



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Civil

**ENSAYOS PARA USO DE CONCRETO RECICLADO PARA CARPETAS
ASFÁLTICAS, CONCRETO Y BLOCK PÓMEZ PARA BASES Y SUBBASES**

Claudia Judith Morales Mayén

Asesorado por el Ing. Omar Enrique Medrano Méndez

Guatemala, febrero de 2014

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ENSAYOS PARA USO DE CONCRETO RECICLADO PARA CARPETAS
ASFÁLTICAS, CONCRETO Y BLOCK PÓMEZ PARA BASES Y SUBBASES**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

CLAUDIA JUDITH MORALES MAYÉN

ASESORADO POR EL ING. OMAR ENRIQUE MEDRANO MÉNDEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERA CIVIL

GUATEMALA, FEBRERO DE 2014

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
VOCAL V	Br. Sergio Alejandro Donis Soto
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADORA	Inga. Carmen Marina Mérida Alva
EXAMINADOR	Ing. Francisco Javier Quiñónez de la Cruz
EXAMINADOR	Ing. Mario Estuardo Arriola Ávila
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

ENSAYOS PARA USO DE CONCRETO RECICLADO PARA CARPETAS ASFÁLTICAS, CONCRETO Y BLOCK PÓMEZ PARA BASES Y SUBBASES

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil con fecha 21 de julio de 2012


Claudia Judith Morales Mayén



CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



Guatemala, 19 noviembre de 2013

Ingeniero
Guillermo Francisco Melini Salguero
Coordinador de Área de Materiales y Construcciones Civiles
Escuela de Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería

Ingeniero Melini:

Luego de un breve saludo, sírvame la presente para informarle que el trabajo de graduación **“ENSAYOS PARA USO DE CONCRETO RECICLADO PARA CARPETAS ASFÁLTICAS, CONCRETO Y BLOCK PÓMEZ PARA BASES Y SUBBASES”**, elaborado por la estudiante universitaria Claudia Judith Morales Mayén, ha sido finalizado a satisfacción y revisado por mi persona.

Sin otro particular,

Atentamente,

Id y Enseñad a Todos

OMAR ENRIQUE MEDRANO MENDEZ
INGENIERO CIVIL
COLEGIADO No. 6842

Ing. Civil Omar Enrique Medrano Méndez
Colegiado 6842
Jefe de Sección Mecánica de Suelos

Universidad de San Carlos de Guatemala
FACULTAD DE INGENIERÍA
Escuela de Ingeniería Civil
Guatemala,
7 de febrero de 2014

Ingeniero
Hugo Leonel Montenegro Franco
Director Escuela Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos

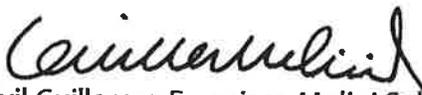
Estimado Ingeniero Montenegro.

Le informo que he revisado el trabajo de graduación ENSAYOS PARA USO DE CONCRETO RECICLADO PARA CARPETAS ASFÁLTICAS, CONCRETO Y BLOCK POMEZ PARA BASES Y SUB-BASES, desarrollado por la estudiante de Ingeniería Civil Claudia Judith Morales Mayen, quien contó con la asesoría del Ing. Omar Enrique Medrano Méndez.

Considero este trabajo bien desarrollado y representa un aporte para la comunidad del área y habiendo cumplido con los objetivos del referido trabajo doy mi aprobación al mismo solicitando darle el trámite respectivo.

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS


Ing. Civil Guillermo Francisco Melini Salguero
Coordinador del Área de Materiales y
Construcciones Civiles



FACULTAD DE INGENIERÍA
ÁREA DE MATERIALES Y
CONSTRUCCIONES CIVILES
USAC

/bbdeb,
Mas de 134 años de Trabajo Académico y Mejora Continua





USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

<http://civil.ingenieria.usac.edu.gt>

Universidad de San Carlos de Guatemala
FACULTAD DE INGENIERÍA
Escuela de Ingeniería Civil



El director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor Ing. Omar Enrique Medrano Méndez y del Jefe del Departamento de Materiales y Construcciones Civiles, Ing. Guillermo Francisco Melini Salguero, al trabajo de graduación de la estudiante Claudia Judith Morales Mayén, titulado **ENSAYOS PARA USO DE CONCRETO RECICLADO PARA CARPETAS ASFÁLTICAS, CONCRETO Y BLOCK PÓMEZ PARA BASES Y SUBBASES**, da por este medio su aprobación a dicho trabajo.

