altura de la muestra en pulgadas	Esponjamiento		
			Pulgadas	%	
0	0	0	0	0	
4	0	5	0	0	

Nota. Fuente (Autores)**Tabla 32***Lectura de expansión base granular estabilizada con cemento*

MOLDE DE 12 GOLPES					
Tiempo transcurrido en días	Lectura dial en pulgadas	Altura de la muestra en pulgadas	Esponjamiento		
			Pulgadas	%	
0	0	0	0	0	
4	7	12	0,007	0,14	

Nota. Fuente (Autores)**3.11.3 Muestra base granular estabilizada con Cal al 3%****Tabla 33***Resultados de la obtención del CBR*

	CBR		
	56 golpes	25 golpes	12 golpes
Energía de compactación	56 golpes	25 golpes	12 golpes
% de CBR	102,76	62,56	28,77
Densidad seca(gr/cm ³)	2,14	1,99	1,90

Nota: CBR para cada energía de compactación con mezcla de Cal al 3% Fuente (Autores)

Como se muestra en la tabla el valor del CBR es de 102.76% con la densidad seca máxima de 2,14gr/cm³

Resultados obtenidos de esponjamiento

Las probetas, tras ser expuestas a saturación de agua durante 4 días consecutivos, arrojaron los siguientes resultados en cada muestra.

Tabla 34

Lectura de expansión base granular estabilizada con cal con 56 golpes

MOLDE DE 56 GOLPES					
Tiempo transcurrido en días	Lectura dial en pulgadas	Altura de la muestra en pulgadas	Esponjamiento		
			Pulgadas	%	
0	0	0	0	0	
4	0	5	0	0	

Nota. Fuente (Autores)

Tabla 35

Lectura de expansión base granular estabilizada con cal con 25 golpes

MOLDE DE 25 GOLPES					
Tiempo transcurrido en días	Lectura dial en pulgadas	Altura de la muestra en pulgadas	Esponjamiento		
			Pulgadas	%	
0	0	0	0	0	
4	8	13	0,008	0,16	

Nota. Fuente (Autores)

Tabla 36

Lectura de expansión base granular estabilizada con cal con 12 golpes

MOLDE DE 12 GOLPES					
Tiempo transcurrido en días	Lectura dial en pulgadas	Altura de la muestra en pulgadas	Esponjamiento		
			Pulgadas	%	
0	0	0	0	0	
4	8	13	0,008	0,16	

Nota. Fuente (Autores)

3.11.4 Muestra base granular estabilizada con Consolid 555

Tabla 37

Resultados de la obtención del CBR

	CBR		
	56 golpes	25 golpes	12 golpes
Energía de compactación	56 golpes	25 golpes	12 golpes
% de CBR	190,44	135,22	75,03
Densidad seca(gr/cm ³)	2,15	2,07	1,94

Nota: CBR y densidad seca para cada energía de compactación con mezcla de Consolid

555. Fuente (Autores)

Como se muestra en la tabla denotamos que los valores del CBR es de 190% con la densidad seca máxima de 2,15gr/cm³

Resultados obtenidos de esponjamiento

Las probetas, tras ser expuestas a saturación de agua durante 4 días consecutivos, arrojaron los siguientes resultados en cada muestra.

Tabla 38*Lectura de expansión base granular estabilizada con consolid 555 con 56 golpes*

MOLDE DE 56 GOLPES					
Tiempo transcurrido en días	Lectura dial en pulgadas	Altura de la muestra en pulgadas	Esponjamiento		
			Pulgadas	%	
0	0	0	0	0	
4	0	5	0	0	

Nota. Fuente (Autores)**Tabla 39***Lectura de expansión base granular estabilizada con consolid 555 con 25 golpes*

MOLDE DE 25 GOLPES					
Tiempo transcurrido en días	Lectura dial en pulgadas	Altura de la muestra en pulgadas	Esponjamiento		
			Pulgadas	%	
0	0	0	0	0	
4	0	5	0	0	

Nota. Fuente (Autores)**Tabla 40***Lectura de expansión base granular estabilizada con consolid 555 con 12 golpes*

MOLDE DE 12 GOLPES					
Tiempo transcurrido en días	Lectura dial en pulgadas	Altura de la muestra en pulgadas	Esponjamiento		
			Pulgadas	%	
0	0	0	0	0	
4	0	5	0	0	

Nota. Fuente (Autores)

3.12. Resistencia a la Abrasión de los agregados

Para determinar el ensayo de abrasión primero debemos tomar en cuenta la granulometría presentada en la Tabla 8 por lo tanto según esta granulometría se obtiene que se debe tomar en cuenta la gradación tipo A para realizar el ensayo.

Tabla 41

Granulometría de las muestras de ensayo

Tamaños de tamiz		Masas de las diferentes fracciones Granulometrías			
Pasa Tamiz	Retenido en tamiz	A	B	C	D
37.5 (1 1/2")	25.0 (1")				
25.0 (1")	19.0 (3/4")	1250 ± 25			
19.0 (3/4")	12.5 (1/2")	1251 ± 25			
12.5 (1/2")	9.5 (3/8")	1252 ± 10	2500 ± 10		
9.5 (3/8")	6.3 (1/4")	1253 ± 10	2500 ± 10	2500 ± 10	
6.3 (1/4")	4.75 (Nº4)			2500 ± 10	
4.75 (Nº4)	2.36 (Nº 8)				5000 ± 10
Total			5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10

Nota. Fuente (Autores)

A continuación, se determinan los respectivos pesos de las muestras. La muestra requiere la inclusión de 12 esferas de acero, que se introducen en la máquina de Los Ángeles. El tambor se hace girar a una velocidad constante de 188 revoluciones por minuto hasta completar 500 revoluciones. Una vez finalizado este proceso, se retira el material de la máquina y se realiza una separación preliminar de la muestra ensayada utilizando el tamiz N° 12

Figura 21

Colocación del material de base granular en la maquina de los Angeles



Nota. Fuente (Autores)

Figura 22

Máquina de los Ángeles



Nota: Realización del ensayo de abrasión generada por la máquina de los Ángeles. Fuente (Autores)

Tabla 42*Ensayo de abrasión*

ENSAYO MAQUINA DE LOS ÁNGELES DE LA BASE GRANULAR			
	Peso Inicial (g)	Ws(g)	% de Desgaste
Muestra 1	5004	4006	19,94

Nota: El porcentaje de desgaste del material de base granular es de 19,94%. Fuente (Autores)

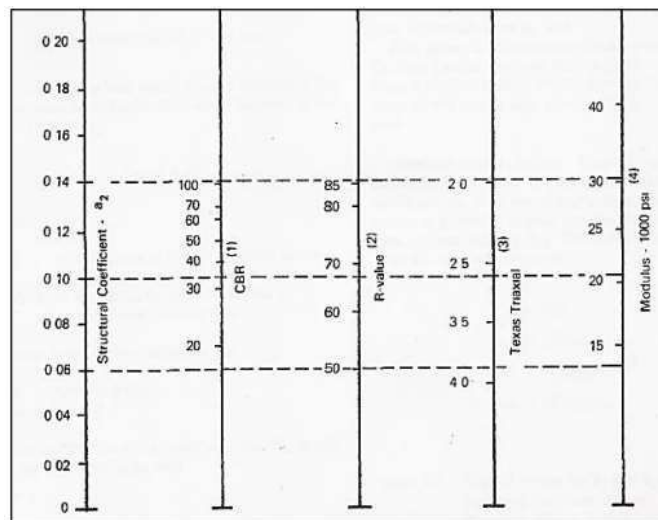
3.13. Espesores necesarios de la base dependiendo el tipo de agregado.

El coeficiente estructural A2 es un parámetro esencial en el diseño de pavimentos, empleado para ajustar las cargas y definir el espesor necesario de las bases. Aplicarlo de manera adecuada es crucial para garantizar la durabilidad y el rendimiento del pavimento bajo cargas específicas.

Para la obtención del coeficiente estructural de la base granular A2, se emplea la Figura 24 mostrada a continuación:

Figura 23

Grafico para determinar el coeficiente estructural (a2) de la base granular.

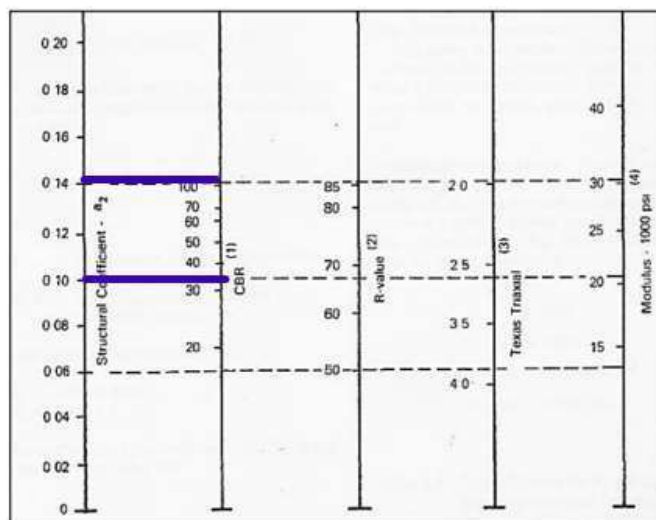


Nota: Fuente: AASHTO Guide for designing of pavement structures 1993.

Una vez obtenidos los valores del CBR para los distintos materiales tanto para la base sin aditivos como para la base con aditivos como cemento, cal y Consolid 555, se procede a determinar el número estructural (A_2) para cada valor de CBR utilizando el ábaco de la normativa AASHTO, Guía de Diseño de Estructuras de Pavimento 1993. Este proceso se realiza mediante la interpolación de los valores que el CBR asigna al número estructural en el Abaco como se explica en la figura 24.

Figura 24

Selección de números estructurales dependiendo el CBR.



Se pueden obtener tres números estructurales distintos a partir del ábaco para tres valores de CBR, como se muestra en la Figura 24, indicados por las líneas de color azul. Estos números estructurales son los siguientes:

- Para un CBR del 100%, el número estructural es de 0.14 pulgadas.
- Para un CBR del 35%, el número estructural es de 0.10 pulgadas.

Se determinan los valores del número estructural para los distintos CBR obtenidos, tanto para la base sin aditivos como para base mezclada con los diversos aditivos analizados. Esta determinación se realizará utilizando la siguiente fórmula que extrapola los datos conocidos que se encuentran en el ábaco de la normativa AASHTO

$$(A2) = A2_1 + (A2_2 - A2_1) * \frac{Cbr - Cbr_1}{Cbr_2 - Cbr_1} \quad \text{Ecuación 5}$$

A2: Numero estructural a encontrar

$A2_1$: 0.10 pulgadas

$A2_2$: 0.14 pulgadas

Cbr: Cbr obtenido de la base sin aditivos y con todos los aditivos estudiados

Cbr₁: 35%

Cbr₂: 100%

El valor de a_2 se divide para 2,54 por que esta en pulgadas y se necesita obtener su equivalencia en cm. (Torres, 2010)

Se aplica una regla de tres para comparar un espesor inicial de 20 cm de base sin aditivos con el espesor de base requerido para cada tipo de aditivo. Es importante recordar que, a mayor CBR, corresponde un menor número estructural y, por ende, un menor espesor de la capa de base necesaria, se ocupa la siguiente formula:

$$(Es) = \frac{A2 * Es_1}{A2_{Base\ sin\ aditivo}} \quad \text{Ecuación 6}$$

Es: Espesor necesario para los CBR aplicando los distintos aditivos analizados

$A2$: Numero estructural calculado del base aplicando los distintos aditivos analizados.

$A2_{Base\ sin\ aditivo}$: Numero Estructural de la base sin aplicar ningún aditivo

Es₁: 20 cm (Medida de referencia para comparar y analizar la reducción de espesores)

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS Y COMPARACIÓN DE RESULTADOS

En el siguiente apartado se presentan análisis detallados de cada ensayo realizado en el laboratorio, considerando cada muestra y su respectiva estabilización con Cal, Cemento y Consolid 555. El objetivo de esta sección es determinar la variabilidad entre los parámetros físicos y mecánicos de la base granular. Además, se compararon los resultados obtenidos con las especificaciones y normas establecidas para la determinación de una base granular.

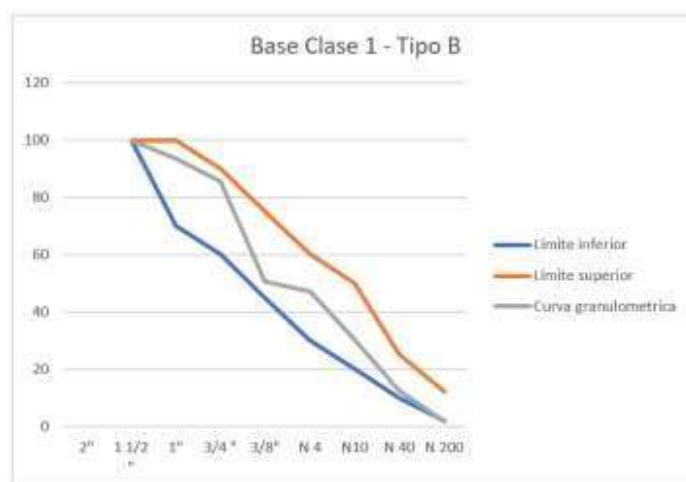
4.1. Clasificación de la Base

4.1.1 Granulometría de la muestra.

Para la clasificación de la base por su granulometría, se realiza mediante fajas granulométricas, las misma que nos dio el siguiente resultado;

Tabla 43

Curva granulométrica de la base granular



Nota: Gráfica de la franja granulométrica que muestra que la base utilizada se clasifica como base clase 1 tipo B. Fuente (Autores)

Se puede comprobar de acuerdo al Ministerio de Transporte y Obras Públicas basado en la normativa AASHTO que cumple para una base clase 1 tipo B.

4.1.2 *Límite líquido de la muestra.*

Para la clasificación de la base por su límite líquido, se realizó la comparación con la normativa del Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTO) basada en la normativa AASHTO

Tabla 44

Límite líquido de la muestra de base

Base MTO	Límite líquido
Base	<25
Base Granular analizada	7,80

Nota. Fuente (Autores)

Se puede comprobar que cumple para ser una base ya que tiene un límite líquido menor a 25.

4.1.3 *Índice de plasticidad de la muestra.*

Para la clasificación de la base por su índice de plasticidad, se realizó la comparación con la normativa del Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTO) basada en la normativa AASHTO

Tabla 45

Clasificación por su índice de plasticidad.

Base MTOP	Índice de plasticidad
Base	<6
Base Granular analizada	3,55

Nota. Fuente (Autores)

Se puede comprobar que cumple para ser una base ya que tiene un índice de plasticidad menor a 6.

4.1.4 CBR de la muestra.

Para la clasificación de la base por su CBR, se realizó la comparación con la normativa del Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTOP) basada en la normativa AASHTO;

Tabla 46

Clasificación por su CBR.

Base MTOP	CBR
Base	>80
Base Granular estudiada	87.02

Nota. Fuente (Autores)

Se puede comprobar que cumple para ser una base ya que tiene un CBR mayor a 80.

4.1.5 Abrasión de la muestra.

Para la clasificación de la base por su Abrasión, se realizó la comparación con la normativa del Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTOP) basada en la normativa AASHTO;

Tabla 47

Clasificación por su abrasión.

Base MTOP	ABRASIÓN
Base	<40
Base Granular estudiada	19.94

Nota. Fuente (Autores)

Se puede comprobar que cumple para ser una base ya que tiene una abrasión menor a 40.

Resultados de la base granular

Basándonos en todos estos parámetros y ensayos, como la granulometría, límite líquido, índice de plasticidad, CBR y abrasión, se puede concluir que el material analizado corresponde a una base clase 1 tipo B.

4.2. Ensayo Proctor modificado

Tabla 48

Comparación de resultados ensayo Proctor modificado

Muestra de base	Humedad optima (%)	Densidad seca máxima (g/cm ³)
Base granular	6,7	2,29
Base granular estabilizada con cemento 4%	6,2	2,21
Base granular estabilizada con cal 3%	7,9	2,31
Base granular estabilizada con consolid 555	6,4	2,32

Nota. Fuente (Autores)

En la tabla presentada se observa que la base granular tiene una densidad seca máxima de $2,29 \text{ g/cm}^3$ y una humedad del 6,7%. Por otro lado, la base granular estabilizada con Consolid 555 muestra una densidad seca superior de $2,32 \text{ g/cm}^3$ y una humedad óptima del 6,4%. La base estabilizada con cemento tiene el menor porcentaje de agua, con una densidad seca de $2,21 \text{ g/cm}^3$. Finalmente, la base estabilizada con cal muestra una humedad del 7,9% y una densidad seca de $2,31 \text{ g/cm}^3$.

Comparación del aumento del CBR con el uso de aditivos en las mezclas.

Los resultados muestran variaciones notables en la densidad seca y la humedad entre los diferentes aditivos, lo que indica un impacto variable en las propiedades del suelo. Cada estabilizador afecta de manera distinta a la densidad y humedad, mejorando el rendimiento del CBR de forma significativa.

4.3. Comparación del aumento del CBR con el uso de aditivos en las mezclas.

En las mezclas con diversos aditivos, se observaron incrementos en el CBR como se detalla en la siguiente figura.

Figura 25

Comparación de CBR con distintas mezclas.



Nota. Fuente (Autores)

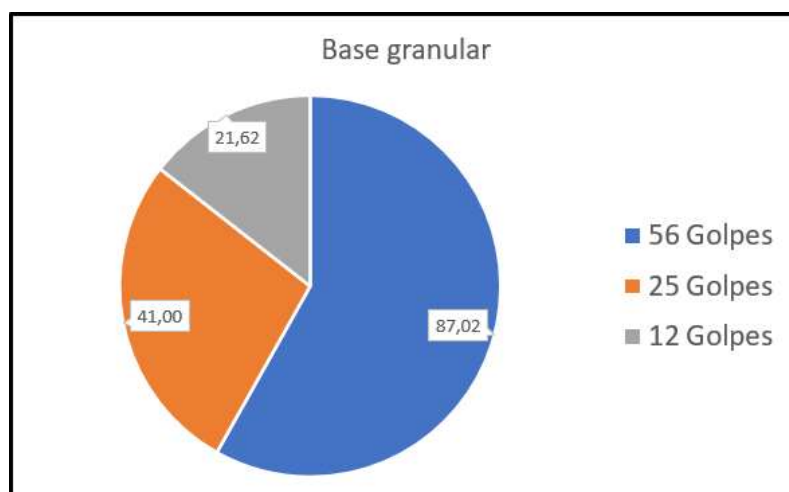
Concorde a la figura 24 se puede observar un aumento en el CBR de todas las mezclas con distintos aditivos. En primer lugar, la mezcla de base granular triturada con un 3% de cal muestra un incremento del CBR del 15.74%. En segundo lugar, la mezcla de base granular triturada con un 4% de cemento presenta un incremento del CBR del 36.69%. Finalmente, la mezcla de base granular triturada con Consolid 555 muestra el mayor incremento del CBR, alcanzando un 103.42%.

4.4. Comparación de los porcentajes de CBR con los distintos aditivos a las diferentes energías que se aplicaron.

A continuación, se expone los porcentajes de CBR obtenidos tras aplicar distintos golpes que se aplicaron a la muestra de base granular sin aditivo. Asimismo, se muestran los resultados de la base granular estabilizada con cal, cemento y Consolid 555, con el fin de verificar el aumento de CBR entre las diferentes muestras.

Figura 26

Porcentajes de CBR a los distintos golpes aplicados.

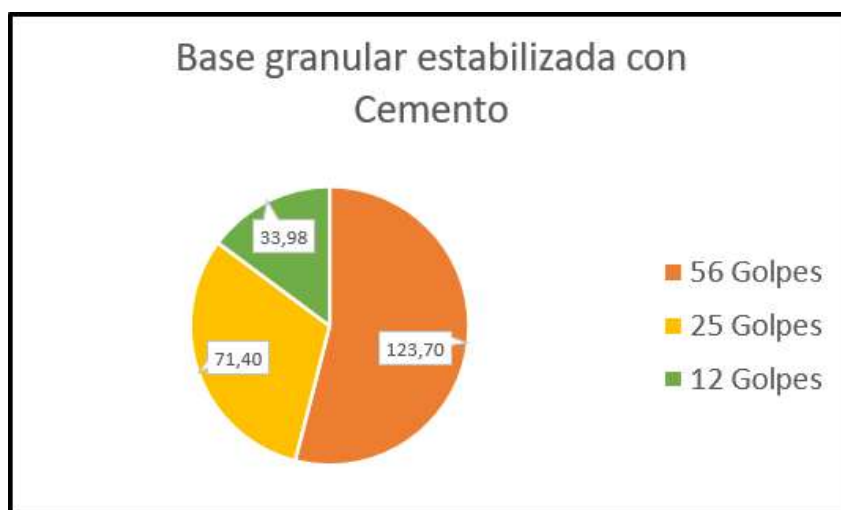


Nota. Fuente (Autores)

En la figura 25, se expone los porcentajes de CBR a los distintos golpes que se aplicaron en la muestra de base granular, el cual para los 12 golpes se obtiene 21,62%, para los 25 golpes se obtiene un 41% y para los 56 golpes obtenemos un CBR de 87,02%

Figura 27

Porcentajes de Cbr a los distintos golpes aplicados

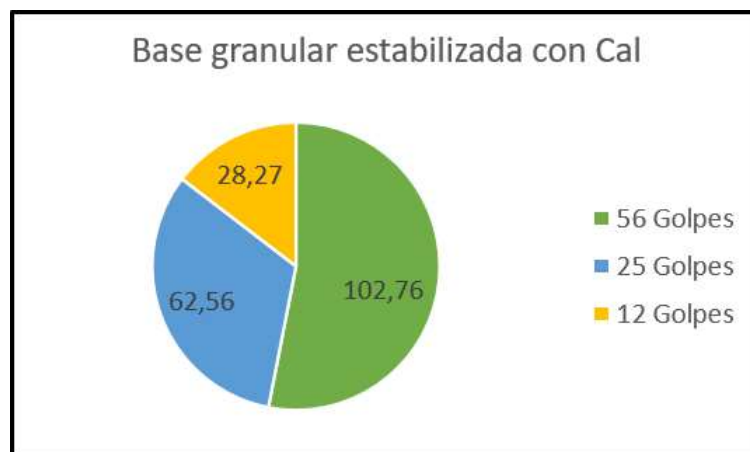


Nota. Fuente (Autores)

En la figura 26, se presentan los porcentajes de CBR obtenidos al aplicar distintos golpes a la muestra de base granular estabilizada con cemento. Para 12 golpes, el CBR es del 33,98%; para 25 golpes, el CBR es del 71,4%; y para 56 golpes, se alcanza un CBR del 123,7%

Figura 28

Porcentajes de Cbr a los distintos golpes aplicados.

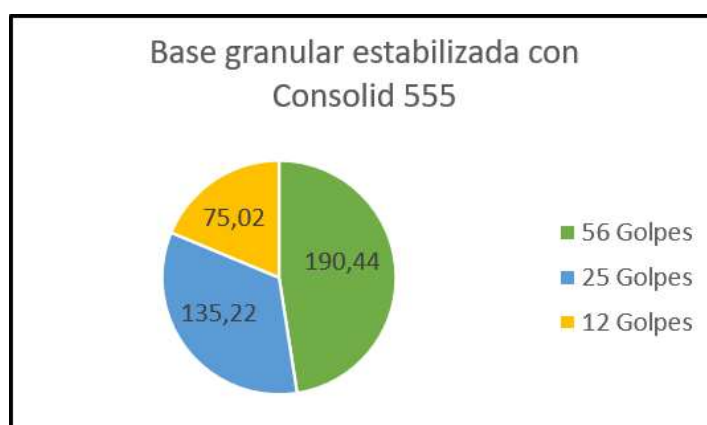


Nota. Fuente (Autores)

En la figura 27, se presentan los porcentajes de CBR obtenidos al aplicar distintos golpes a la muestra de base granular estabilizada con Cal. Para 12 golpes, el CBR es del 28,27%; para 25 golpes, el CBR es del 62,56%; y para 56 golpes, se alcanza un CBR del 102,76%

Figura 29

Porcentajes de Cbr a los distintos golpes aplicados.

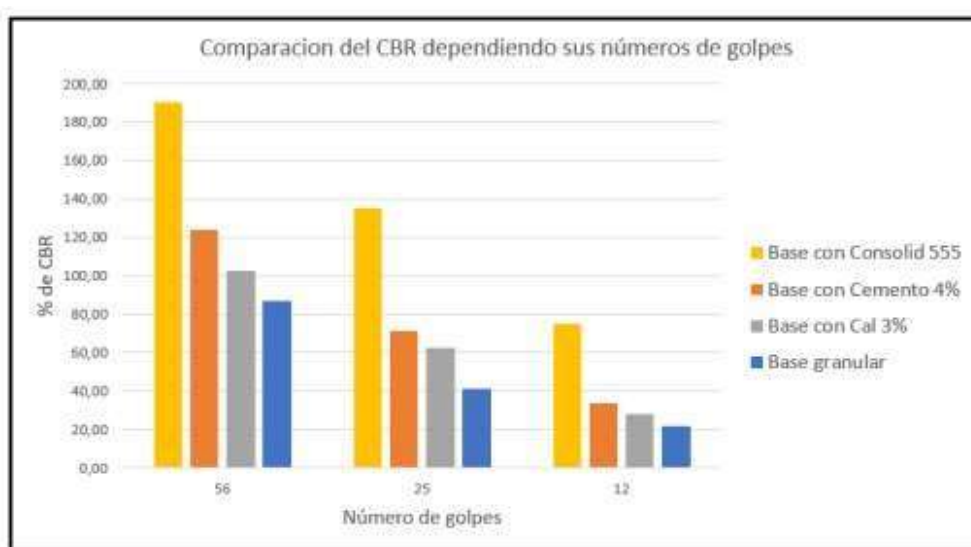


Nota. Fuente (Autores)

En la figura 28 se presentan los porcentajes de CBR obtenidos al aplicar distintos golpes a la muestra de base granular estabilizada con Cal. Para 12 golpes, el CBR es del 75,02%; para 25 golpes, el CBR es del 235,22%; y para 56 golpes, se alcanza un CBR del 190,44%

Figura 30

Comparación de los porcentajes de Cbr a los distintos golpes aplicados.



Nota. Fuente (Autores)

En la figura 29 se muestra en una gráfica de barras el aumento del CBR en función del número de golpes aplicados. Los resultados indican que el Consolid muestra el mayor porcentaje de CBR, seguido por el cemento, la cal y, por último, la base granular sin aditivos.