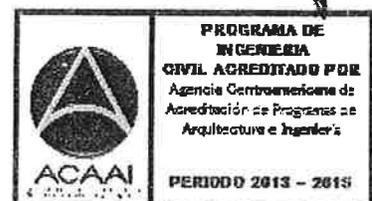

Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco



Guatemala, febrero de 2014.

/bbdeb.

Mas de 134 años de Trabajo Académico y Mejora Continua





El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al trabajo de graduación titulado: **ENSAYOS PARA USO DE CONCRETO RECICLADO PARA CARPETAS ASFÁLTICAS, CONCRETO Y BLOCK PÓMEZ PARA BASES Y SUBBASES**, presentado por la estudiante universitaria: **Claudia Judith Morales Mayén**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.



Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
Decano

Guatemala, febrero de 2014



ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Todopoderoso, por ser mi fuente de inspiración, mi guía, ayudarme a levantarme en todo momento y, porque sin Él nada de esto hubiese sido posible.
Mis padres	Mario Morales y Mirna Mayén, por su comprensión, motivación durante este recorrido.
Mis hermanas	Mirna Paola y Andrea María Morales Mayén, por su comprensión, amor y apoyo incondicional.
Mi sobrino	José David Godínez, tus risas me hacen crecer y sentirme afortunada de tenerte conmigo.
Mi cuñado	Luis Armando Godínez, por su apoyo, comprensión, en cada momento.
Luis Felipe Pérez	Por su amor, apoyo y sobre todo, su paciencia brindada a lo largo de estos años.
Mis amigos	Lourdez Baires, Abel Rodríguez, Manuel Guzmán, por ser mi motivación y ánimo durante mi carrera.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por ser una importante influencia en mi carrera, y mi casa de estudios.
Facultad de Ingeniería	Por permitirme adquirir conocimientos científicos y técnicos que me permitieron obtener el título de ingeniera civil.
Área de Mecánica de Suelos	Por brindarme su apoyo en la realización del presente trabajo de graduación.
Mi asesor	Ing. Omar Enrique Medrano, por brindarme sus conocimientos y ser una guía en la realización de mi trabajo de graduación.
Lic. Felipe Pérez	Por sus consejos a lo largo de estos años.
Mis amigos	Por su apoyo durante mi carrera, en especial a Raquel Recinos, por sus consejos y apoyo.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	VII
LISTA DE SÍMBOLOS	XIII
GLOSARIO.....	XV
RESUMEN	XVII
OBJETIVOS	XIX
INTRODUCCIÓN	XXI
1. RECICLADO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN EN LA ACTUALIDAD EN GUATEMALA.....	1
1.1. Generalización y composición de los residuos de construcción y demolición.....	1
1.2. Gestión de los residuos de construcción y demolición	2
1.3. Recuperación, reutilización y reciclado de los materiales de construcción.....	3
1.3.1. Material reutilizable.....	3
1.3.2. Materiales reciclables	4
1.4. Consideraciones medioambientales	4
1.5. Utilización frecuente de materiales reciclados	5
1.6. Empresas en la actualidad que utilizan el reciclaje de materiales	6
2. PROCEDIMIENTOS PARA LA OBTENCIÓN DE RECICLADO DEL CONCRETO Y BLOCK PÓMEZ.....	7
2.1. Limpieza preliminar y reducción del tamaño	7
2.2. Triturado primario	9