4.5. Comparación de los porcentajes de limite líquido, limite plástico e índice de plasticidad con los distintos aditivos utilizados.

A continuación, se compara y se expone los porcentajes de limite líquido de las diferentes mezclas con los distintos aditivos utilizados.

Figura 31

Comparación del límite líquido.

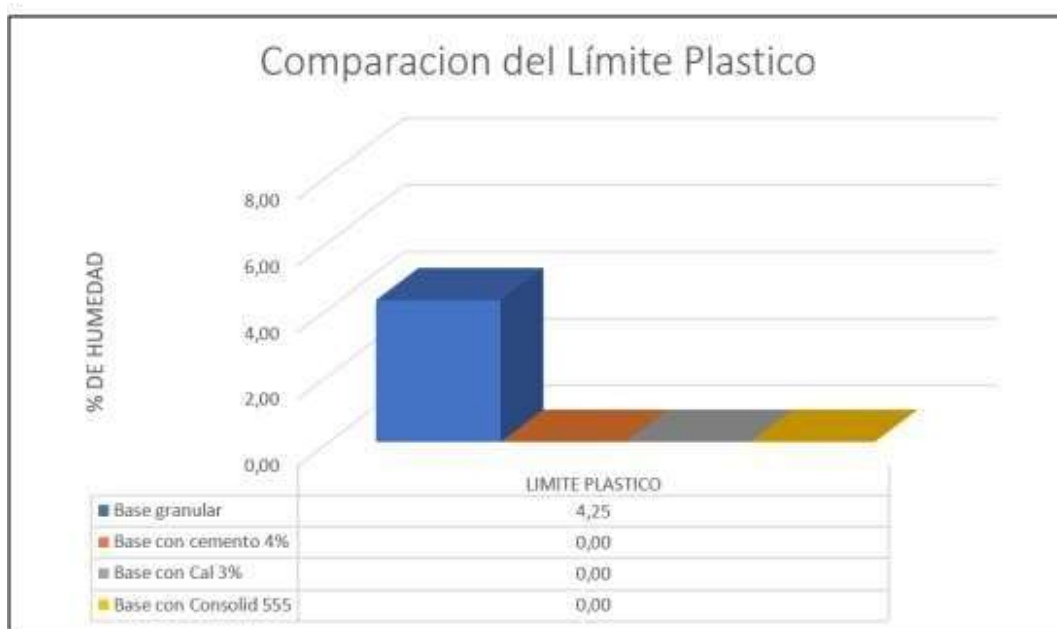


Nota. Fuente (Autores)

En la figura 30, se muestran los resultados del límite líquido para cada una de las muestras. Se observa que el material de base granular sin ningún aditivo tiene un límite líquido de 7,80 mientras que la base estabilizada con cal, cemento y Consolid 555 muestra un límite líquido de 0. Esto sugiere una notable mejora en las propiedades del suelo tratado, indicando una reducción significativa en la susceptibilidad a cambios de humedad y mayor estabilidad.

Figura 32

Comparación del límite plástico.



Nota. Fuente (Autores)

En la figura 31, se muestran los resultados del límite plástico para cada una de las muestras. Se observa que el material de base granular sin ningún aditivo tiene un límite plástico de 4,25 mientras que la base estabilizada con cal, cemento y Consolid 555 muestra un límite plástico de 0.

Figura 33

Comparación del índice de plasticidad.



Nota. Fuente (Autores)

En la figura 32, se muestran los resultados del índice de plasticidad para cada una de las muestras. Se observa que el material de base granular sin ningún aditivo tiene un índice de plasticidad de 3,55 mientras que la base estabilizada con cal, cemento y Consolid 555 muestra un índice de plasticidad de 0.

4.6. Comparación de espesores de acuerdo al incremento de CBR para las mezclas con los distintos aditivos.

Se llevó a cabo una comparación para evaluar los beneficios de incrementar el CBR, esto significa la utilización de menor espesor de la capa con la adición de los distintos aditivos. Se determinó un valor equivalente a una capa de 20 centímetros de base, y distintos espesores de

acuerdo a los materiales adicionados. Los resultados se presentan detalladamente en la siguiente tabla

Tabla 49

Análisis comparativo del CBR con distintos aditivos

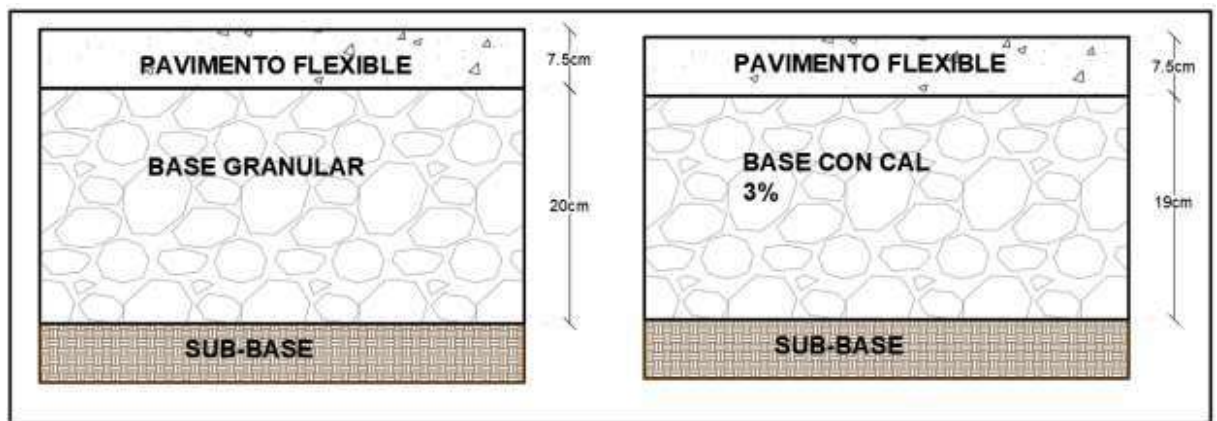
TIPO DE BASE	CBR DE MUESTRA	COEF A2 (IN)	COEF A2 (CM)	ESPESOR EN CM
Base triturada clase 1 tipo b	87.02%	0.132	0.0520	20
Base triturada clase 1 tipo b + cal al 3%	102.76%	0.142	0.0558	19
Base triturada clase 1 tipo b + cemento al 4%	123.71%	0.155	0.0609	17
Base triturada clase 1 tipo b + consolid 555	190.44%	0.196	0.0770	13

Nota. Fuente (Autores)

Según la Tabla 49, se interpreta que a medida que aumenta el CBR con las mezclas de diferentes aditivos, se requiere un menor espesor de base granular. En primer lugar, la mezcla de base granular triturada con un 3% de cal muestra un incremento del CBR del 18% y reduce el espesor necesario en 1 centímetro en comparación con el material sin aditivo. En segundo lugar, la mezcla de base granular triturada con un 4% de cemento presenta un incremento del CBR del 42% y reduce el espesor necesario en 3 centímetros en comparación con el material sin aditivo. Finalmente, la mezcla de base granular triturada con Consolid 555 muestra el mayor incremento del CBR, alcanzando un 118% y reduce el espesor necesario en 7 centímetros en comparación con el material sin aditivo.

Figura 34

Comparación de espesores necesarios de la base con y sin cal al 3%

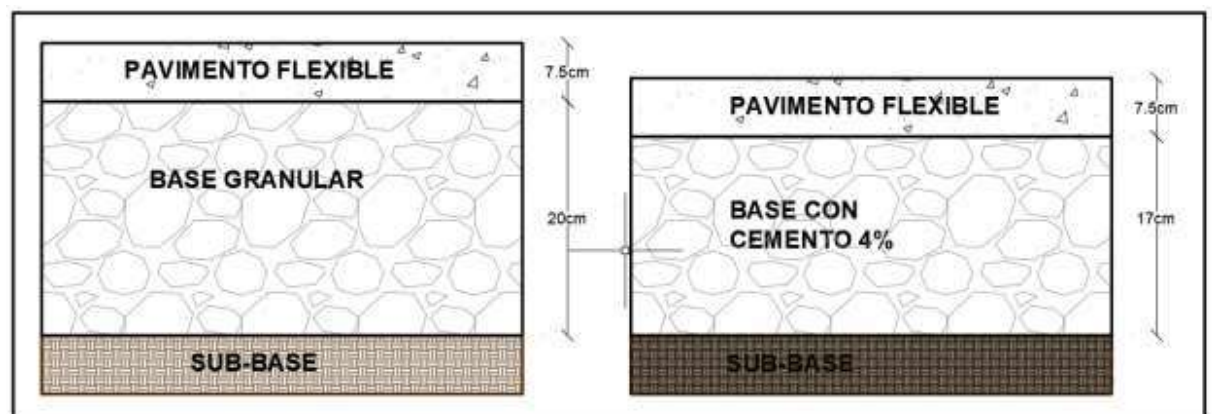


Nota. Fuente (Autores)

A continuación, se compara y se expone la diferencia de espesor entre la capa de base granular sin ningún aditivo y la capa de base con cemento al 4%.

Figura 35

Comparación de espesores necesarios de la base con y sin cemento al 4%

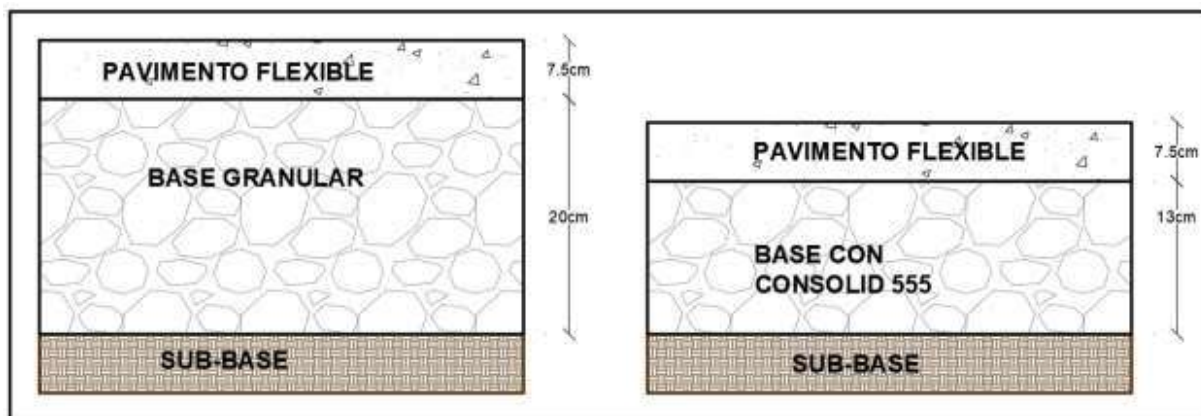


Nota. Fuente (Autores)

A continuación, se compara y se expone la diferencia de espesor entre la capa de base granular sin ningún aditivo y la capa de base con consolid 555.

Figura 36

Comparación de espesores necesarios de la base con y sin consolid 555



Nota. Fuente (Autores)

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

Los resultados de laboratorio arrojan datos de la base estabilizada con cemento, mostrando ausencia de plasticidad con un índice (I_p) de 0 y un CBR de 102.76%. De manera similar, la base estabilizada con cal muestra ausencia de plasticidad y un CBR de 123.71%, por otro lado, la base estabilizada con Consolid 555 no presenta plasticidad y tiene un CBR de 190.44%.

El material estudiado de la cantera Rooka Azul se clasifica como base clase 1 tipo B, debido a su granulometría, presenta un límite líquido de 7,80 el índice de plasticidad es de 3,55 el CBR es de 87.02: por lo tanto, se concluye que cumple con los requisitos estipulado por la normativa para ser utilizado como una base.

Basándonos en las investigaciones realizadas, la cantidad óptima de cemento a añadir a la base se determina según el tipo de suelo clasificado por AASHTO, específicamente como A1a, se usó un 4% como el valor óptimo. En cuanto al porcentaje óptimo de cal, la base contiene menos del 50% de material que pasa el tamiz No. 40 y se eligió un 3% como valor óptimo. Para el consolid, se utilizó la ficha técnica proporcionada por el fabricante, que especifica la dosificación de consolid líquido 0.6 lt/m³ y el solidry en polvo tiene la siguiente dosificación 3 kg/m².

Los resultados de laboratorio permiten concluir que la incorporación de estabilizadores en la base granular mejora significativamente sus propiedades mecánicas, en comparación con el material sin aditivos. Las bases estabilizadas con cemento, cal y Consolid 555 muestran una total ausencia de plasticidad ($I_p = 0$), mientras que el material de cantera sin estabilización presenta

una leve plasticidad ($I_p = 3.55$). Asimismo, se observan incrementos notables en los valores de CBR, siendo 102.76% para la base estabilizada con cemento, 123.71% para la base estabilizada con cal y 190.44% para la base estabilizada con Consolid 555, en comparación con el CBR del material de cantera sin estabilización, que es de 87.02%. Estos resultados evidencian que el uso de estabilizadores incrementa la capacidad portante de la base granular, haciendo que sea más resistente y adecuada para soportar cargas, lo cual es esencial en la construcción de pavimentos duraderos y de alto rendimiento. Para concluir los resultados se demuestra que todos los aditivos mejoran las propiedades del material. No solo se incrementa el CBR, sino que también se reduce significativamente la plasticidad. Este efecto se traduce en un ahorro sustancial de material; por ejemplo, se observa que 20 cm de base sin estabilización equivalen a 19 cm de base estabilizada con cal, 17 cm de base estabilizada con cemento y 13 cm de base estabilizada con consolid 555.

5.2. Recomendaciones

Cuando se realice el ensayo de límites de Atterberg, es aconsejable agregar agua gradualmente para evitar la necesidad de repetir el ensayo debido a un exceso humedad del material.

Se recomienda complementar la investigación, con ensayos de compresión para evaluar la capacidad de carga de la base granular, y la incorporación de los respectivos aditivos. Esto permitirá analizar y comparar el comportamiento de la base con cada aditivo.

Se recomienda realizar pruebas adicionales con diversas marcas de cemento disponibles en el mercado, para identificar cuál de ellas ofrece la mayor mejora en las propiedades del suelo.

Se recomienda explorar dosificaciones adicionales del Consolid 555, además de la recomendada por el fabricante, para asegurar que la dosificación agregada sea la más adecuada para mejorar las propiedades del suelo, y el análisis de espesores de la capa de base.

Se recomienda llevar a cabo este tipo de investigaciones en las diversas canteras de la provincia para obtener información detallada sobre los tipos de aditivos adecuados que podrían aplicarse, con el objetivo de mejorar la viabilidad del área mediante la construcción de vías más duraderas y de mejor calidad.

Se sugiere realizar estudios económicos en investigaciones futuras para determinar qué aditivo ofrece la mejor relación costo beneficio en proyectos viales.

BIBLIOGRAFÍA

- Quiñonez, H., & Rojas, H. (2019). *Análisis del uso del Sistema Consolid, para el mejoramiento de base granular existente, en una pista de aterrizaje*. Universidad Cesar Vallejo, Lima-Peru.
- Aguirre, J., & Prado, M. (2012). Estabilización de la subrasante en la vía cuicacocha apuela del km32, cantón Cotacachi, provincia de Imbabura, utilizando el sistema consolid. *Tesis (Título de Ingeniería Civil)*. Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito.
- Arce-Jiménez, M. (2011). Bases estabilizadas con cemento: Algunos comentarios sobre sus ventajas e inconvenientes. *PITRA, LanammeUCR*.
- Balbuena Flores, D. A., & Clavo Rimarachin, E. Y. (2022). *Estabilización de bases granulares con cal y con cemento portland para mejorar las propiedades físico mecánicas en carreteras*. Lima: Universidad Ricardo Palma.
- Carballo, M., Murillo, M., & Gallardo, M. D. (2023). Análisis de una base granular estabilizada con cemento y adición de fibras de PET reciclado. *Revista Infraestructura Vial LanammeUCR*, 9.
- Condor Martínez, E. A., & Huamancayo Cuba, B. P. (2016). Comparación Económica del Resultado y el Mantenimiento entre los Estabilizadores PROES y CONSOLID para el Sistema de Mejoramiento de Suelos Blandos para las Carreteras no Pavimentadas en La Selva Peruana. *Tesis (Título de Ingeniería Civil)*. UNIVERSIDAD PERUANA DE CIENCIAS APLICADAS, Lima.

Díaz Chacon, G. M. (2018). *“MEJORAMIENTO DEL CBR DE UN SUELO ARCILLOSO.*

Cajamarca: Universidad Privada del Norte.

Etekume , C. (2020). *GEOTECHNICAL PROPERTIES OF LATERITIC SOIL STABILIZED WITH BONE ASH AND HYDRATED LIME FOR ROAD CONSTRUCTION APPLICATIONS.* Abuja : African University of Science and Technology Abuja.

García Restrepo, A. L. (2022). *Estabilización de suelos con cal como una alternativa viable para la construcción y rehabilitación de caminos rurales en Colombia.* Cartagena: UNAD.

Godfrey Njihia, H. (2021). *Performance of Red Soil Stabilized with Gravel and Lime in Construction of Low-Volume Roads in Nyeri County, Kenya.* Kenya: JOMO KENYATTA UNIVERSITY OF AGRICULTURE AND TECHNOLOGY.

Ibtehaj Taha Jawad, M. R. (2022). Portland Cement Treated Soil: Evaluation and Conflict Results,". *Civil Engineering and Architecture.*

Jácome Macías, G., & Ortiz Hernández, E. (2022). STABILIZATION OF A ROAD SUBGRADE SOIL WITH THE CONSOLID. *INGENIAR.*

La Hora. (2007). *Explotación de áridos.* El Tiempo. Obtenido de <https://www.lahora.com.ec/pais/tiempo-88/>

Mamani, G., Vega , C., & Rea , W. (2023). Estabilización de la subrasante con ceniza de quinua y cal en la Carretera Lago Sagrado, Puno, Perú. *LanammeUCR.*

Ministerio de Transportes y Obras Públicas. (2002). *Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos y Puentes.* QUITO, ECUADOR.

Pineda , A., & Rodríguez , F. (2019). Estudio de una mezcla de base granular con cemento y solid soil para una resistencia a la compresión de 2.5 MPa. (*Trabajo de grado de Ingeniería de Pavimentos*). Universidad Católica de Colombia, Bogotá.

Rodríguez Moreno , M. (2015). Comportamiento de suelos residuales. *Revista de Ingeniería*.

Soto-Espitia, R., Moreno, F., Inzunza, M., Pasaran, D., Zurita, R., & Lechuga, H. (2016). Performance of portland cement stabilized bases in Mexico.

Talitha Rocha, M., & Ribeiro de Rezende, L. (2017). Estudio laboratorial de um solo tropical granular estabilizado quimicamente para fins de pavimentação. *Revistamateria*.

Tepán Vele , X. J. (2022). *Evaluación de la Capacidad Resistente (CBR) en Bases Granulares de materiales procedentes del Rio Paute*. UCUENCA, Cuenca, Ecuador . Obtenido de [file:///C:/Users/User/Downloads/Trabajo-de-Titulaci%C3%B3n%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/User/Downloads/Trabajo-de-Titulaci%C3%B3n%20(1).pdf)

Zambrano Meza, M. I., & Tejada Piusseaut, E. (2019). Materiales granulares tratados con emulsión asfáltica para su empleo en bases o subbases de pavimentos flexibles. *Revista de Arquitectura e Ingeniería*, 13(3). Obtenido de <https://www.redalyc.org/journal/1939/193961007002/193961007002.pdf>

Arízaga Mora, J. D. (2014). Análisis geotécnico de las causas por las cuales ocurrió el colapso de la losa de piso de la cancha del pabellón de comunidad terapéutica del Centro de Rehabilitación Social (CRS) Cuenca y solución técnica de la problemática [bachelorThesis, Universidad del Azuay]. <http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/3632>

Das, B. M. (2013). *Fundamentals of geotechnical engineering* (4th ed). Cengage Learning.

Ensayo de abrasion. (2015, noviembre 19). SlideShare.
<https://es.slideshare.net/slideshow/ensayo-de-abrasion/55279108>

Explotación de áridos / El Tiempo. (s. f.). Recuperado 19 de mayo de 2024, de
<https://www.lahora.com.ec/pais/tiempo-88/>

MANUAL DE ESTABILIZACION DE SUELO TRATADO CON CAL. (s. f.).

Meza, M. I. Z., & Piusseaut, E. T. (2019). Materiales granulares tratados con emulsión asfáltica para su empleo en bases o subbases de pavimentos flexibles. *Revista de Arquitectura e Ingeniería*, 13(3), 1-11.

Montejo, A. (1997). *Ingenieria de pavimentos—Alfonso Montejo Fonseca*.
https://www.academia.edu/22782711/Ingenieria_de_pavimentos_Alfonso_Montejo_Fonseca

Montejo, A., Montejo, A., & Montejo, A. (2019). *Estabilización de suelos*. Ediciones de la U.

MOP-2002. (s. f.). Recuperado 19 de mayo de 2024, de
https://www.obraspublicas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2021/01/MPR_Chimborazo_Cumanda_Especificaciones-Tecnicas-MOP-001-F-2002.pdf

Murillo Vázquez, E. X. (2010). *Estudio del comportamiento de las bases de pavimentos rígidos en la ciudad de Cuenca y su influencia en el diseño* [masterThesis].
<http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/2580>

Simeon, J. (s. f.). UNIVERSIDAD CENTROAMERICANA.

Tepán Vele, X. J. (2022). Evaluación de la capacidad resistente (CBR) en bases granulares de materiales procedentes del río Paute [masterThesis, Universidad de Cuenca].
<http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/39460>

Velasquez, C. (2018). Influencia del cemento portland tipo I en la estabilización del suelo arcilloso de la subrasante de la avenida Dinamarca, sector La Molina.
<https://1library.co/document/qo5n54ky-influencia-cemento-portland-estabilizacion-arcilloso-subrasante-avenida-dinamarca.html>