2.3.	Separación manual	9
3.	PRUEBAS REALIZADAS DE LABORATORIO PARA MATERIALES EN CARPETAS ASFÁLTICAS, BASES Y SUBBASES	11
3.1.	Ensayo para carpetas asfálticas de grava	13
3.1.1.	Análisis granulométrico – método mecánico (AASHTO T-27 y AASHTO T-11).....	13
3.1.2.	Desgaste de los ángeles (ASTM C-131).....	14
3.1.3.	Peso específico (ASTM C-127).....	15
3.1.4.	Peso unitario suelto (ASTM C-29).....	16
3.1.5.	Peso unitario compacto (ASTM C-29).....	16
3.2.	Ensayo carpeta asfáltica de concreto reciclado	16
3.2.1.	Análisis granulométrico – método mecánico (AASHTO T-27 y AASHTO T-11)	17
3.2.2.	Peso específico (ASTM C-127).....	18
3.2.3.	Peso unitario suelto (ASTM C-29).....	19
3.2.4.	Peso unitario compacto (ASTM C-29).....	19
3.3.	Ensayo de subbase y base de grava o piedras trituradas	19
3.3.1.	Equivalente de arena (AASHTO T-176).....	20
3.3.2.	Valor soporte california CBR (AASHTO T-193).....	21
3.3.3.	Desgaste de los ángeles (ASTM C-131).....	23
3.3.4.	Análisis granulométrico – método mecánico (AASHTO T-27 y AASHTO T-11)	23
3.3.5.	Índice de plasticidad (AASHTO T- 90)	24
3.3.6.	Límite líquido (AASHTO T- 89)	24
3.4.	Ensayo de subbase y base de block pómez triturados	25
3.4.1.	Equivalente de arena (AASHTO T-176).....	25
3.4.2.	Valor soporte california CBR (AASHTO T-193).....	26
3.4.3.	Desgaste de los ángeles (ASTM C-131).....	26

3.4.4.	Análisis granulométrico – método mecánico (AASHTO T-27 y AASHTO T-11).....	27
3.4.5.	Índice de plasticidad (AASHTO T-90)	27
3.4.6.	Límite líquido (AASHTO T-89).....	27
4.	RESULTADOS DE LOS ENSAYOS REALIZADOS.....	29
4.1.	Resultados comparativos entre la grava y concreto reciclado, block pómez para carpetas asfálticas.....	29
4.1.1.	Análisis granulométrico para concreto reciclado (AASHTO T-27 y AASHTO T-11).....	29
4.1.2.	Análisis granulométrico para block pómez reciclado (AASHTO T-27 y AASHTO T-11).....	31
4.1.3.	Peso específico (ASTM C-127)	34
4.1.4.	Peso unitario suelto (ASTM C-29).....	37
4.1.5.	Peso unitario compactado (ASTM C-29)	38
4.2.	Resultado comparativos entre grava o piedra triturada y concreto reciclado para subbases	40
4.2.1.	Equivalente de arena (AASHTO T-176).....	40
4.2.2.	Valor soporte california CBR (AASHTO T-193).....	42
4.2.3.	Desgaste de los ángeles (ASTM C-131).....	50
4.2.4.	Análisis granulométrico (AASHTO T-27 Y AASHTO T-11).....	51
4.2.5.	Índice de plasticidad (AASHTO T- 90)	53
4.2.6.	Límite líquido (AASHTO T-89).....	55
4.3.	Resultados comparativos entre la grava o piedra trituradas y concreto reciclado para bases.....	55
4.3.1.	Equivalente de arena (AASHTO T-176).....	55
4.3.2.	Valor soporte california CBR (AASHTO T-193).....	57
4.3.3.	Desgaste de los ángeles (ASTM C-131).....	66