ANEXOS

Anexo 1

Obtención del material de base



Anexo 2

Secado del material



Anexo 3*Ensayo de granulometría***Anexo 4***Compactación del material de base*

Anexo 5

Extracción del material en la prensa hidráulica

**Anexo 6**

Mezclado de material fino y grueso



Anexo 7

Adición de consolid a la mezcla

**Anexo 8**

Compactación de material para CBR



Anexo 9

Preparación de material para ensayos

**Anexo 10**

Ensayo de límites con aditivos



Anexo 11

Muestras de limites saturadas en agua

**Anexo 12**

Extracción de material después del ensayo de compactación



Anexo 13

Ensayo de CBR

**Anexo 14**

Saturación de material después del ensayo de CBR



Anexo 15

Muestras después de saturación para colocar en la prensa de CBR

**Anexo 16**

Tamizado de material para obtener agregados gruesos y finos



Anexo 17

Tamizado de material fino

**Anexo 18**

Ensayo de Abrasión



Anexo 19

Mezcla de base con cal para ensayo de compactación

**Anexo 20**

Pesaje del material



Anexo 21

Pesaje de los aditivos añadidos

**Anexo 22**


Pesaje de material con molde para ensayos



Anexo 23*Ensayos de límites de Atterberg*

Anexo 24

Ensayo: Granulometría y curva granulométrica

UNIVERSIDAD CATOLICA DE CUENCA							 Universidad Católica de Cuenca																																																																																																		
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL																																																																																																									
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONTRUCCION																																																																																																									
ENSAYO: ANALISIS GRANULOMETRICO DE BASE GRANULAR																																																																																																									
FECHA: mar-24																																																																																																									
PESO MAT. INICIAL (GR)		15227,5 gr		PESO MAT. FINAL (GR)		14900,00 gr																																																																																																			
% ERROR		2,15 %																																																																																																							
							<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Muestra Finos</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Wm.humeda</td> <td>500 gr</td> </tr> <tr> <td>WS_dl</td> <td>420,00 gr</td> </tr> </tbody> </table>		Muestra Finos		Wm.humeda	500 gr	WS_dl	420,00 gr																																																																																											
Muestra Finos																																																																																																									
Wm.humeda	500 gr																																																																																																								
WS_dl	420,00 gr																																																																																																								
							<table border="1"> <thead> <tr> <th>Material grueso</th> <th>Pasa 3/4 y Retiene #4</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1/2"</td> <td>2232,00 gr</td> </tr> <tr> <td>3/8"</td> <td>2993,00 gr</td> </tr> <tr> <td>Nº4</td> <td>538,50 gr</td> </tr> <tr> <td>Total</td> <td>5763,50 gr</td> </tr> </tbody> </table>		Material grueso	Pasa 3/4 y Retiene #4	1/2"	2232,00 gr	3/8"	2993,00 gr	Nº4	538,50 gr	Total	5763,50 gr																																																																																							
Material grueso	Pasa 3/4 y Retiene #4																																																																																																								
1/2"	2232,00 gr																																																																																																								
3/8"	2993,00 gr																																																																																																								
Nº4	538,50 gr																																																																																																								
Total	5763,50 gr																																																																																																								
							<table border="1"> <thead> <tr> <th>Material fino</th> <th>Pasa #4</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Fondo</td> <td>7007,50 gr</td> </tr> <tr> <td>Total</td> <td>7007,50 gr</td> </tr> </tbody> </table>		Material fino	Pasa #4	Fondo	7007,50 gr	Total	7007,50 gr																																																																																											
Material fino	Pasa #4																																																																																																								
Fondo	7007,50 gr																																																																																																								
Total	7007,50 gr																																																																																																								
							<table border="1"> <tbody> <tr> <td>Total muestra</td> <td>12771,00 gr</td> </tr> </tbody> </table>		Total muestra	12771,00 gr																																																																																															
Total muestra	12771,00 gr																																																																																																								
<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>ABERTURA</th> <th>PESO RET.</th> <th>RET.ACUM.</th> <th>%</th> <th>%</th> <th>%</th> </tr> <tr> <th>TAMIZ Nº</th> <th>MM.</th> <th>GR.</th> <th>GR.</th> <th>RETENIDO</th> <th>RET. ACUM</th> <th>PASA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>3"</td> <td>76,2</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>0,00%</td> <td>0,00%</td> <td>100,00%</td> </tr> <tr> <td>2 1/2"</td> <td>63,5</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>0,00%</td> <td>0,00%</td> <td>100,00%</td> </tr> <tr> <td>2"</td> <td>50,8</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>0,00%</td> <td>0,00%</td> <td>100,00%</td> </tr> <tr> <td>1 1/2"</td> <td>38,1</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>0,00%</td> <td>0,00%</td> <td>100,00%</td> </tr> <tr> <td>1"</td> <td>25,4</td> <td>979,50</td> <td>979,50</td> <td>6,57%</td> <td>6,57%</td> <td>93,43%</td> </tr> <tr> <td>3/4"</td> <td>19,1</td> <td>1149,50</td> <td>2129,00</td> <td>7,71%</td> <td>14,29%</td> <td>85,71%</td> </tr> <tr> <td>1/2"</td> <td>12,7</td> <td>2232,00</td> <td>4361,00</td> <td>14,98%</td> <td>29,27%</td> <td>70,73%</td> </tr> <tr> <td>3/8"</td> <td>9,52</td> <td>2993,00</td> <td>7354,00</td> <td>20,09%</td> <td>49,36%</td> <td>50,64%</td> </tr> <tr> <td>Nº4</td> <td>4,75</td> <td>538,50</td> <td>7892,50</td> <td>3,61%</td> <td>52,97%</td> <td>47,03%</td> </tr> <tr> <td>PASA Nº4</td> <td>2</td> <td>7007,50</td> <td>14900,00</td> <td>47,03%</td> <td>100,00%</td> <td>0,00%</td> </tr> <tr> <td>TOTAL</td> <td></td> <td>14900,00</td> <td></td> <td>100,00%</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>								ABERTURA	PESO RET.	RET.ACUM.	%	%	%	TAMIZ Nº	MM.	GR.	GR.	RETENIDO	RET. ACUM	PASA	3"	76,2	0,00	0,00	0,00%	0,00%	100,00%	2 1/2"	63,5	0,00	0,00	0,00%	0,00%	100,00%	2"	50,8	0,00	0,00	0,00%	0,00%	100,00%	1 1/2"	38,1	0,00	0,00	0,00%	0,00%	100,00%	1"	25,4	979,50	979,50	6,57%	6,57%	93,43%	3/4"	19,1	1149,50	2129,00	7,71%	14,29%	85,71%	1/2"	12,7	2232,00	4361,00	14,98%	29,27%	70,73%	3/8"	9,52	2993,00	7354,00	20,09%	49,36%	50,64%	Nº4	4,75	538,50	7892,50	3,61%	52,97%	47,03%	PASA Nº4	2	7007,50	14900,00	47,03%	100,00%	0,00%	TOTAL		14900,00		100,00%			<table border="1"> <tbody> <tr> <td>0,425</td> <td>12,37342202</td> </tr> <tr> <td>0,075</td> <td>1,791626718</td> </tr> <tr> <td>D10</td> <td>0,386427779</td> </tr> </tbody> </table>		0,425	12,37342202	0,075	1,791626718	D10	0,386427779
	ABERTURA	PESO RET.	RET.ACUM.	%	%	%																																																																																																			
TAMIZ Nº	MM.	GR.	GR.	RETENIDO	RET. ACUM	PASA																																																																																																			
3"	76,2	0,00	0,00	0,00%	0,00%	100,00%																																																																																																			
2 1/2"	63,5	0,00	0,00	0,00%	0,00%	100,00%																																																																																																			
2"	50,8	0,00	0,00	0,00%	0,00%	100,00%																																																																																																			
1 1/2"	38,1	0,00	0,00	0,00%	0,00%	100,00%																																																																																																			
1"	25,4	979,50	979,50	6,57%	6,57%	93,43%																																																																																																			
3/4"	19,1	1149,50	2129,00	7,71%	14,29%	85,71%																																																																																																			
1/2"	12,7	2232,00	4361,00	14,98%	29,27%	70,73%																																																																																																			
3/8"	9,52	2993,00	7354,00	20,09%	49,36%	50,64%																																																																																																			
Nº4	4,75	538,50	7892,50	3,61%	52,97%	47,03%																																																																																																			
PASA Nº4	2	7007,50	14900,00	47,03%	100,00%	0,00%																																																																																																			
TOTAL		14900,00		100,00%																																																																																																					
0,425	12,37342202																																																																																																								
0,075	1,791626718																																																																																																								
D10	0,386427779																																																																																																								
							<table border="1"> <tbody> <tr> <td>2</td> <td>30,40166587</td> </tr> <tr> <td>0,425</td> <td>12,37342202</td> </tr> <tr> <td>D30</td> <td>1,976697685</td> </tr> </tbody> </table>		2	30,40166587	0,425	12,37342202	D30	1,976697685																																																																																											
2	30,40166587																																																																																																								
0,425	12,37342202																																																																																																								
D30	1,976697685																																																																																																								
							<table border="1"> <tbody> <tr> <td>9,52</td> <td>50,6442953</td> </tr> <tr> <td>4,75</td> <td>47,03020134</td> </tr> <tr> <td>D60</td> <td>20,4416322</td> </tr> </tbody> </table>		9,52	50,6442953	4,75	47,03020134	D60	20,4416322																																																																																											
9,52	50,6442953																																																																																																								
4,75	47,03020134																																																																																																								
D60	20,4416322																																																																																																								
<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>ABERTURA</th> <th>PESO RET.</th> <th>RET.ACUM.</th> <th>%</th> <th>%</th> <th>%</th> </tr> <tr> <th>TAMIZ Nº</th> <th>MM.</th> <th>GR.</th> <th>GR.</th> <th>RETENIDO</th> <th>RET. ACUM</th> <th>PASA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>10</td> <td>2</td> <td>148,50</td> <td>148,50</td> <td>20,24%</td> <td>69,60%</td> <td>30,40%</td> </tr> <tr> <td>40</td> <td>0,425</td> <td>161,00</td> <td>309,50</td> <td>21,64%</td> <td>87,63%</td> <td>12,37%</td> </tr> <tr> <td>200</td> <td>0,075</td> <td>94,50</td> <td>404,00</td> <td>14,20%</td> <td>98,21%</td> <td>1,79%</td> </tr> <tr> <td>FONDO</td> <td>0</td> <td>16,00</td> <td>420,00</td> <td>5,41%</td> <td>100,00%</td> <td>0,00%</td> </tr> <tr> <td>TOTAL</td> <td></td> <td>420,00</td> <td></td> <td>61,49%</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>								ABERTURA	PESO RET.	RET.ACUM.	%	%	%	TAMIZ Nº	MM.	GR.	GR.	RETENIDO	RET. ACUM	PASA	10	2	148,50	148,50	20,24%	69,60%	30,40%	40	0,425	161,00	309,50	21,64%	87,63%	12,37%	200	0,075	94,50	404,00	14,20%	98,21%	1,79%	FONDO	0	16,00	420,00	5,41%	100,00%	0,00%	TOTAL		420,00		61,49%																																																				
	ABERTURA	PESO RET.	RET.ACUM.	%	%	%																																																																																																			
TAMIZ Nº	MM.	GR.	GR.	RETENIDO	RET. ACUM	PASA																																																																																																			
10	2	148,50	148,50	20,24%	69,60%	30,40%																																																																																																			
40	0,425	161,00	309,50	21,64%	87,63%	12,37%																																																																																																			
200	0,075	94,50	404,00	14,20%	98,21%	1,79%																																																																																																			
FONDO	0	16,00	420,00	5,41%	100,00%	0,00%																																																																																																			
TOTAL		420,00		61,49%																																																																																																					

Anexo 25

Ensayo: Granulometría y curva granulométrica

UNIVERSIDAD CATOLICA DE CUENCA
 FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONTRUCCION



ENSAYO: ANALISIS GRANULOMETRICO DE BASE GRANULAR
 FECHA: mar-24

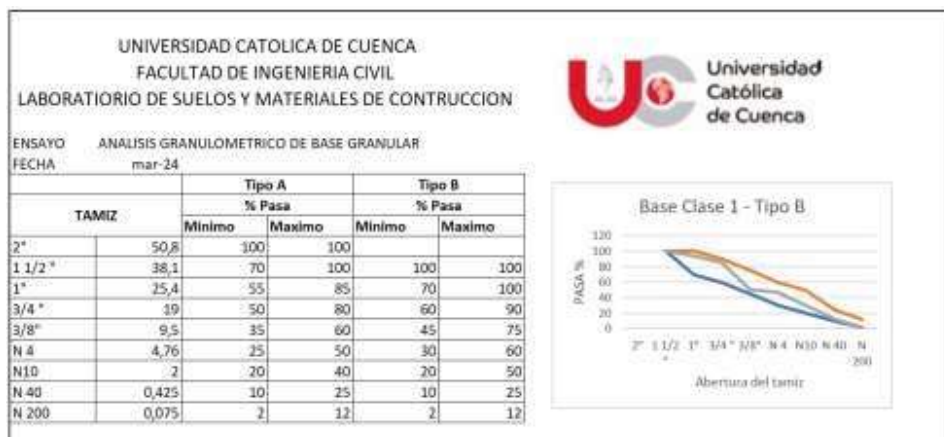
	ABERTURA	PESO RET.	RET.ACUM.	%	%	%
TAMIZ N°	MM.	GR.	GR.	RETENIDO	RET. ACUM	PASA
3"	76,2	0,00	0,00	0,00%	0,0%	100,0%
2 1/2"	63,5	0,00	0,00	0,00%	0,0%	100,0%
2"	50,8	0,00	0,00	0,00%	0,0%	100,0%
1 1/2"	38,1	0,00	0,00	0,00%	0,0%	100,0%
1"	25,4	979,50	979,50	6,57%	6,6%	93,4%
3/4"	19,1	1149,50	2129,00	7,71%	14,3%	85,7%
1/2"	12,7	2232,00	4361,00	14,98%	29,3%	70,7%
3/8"	9,52	2993,00	7354,00	20,09%	49,4%	50,6%
N°4	4,76	538,50	7892,50	3,61%	53,0%	47,0%
10	2	148,50	148,50	20,24%	70%	30%
40	0,425	161,00	309,50	21,64%	88%	12%
200	0,075	94,50	404,00	14,20%	98,21%	1,79%

CU	52,8989718
CC	0,494648388



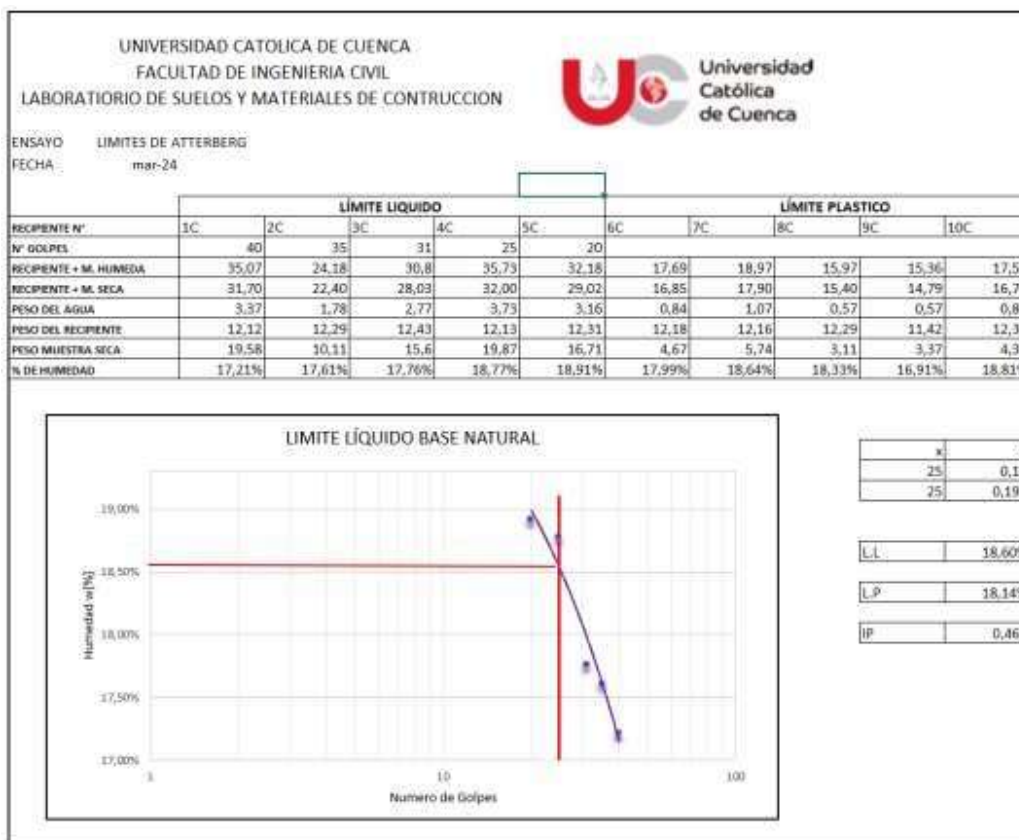
Anexo 26

Ensayo: Granulometría y franja granulométrica



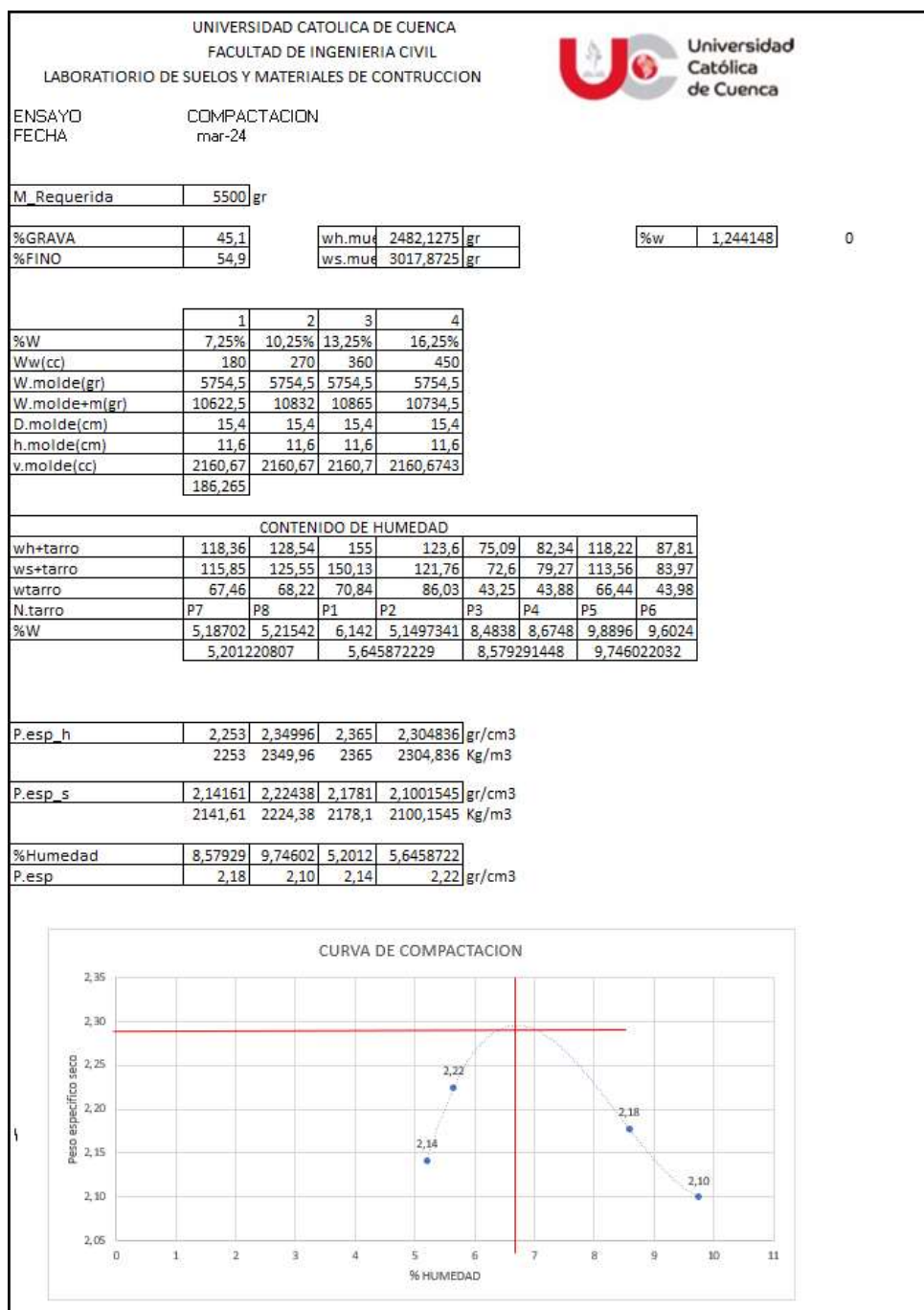
Anexo 27

Ensayo: Límites de atterberg y índice de plasticidad



Anexo 28

Ensayo: Compactación de la base granular



Anexo 29

Ensayo: CBR de la base granular

UNIVERSIDAD CATOLICA DE CUENCA											
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL											
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCION											
ENSAYO		CBR BASE GRANULAR									
FECHA		mar-24									
Numero de capas	#CAPAS	5 de 56			5 de 25			5 de 12			
MOLDE N	#MOLDE	7			3			32			
	D	15,32 cm			15,15 cm			15,2 cm			
	h	12,7 cm			12,7 cm			12,6 cm			
	V	2341,052391 cm ³			2289,385184 cm ³			2286,375735 cm ³			
	A Remojo	D Remojo			A Remojo	D Remojo			A Remojo	D Remojo	
Peso muestra humeda + molde	11871,5	12056,0 gr			12097,5	12346,5 gr			11633,5	11860,5 gr	
Peso del molde	6669,00	6669,00 gr			7273,00	7273,00 gr			6907,5	6907,5 gr	
Peso muestra humeda	5202,5	5387 gr			4824,5	5073,5 gr			4726	4953 gr	
Volumen de la muestra humeda	2341,052391	2341,052391 cm ³			2289,385184	2289,385184 cm ³			2286,375735	2286,375735 cm ³	
Densidad humeda	2,222291146	2,301101856 gr/cm ³			2,107334333	2,216097158 gr/cm ³			2,067026835	2,166310604 gr/cm ³	
Densidad seca	2,135689636	2,147863519 gr/cm ³			2,011683589	2,026450214 gr/cm ³			1,973676191	1,962782737 gr/cm ³	
CONTENIDO DE AGUA (Antes remojo)											
Muestra humeda + tarro (gr)	wh+tarro	121,02			173,92	95,32			93,34	110,85	
Muestra seca + tarro (gr)	ws+tarro	119,18			169,02	93			91	107,9	
peso del tarro (gr)	wtarro	68,22			66,44	43,98			43,88	42,25	
Tarro I, D	N. tarro	P8			P5	P6			P4	P3	
contenido de humedad	%W	3,610675039			4,776759602	4,732762138			4,966044143	4,493526276	
Prom del contenido de humedad	%W	4,05			4,75				4,73		
CONTENIDO DE AGUA (Despues remojo)											
Muestra humeda + tarro (gr)	wh+tarro	132,89			176,41	92,30			117,23	154,41	
Muestra seca + tarro (gr)	ws+tarro	128,41			166,84	88,29			110,1	144,24	
peso del tarro (gr)	wtarro	68,22			66,44	43,98			43,88	42,25	
Tarro I, D	N. tarro	P8			P5	P6			P4	P3	
contenido de humedad	%W	7,44309686			9,53187251	9,185285489			10,76713984	9,97156584	
Prom del contenido de humedad	%W	7,134454062			9,358578999				10,36935284		

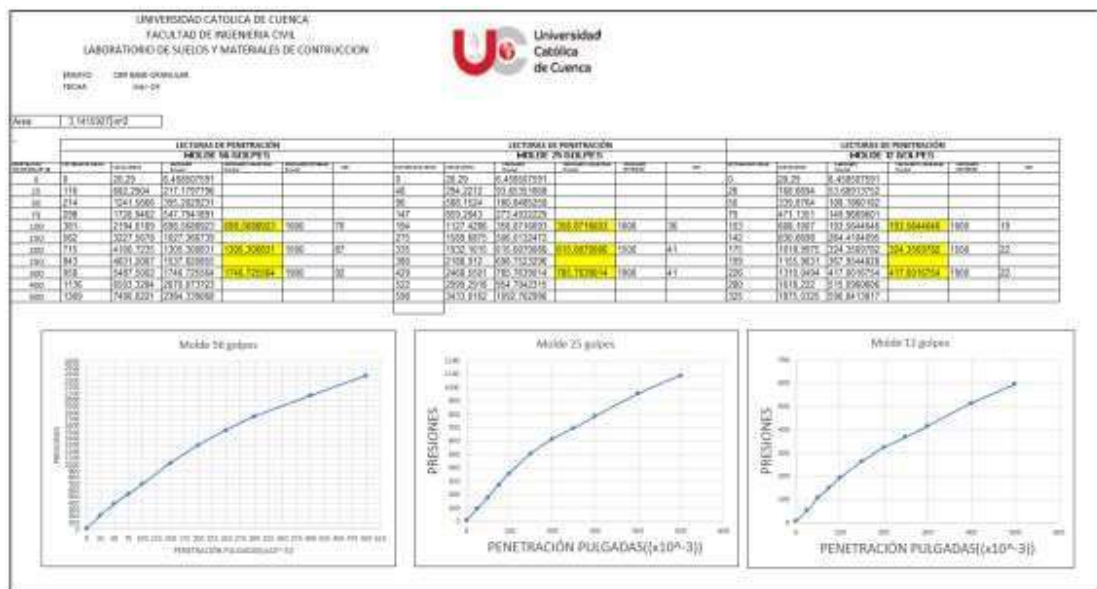
Anexo 30

Ensayo: CBR de la base granular

UNIVERSIDAD CATOLICA DE CUENCA														
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL														
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCION														
ENSAYO		CBR BASE GRANULAR												
FECHA		mar-24												
LECTURAS DE EXPANSION														
MOLDE 56 GOLPES					MOLDE 25 GOLPES					MOLDE 12 GOLPES				
TIEMPO TRANSCURRIDO EN DIAS	LECTURAS DEL PUNTADEO	ALTIMETRIA DE LA MUESTRA EN FILAS DE	ESPOJAMIENTO		TIEMPO TRANSCURRIDO EN DIAS	LECTURAS DEL PUNTADEO	ALTIMETRIA DE LA MUESTRA EN FILAS DE	ESPOJAMIENTO		TIEMPO TRANSCURRIDO EN DIAS	LECTURAS DEL PUNTADEO	ALTIMETRIA DE LA MUESTRA EN FILAS DE	ESPOJAMIENTO	
			PUNTADEO	%				PUNTADEO	%				PUNTADEO	%
0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	5	0	0
1	1	5,001	0,001	0,02	1	0	5	0	0	1	0,5	5,5	0,0005	0,01
2	3	5,003	0,003	0,06	2	0	5	0	0	2	1	6	0,001	0,02
3	5	5,005	0,005	0,1	3	0	5	0	0	3	1,5	6,5	0,0015	0,03
4	7	5,007	0,007	0,14	4	0	5	0	0	4	2	7	0,002	0,04

Anexo 31

Ensayo: CBR de la base granular



Anexo 32

Ensayo: CBR de la base granular



Anexo 33

Ensayo: de abrasión en la base granular

UNIVERSIDAD CATOLICA DE CUENCA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONTRUCCION



**Universidad
Católica
de Cuenca**

ENSAYO ENSAYO DE ABRASION
 FECHA mar-24

T: PESO TARRO
 MH: MUESTRA HUMEDA
 MS: MUESTRA SECA
 %H: PORCENTAJE DE HUMEDAD

T	MH+T	T+MS	%H	% H PROM.
40,3	124,77	122,85	1,56	1,50
37,23	154,17	152	1,43	

Peso de la muestra antes del ensayo 5004,00 gr
 Peso de la muestra despues del ensayo 4006,00 gr


$\% \text{ Desgaste} = \frac{(\text{Peso inicial} - \text{Peso final}) \cdot 100}{\text{Peso inicial}}$

% Desgaste 19,94

Anexo 34

Ensayo: Compactación de la base granular mezclado con cemento 4%

UNIVERSIDAD CATOLICA DE CUENCA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONTRUCCION



**Universidad
Católica
de Cuenca**

ENSAYO COMPACTACION CON CEMENTO 4%
 FECHA mar-24

M. Pasante	3500(μ)	% No pasante	225
retenido	45,1	wt. humedad	180,11108 gr
WFWD	34,5	wt. muestra	3817,37252 gr

W = 1,0941202%

CONTENIDO DE HUMEDAD EN FASES				
retenido(μ)	96,3	94,3		
retenido(μ)	95,2	93,4		
retenido(μ)	94,3	92,8		
retenido	93	91		
Ww	1,80488553	1,70835566		
Ww.prom	1,75662059			

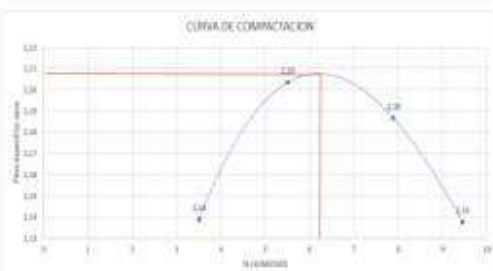
	1	2	3	4
Ww	8,05%	11,05%	14,05%	17,05%
Ww(μ)	180	270	360	450
Ww(μ)(gr)	3794,5	3794,5	3794,5	3794,5
Ww(μ)(gr)	2007,5	2077,5	2081,5	1889
T(muestra)	35,4	35,4	35,4	35,4
humedad(%)	11,0	11,0	11,0	11,0
w(muestra)	2388,074	2388,0743	2388,07433	2388,07433

CONTENIDO DE HABILIDAD									
retenido	96,3	96,3	112,0	131	149,3	161,4	154,3	80,3	
pasante	95,4	95,3	109,0	99,2	121	97,0	120,3	77,3	
reteno	82,30	88,31	85,0	66,8	61,21	63,88	66,44	63,98	
% Pas	PT	PH	PT	PT	PH	PT	PH		
Ww	1,1482584	1,08588012	1,434548402	1,55939558	1,6987	1,87057	0,530461	0,339921181	
	0,97211052		0,92620265		1,04612784		0,486179163		

ρ _{abs} (g/cm ³)	ρ _{abs} (g/cm ³)	ρ _{abs} (g/cm ³)	ρ _{abs} (g/cm ³)
1,113984	1,10437284	1,10880771	1,10952199
223,081	224,127284	226,580771	233,302599

ρ _{rel} (g/cm ³)	ρ _{rel} (g/cm ³)	ρ _{rel} (g/cm ³)	ρ _{rel} (g/cm ³)
1,126056	1,10168889	1,10878620	1,11761119
219,698	220,49689	219,59620	217,41119


W _{max}	W _{max}	W _{max}	W _{max}
7,888128	9,44617956	1,02712158	5,20026251
0,00	0,29	0,24	0,34



CURVA DE COMPACTACION

Anexo 35

Ensayo: CBR de la base granular mezclado con Cemento 4%

		UNIVERSIDAD CATOLICA DE CUENCA								
		FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL								
		LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONTRUCCION								
										
ENSAYO		CBR BASE GRANULAR MEZCLADO CON CEMENTO 4%								
FECHA		mar-24								
Numero de capas MOLDE N	#CAPAS	5 de 56		5 de 25		5 de 12				
	#MOLDE	5		35		11				
	D	15,2	cm	15,3	cm	15,5	cm			
	h	12,7	cm	12,6	cm	13	cm			
	V	2304,52157	cm ³	2316,55859	cm ³	2452,99481	cm ³			
	A Remojo	D Remojo		A Remojo	D Remojo		A Remojo	D Remojo		
	Peso muestra humeda + molde	10971	11280,0	gr	11513	11867	gr	11669	12069,5	gr
	Peso del molde	5961,00	5961,00	gr	6618,50	6618,50	gr	6902	6902	gr
	Peso muestra humeda	5010	5319	gr	4894,5	5248,5	gr	4767	5167,5	gr
	Volumen de la muestra humeda	2304,52157	2304,52157	cm ³	2316,55859	2316,55859	cm ³	2452,99481	2452,99481	cm ³
	Densidad humeda	2,17398702	2,30807125	gr/cm ³	2,11283238	2,26564527	gr/cm ³	1,9433388	2,10660861	gr/cm ³
	Densidad seca	2,08173719	2,10964761	gr/cm ³	2,03170924	2,03580486	gr/cm ³	1,84440024	1,84965734	gr/cm ³
CONTENIDO DE AGUA(Antes remojo)										
Muestra humeda + tarro[gr]	wH+tarro	138,68	141,9		78,2	95,8		106,6	79,2	
Muestra seca + tarro[gr]	wS+tarro	135,43	138,73		77	94,53		104,61	77,36	
peso del tarro[gr]	wtarro	62,54	66,75		43,21	65,89		66,46	43,98	
Tarro I.D	N.tarro	P1	P2		P3	P4		P5	P6	
contenido de humedad	%W	4,45877349	4,40400111		3,55134655	4,43435754		5,21625164	5,5122828	
Prom del contenido de humedad	%W	4,43			3,99			5,36		
CONTENIDO DE AGUA(Despues remojo)										
Muestra humeda + tarro[gr]	wH+tarro	231,18	260,82		162,18	162,43		143,67	181,63	
Muestra seca + tarro[gr]	wS+tarro	214,6	244,5		152,4	150,5		134	167,1	
peso del tarro[gr]	wtarro	43,21	65,89		66,46	43,98		62,54	66,75	
Tarro I.D	N.tarro	P3	P4		P5	P6		P1	P2	
contenido de humedad	%W	9,67384328	9,13722636		11,3800326	11,1997747		13,5320459	14,2516161	
Prom del contenido de humedad	%W	9,40553482			11,28990364			13,89183101		

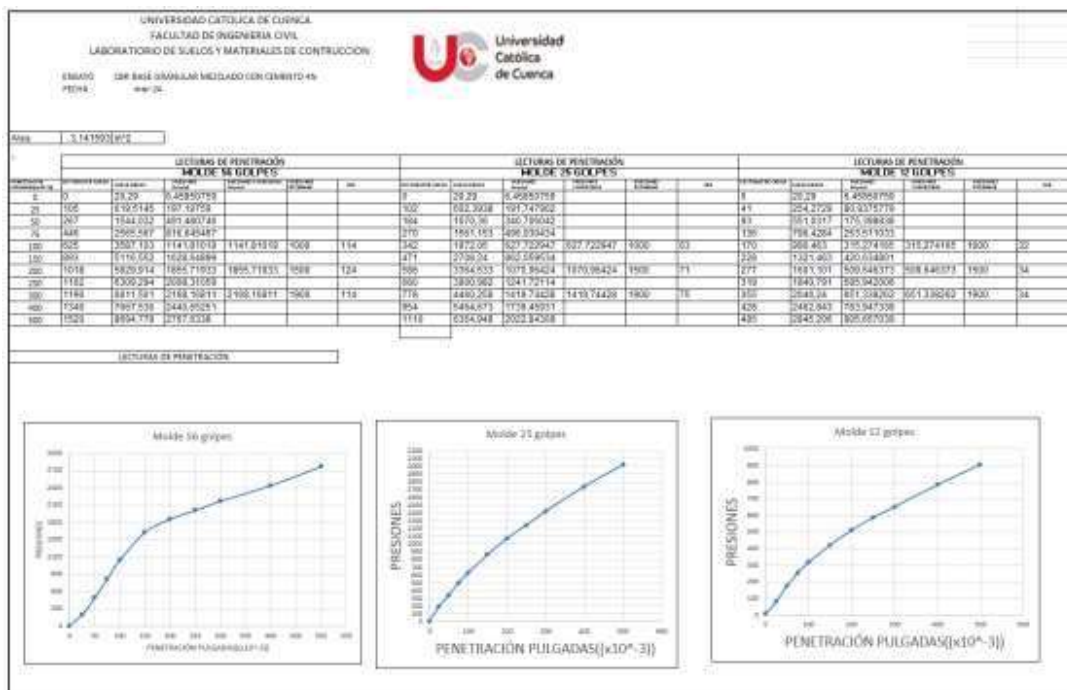
Anexo 36

Ensayo: CBR de la base granular mezclado con Cemento 4%

		UNIVERSIDAD CATOLICA DE CUENCA												
		FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL												
		LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONTRUCCION												
														
ENSAYO		CBR BASE GRANULAR MEZCLADO CON CEMENTO 4%												
FECHA		mar-24												
LECTURAS DE EXPANSION														
MOLDE 56 GOLPES				MOLDE 25 GOLPES				MOLDE 12 GOLPES						
TEMPLADO	SECCIONES	ALTIMETRA	ESPALDADERO	TEMPLADO	SECCIONES	ALTIMETRA	ESPALDADERO	TEMPLADO	SECCIONES	ALTIMETRA	ESPALDADERO			
			P[mm]	%			P[mm]	%			P[mm]	%		
+	0	5	0	0	+	0	5	0	0	+	0	5	0	
+	0	5	0	0	+	0	5	0	0	+	2	7	0,002	0,04
+	0	5	0	0	+	0	5	0	0	+	4	9	0,004	0,08
+	0	5	0	0	+	0	5	0	0	+	6	11	0,006	0,12
+	0	5	0	0	+	0	5	0	0	+	7	12	0,007	0,14

Anexo 37

Ensayo: CBR de la base granular mezclada con Cemento 4%



Anexo 38


Ensayo: CBR de la base granular mezclada con Cemento 4%



Anexo 39

Ensayo: Compactación de la base granular mezclado con Cal 3%

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCION



Universidad Católica de Cuenca

ENSAYO: COMPACTACION CON CAL 3%
FECHA: mar-24

M_Requerida	5300	gr
%GRAVA	45.1	
%FINO	54.9	
W _{h.muestra}	2482.127476	gr
W _{s.muestra}	3017.872524	gr
N _w	1.55%	

	1	2	3	4
%W	7.55%	10.55%	13.55%	16.55%
W _w (cc)	180	270	360	450
W _{molde} (gr)	5754.5	5754.5	5754.5	5754.5
W _{molde} (m ³ gr)	10534	10715.5	10940	10854
D _{molde} (cm)	15.4	15.4	15.4	15.4
h _{molde} (cm)	11.6	11.6	11.6	11.6
v _{molde} (cc)	2160.67433	2160.67433	2160.67433	2160.67433
	186.2650284			


CONTENIDO DE HUMEDAD								
W _{h+temo}	117.74	162.5	104.63	107.31	86.7	102.05	151.8	77.3
W _{s+temo}	116.56	135.21	102.13	104.89	86.12	99.58	126.39	74.49
W _{h+aro}	48.83	66.12	62.56	66.76	43.2	65.9	66.44	43.98
M _{h+aro}	P7	P8	P1	P2	P3	P4	P5	P6
%W	4.495970592	3.39597758	6.317917614	6.346708628	6.01138	7.33375	9.02439	9.2101
	3.943974086		6.332333121		6.672436407		9.117140937	

P _{esp_h}	2.212040905	2.296042458	2.399945206	2.560142817	gr/cm ³
	2212.040905	2296.042458	2399.945206	2560.142817	kg/m ³
P _{esp_s}	2.118067897	2.1539308296	2.248826513	2.162944151	gr/cm ³
	2128.067897	2159.308296	2248.826513	2162.944151	kg/m ³
%Humedad	6.672436407	9.117140937	3.943974086	6.332333121	
P _{esp}	2.25	2.16	2.13	2.16	gr/cm ³

%Humedad	6.672436407	9.117140937	3.943974086	6.332333121	
P _{esp}	2.25	2.16	2.13	2.16	gr/cm ³


3.943974086	6.332333121	7	9.117140937
2.15	2.16	2.25	2.16

CURVA DE COMPACTACION



Anexo 40

Ensayo: CBR de la base granular mezclado con Cal 3%

UNIVERSIDAD CATOLICA DE CUENCA													
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL													
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCION													
													
ENSAYO:		CBR BASE GRANULAR MEZCLADO CON CAL 3%											
FECHA:		mar-24											
Numero de capas. MOLDE N	#CAPAS	5 de 56			5 de 25			5 de 12					
	#MOLDE	3			23			12					
	D	15,2 cm			15,45 cm			15,2 cm					
	h	12,6 cm			12,8 cm			12,8 cm					
	V	2286,375735 cm ³			2399,699265 cm ³			2322,667413 cm ³					
	A_Remojo	D_Remojo			A_Remojo		D_Remojo			A_Remojo		D_Remojo	
	Peso muestra húmeda + molde	12362		12656,0 gr		11952,50		12311 gr		10910		11414 gr	
	Peso del molde	7272,00		7272,00 gr		6958,00		6958,00 gr		6293,5		6293,5 gr	
	Peso muestra húmeda	5090		5384 gr		4994,5		5353 gr		4616,5		5120,5 gr	
	Volumen de la muestra húmeda	2286,375735		2286,375735 cm ³		2399,699265		2399,699265 cm ³		2322,667413		2322,667413 cm ³	
	Densidad húmeda	2,226230764		2,354818553 gr/cm ³		2,081302467		2,230696187 gr/cm ³		1,987585469		2,204577362 gr/cm ³	
	Densidad seca	2,143012651		2,160279644 gr/cm ³		1,994038865		2,018466033 gr/cm ³		1,901061447		1,944542297 gr/cm ³	
CONTENIDO DE AGUA(Antes remojo)													
Muestra húmeda + tarro(gr)	wh+tarro	143,1		180,58		158,76		136,82		147,38		131,42	
Muestra seca + tarro(gr)	ws+tarro	140,27		175,91		154,69		132,96		142,68		127,79	
peso del tarro(gr)	wtarro	68,14		54,39		52,26		52,19		43,78		44,35	
Tarro I.D	N.tarro	M1	M3		M4		M5		M6		M8		
contenido de humedad	%W	3,92347151		3,842988808		3,97344528		4,779002105		4,752275025		4,350431448	
Prom del contenido de humedad	%W	3,88				4,38				4,55			
CONTENIDO DE AGUA(Despues remojo)													
Muestra húmeda + tarro(gr)	wh+tarro	192,28		147,09		172,57		170,76		101,07		129,02	
Muestra seca + tarro(gr)	ws+tarro	181,8		139,6		160,8		159,8		94,2		119,2	
peso del tarro(gr)	wtarro	68,14		54,39		52,26		52,19		43,78		44,35	
Tarro I.D	N.tarro	M1	M3		M4		M5		M6		M8		
contenido de humedad	%W	9,22048214		8,790048116		10,84392851		10,18492705		13,62554542		13,11957248	
Prom del contenido de humedad	%W	9,005265128				10,51442778				13,37255895			

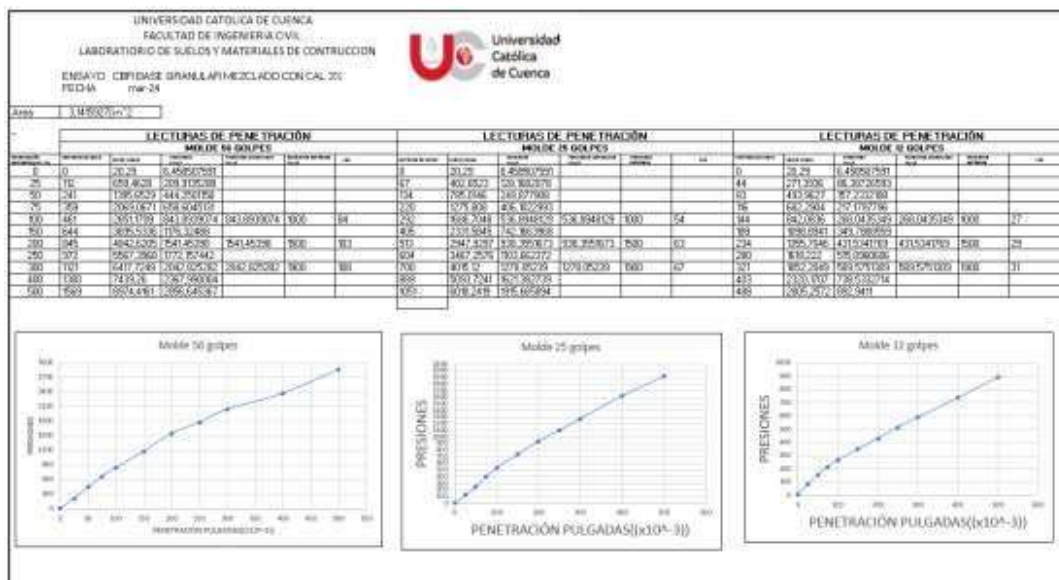
Anexo 41

Ensayo: CBR de la base granular mezclado con Cal 3%

UNIVERSIDAD CATOLICA DE CUENCA														
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL														
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCION														
														
ENSAYO:		CBR BASE GRANULAR MEZCLADO CON CAL 3%												
FECHA:		mar-24												
LECTURAS DE EXPANSION														
MOLDE 56 GOLPES					MOLDE 25 GOLPES					MOLDE 12 GOLPES				
TIEMPO TRANSCURRIDO (EN DÍAS)	LENGUETA (PULGADAS)	ALTO DE LA MUESTRA (PULGADAS)	ESPOLAMIENTO		TIEMPO TRANSCURRIDO (EN DÍAS)	LENGUETA (PULGADAS)	ALTO DE LA MUESTRA (PULGADAS)	ESPOLAMIENTO		TIEMPO TRANSCURRIDO (EN DÍAS)	LENGUETA (PULGADAS)	ALTO DE LA MUESTRA (PULGADAS)	ESPOLAMIENTO	
				%					%					%
0	0	5	0	0	0	0	5	0	0	0	0	5	0	0
1	0	5	0	0	1	2	7	0,002	0,04	1	1	6	0,001	0,02
2	0	5	0	0	2	3	8	0,003	0,06	2	3	8	0,003	0,06
3	0	5	0	0	3	5	10	0,005	0,1	3	6	11	0,006	0,12
4	0	5	0	0	4	8	13	0,008	0,16	4	8	13	0,008	0,16

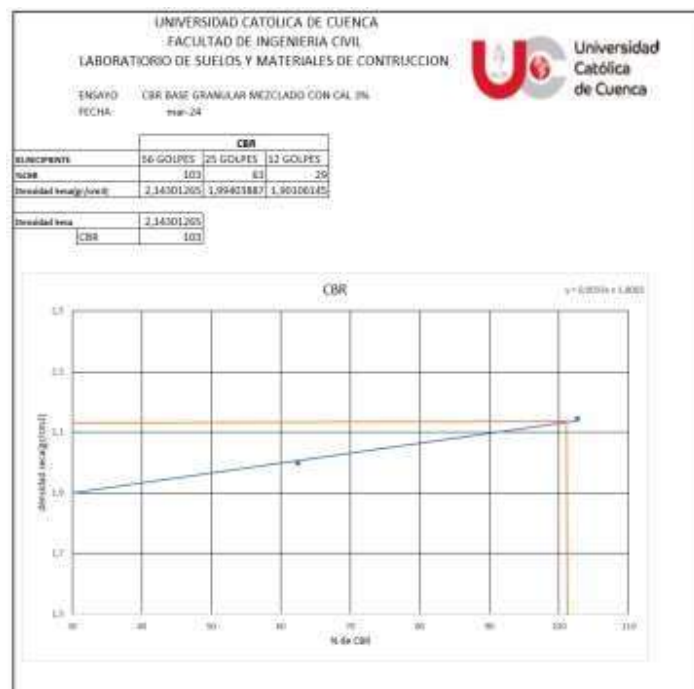
Anexo 42

Ensayo: CBR de la base granular mezclado con Cal 3%



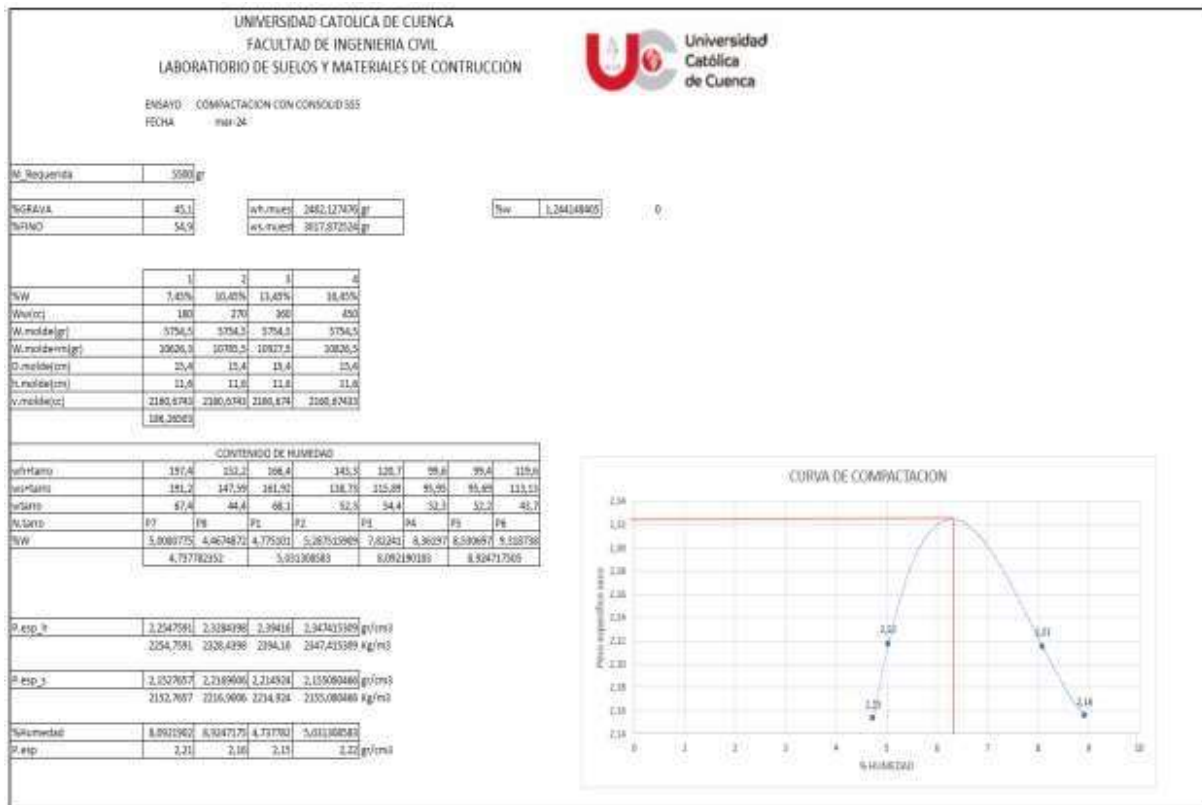
Anexo 43

Ensayo: CBR de la base granular mezclado con Cal 3%



Anexo 44

Ensayo: Compactación de la base granular mezclado con Consolid 555



Anexo 45

Ensayo: CBR de la base granular mezclado con Consolid 555

UNIVERSIDAD CATOLICA DE CUENCA										
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL										
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONTRUCCION										
ENSAYO:		CBR BASE GRANULAR MEZCLADO CON CONSOLID 555								
FECHA:		mar-24								
Numero de capas: MOLDE N	#CAPAS:	5 de 56			5 de 25			5 de 12		
	#MOLDE	7			3			32		
	D	15,32	cm	15,15	cm	15,2	cm			
	h	12,7	cm	12,7	cm	12,6	cm			
V	2341,052391	cm ³	2289,385184	cm ³	2286,375735	cm ³				
	A_Remojo	D_Remojo		A_Remojo	D_Remojo		A_Remojo	D_Remojo		
	Peso muestra humeda + molde	11952	12222,5	gr	12233,5	12579,5	gr	11544	11982,5	gr
	Peso del molde	6669,00	6669,00	gr	7273,00	7273,00	gr	6907,5	6907,5	gr
	Peso muestra humeda	5283	5553,5	gr	4960,5	5306,5	gr	4636,5	5075	gr
	Volumen de la muestra humeda	2341,052391	2341,052391	cm ³	2289,385184	2289,385184	cm ³	2286,375735	2286,375735	cm ³
	Densidad humeda	2,256677391	2,372223715	gr/cm ³	2,166738928	2,317871207	gr/cm ³	2,027881913	2,219670163	gr/cm ³
	Densidad seca	2,150922708	2,19975074	gr/cm ³	2,072226383	2,117547596	gr/cm ³	1,945099437	1,982755406	gr/cm ³
CONTENIDO DE AGUA(Antes remojo)										
Muestra humeda + tarro(gr)	wH+tarro	96,7	97,3		105	107,9		170,1	99,5	
Muestra seca + tarro(gr)	ws+tarro	95,3	95,9		102,4	105		166,3	97	
peso del tarro(gr)	wtarro	68,22	65,88		43,8	43,1		66,4	43,9	
Tarro I.D	N.tarro	P8	01K		P4	P3		P5	P6	
contenido de humedad	%W	5,169867061	4,663557628		4,436860068	4,684975767		3,803803804	4,708097928	
Prom del contenido de humedad	%W	4,92			4,56			4,26		
CONTENIDO DE AGUA(Despues remojo)										
Muestra humeda + tarro(gr)	wH+tarro	172,08	189,01		107,4	185,82		226,08	128,13	
Muestra seca + tarro(gr)	ws+tarro	164,28	179,94		101,34	176,43		209,4	118,96	
peso del tarro(gr)	wtarro	62,55	66,76		43,21	65,9		66,44	43,98	
Tarro I.D	N.tarro	P1	P2		P3	P4		P5	P6	
contenido de humedad	%W	7,667354763	8,013783354		10,42490969	8,495431105		11,66759933	12,22992798	
Prom del contenido de humedad	%W	7,840569058			9,460170395			11,94876365		

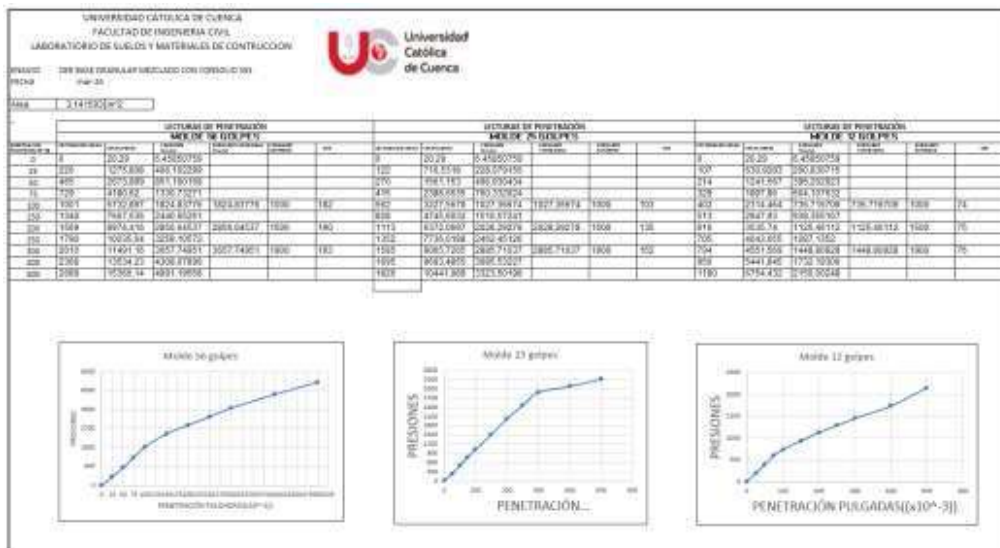
Anexo 46

Ensayo: CBR de la base granular mezclado con Consolid 555

UNIVERSIDAD CATOLICA DE CUENCA														
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL														
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONTRUCCION														
ENSAYO:		CBR BASE GRANULAR MEZCLADO CON CONSOLID 555												
FECHA:		mar-24												
LECTURAS DE EXPANSION														
MOLDE 56 GOLPES					MOLDE 25 GOLPES					MOLDE 12 GOLPES				
TIPO DE TRANSICION (ENCLAS)	DECIMOS DE PULGADAS	ALTURA DE LA MUESTRA EN PULGADAS	ESPOURNEO		TIPO DE TRANSICION (ENCLAS)	DECIMOS DE PULGADAS	ALTURA DE LA MUESTRA EN PULGADAS	ESPOURNEO		TIPO DE TRANSICION (ENCLAS)	DECIMOS DE PULGADAS	ALTURA DE LA MUESTRA EN PULGADAS	ESPOURNEO	
			PULGADAS	%				PULGADAS	%				PULGADAS	%
0	0	5	0	0	0	0	5	0	0	0	0	5	0	0
1	0	5	0	0	0	0	5	0	0	0	0	5	0	0
2	0	5	0	0	0	0	5	0	0	0	0	5	0	0
3	0	5	0	0	0	0	5	0	0	0	0	5	0	0
4	0	5	0	0	0	0	5	0	0	0	0	5	0	0

Anexo 47

Ensayo: CBR de la base granular mezclado con Consolid 555



Anexo 48

Ensayo: CBR de la base granular mezclado con Consolid 555



AUTORIZACION DE PUBLICACION EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Nosotros, **Christian Rodrigo Heras Marquina** y **Juan Fernando Villa Ortiz** portadore(a)s de las cédulas de ciudadanía N.º 0105260509 y 0106827827. En calidad de autore(a)s y titulare(a)s de los derechos patrimoniales del trabajo de titulación "**Análisis comparativo de Bases granulares con mezclas de Consolid, Cal y Cemento**" de conformidad a lo establecido en el artículo 114 Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, reconocemos a favor de la Universidad Católica de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos, Así mismo; autorizamos a la Universidad para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el Repositorio Institucional de conformidad a lo dispuesto en el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 17 de septiembre de 2024



F:
Christian Rodrigo Heras Marquina
0105260509



F:
Juan Fernando Villa Ortiz
0106827827