4.3.4.	Análisis granulométrico (AASHTO T-27 Y AASHTO T-11).....	66
4.3.5.	Índice de plasticidad (AASHTO T-90)	69
4.3.6.	Límite líquido (AASHTO T-89)	69
4.4.	Resultados comparativos entre la grava o piedra trituradas y block pómez para subbases.	70
4.4.1.	Equivalente de arena (AASHTO T-176).....	70
4.4.2.	Valor soporte california CBR (AASHTO T-193).....	72
4.4.3.	Desgaste de los ángeles (ASTM C-131).....	80
4.4.4.	Análisis granulométrico (AASHTO T-27 Y AASHTO T-11).....	81
4.4.5.	Índice de plasticidad (AASHTO T-90)	83
4.4.6.	Límite líquido (AASHTO T- 89).....	84
4.5.	Resultados comparativos entre la grava o piedras trituradas y block pómez reciclado para bases	84
4.5.1.	Equivalente de arena (AASHTO T-176).....	84
4.5.2.	Valor soporte california CBR (AASHTO T-193).....	86
4.5.3.	Desgaste de los ángeles (ASTM C-131).....	95
4.5.4.	Análisis granulométrico (AASHTO T-27 Y AASHTO T-11).....	95
4.5.5.	Índice de plasticidad (AASHTO T-90)	98
4.5.6.	Límite líquido (AASHTO T-89).....	98
4.6.	Resultados comparativos entre materiales no reciclados (selecto) y materiales reciclados (concreto y block pómez) para bases y subbases	99
4.6.1.	Análisis granulométrico para bases y subbases (AASHTO T-27 Y AASHTO T-11).....	99
4.6.2.	Valor soporte california CBR para subbases (AASHTO T-193)	102

4.6.3.	Valor soporte california CBR para bases (AASHTO T-193).....	107
4.6.4.	Límites de Atterberg para bases y subbases (AASHTO T-89 y T-90).....	111
5.	ANÁLISIS DE COSTOS	113
5.1.	Costo de la limpieza, trituración y preparación de concreto reciclado para carpetas asfálticas	113
5.2.	Costo de la limpieza, trituración y preparación de block pómez reciclado para subbases y bases	114
5.3.	Costo de la limpieza, trituración y preparación de concreto reciclado para bases y subbases	115
5.4.	Comparación entre costos de los materiales reciclados y materiales no reciclados para carpetas asfálticas bases y subbases.....	117
	CONCLUSIONES	119
	RECOMENDACIONES	121
	BIBLIOGRAFÍA	123
	ANEXOS.....	125

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Obtención del material a ensayar	8
2.	Trituración primaria	9
3.	Verificación manual del material.....	10
4.	Granulometría concreto reciclado	31
5.	Granulometría block pómez	33
6.	Realización ensayo, peso específico concreto reciclado.....	35
7.	Realización ensayo peso específico block pómez	36
8.	Realización ensayo equivalente de arena concreto reciclado.....	41
9.	Curva peso unitario seco versus humedad relativa	43
10.	Curva lectura del anillo versus penetración en pulgadas	47
11.	Gráfica de porcentaje CBR - porcentaje de compactación.....	48
12.	Realización ensayo proctor concreto reciclado	49
13.	Realización ensayo CBR concreto reciclado.....	49
14.	Realización ensayo desgaste de los ángeles	50
15.	Granulometría concreto reciclado	52
16.	Realización ensayo granulometría para concreto reciclado	53
17.	Muestra tipo de material concreto reciclado	54
18.	Equivalente de arena para concreto reciclado	56
19.	Curva peso unitario seco versus humedad relativa	59
20.	Curva lectura del anillo versus penetración en pulgadas	63
21.	Gráfica de porcentaje CBR - porcentaje de compactación.....	64
22.	Ensayo proctor concreto reciclado	65
23.	Ensayo CBR concreto reciclado.....	65

24.	Granulometría concreto reciclado.....	68
25.	Ensayo granulometría concreto reciclado	68
26.	Ensayo CBR concreto reciclado	71
27.	Curva peso unitario seco versus humedad relativa	73
28.	Curva lectura del anillo versus penetración en pulgadas	77
29.	Gráfica de porcentaje CBR – porcentaje de compactación	78
30.	Ensayo proctor block pómez reciclado	79
31.	Ensayo CBR block pómez reciclado.....	79
32.	Ensayo desgaste de los ángeles block pómez reciclado	80
33.	Granulometría block pómez reciclado	82
34.	Ensayo granulometría block pómez reciclado	83
35.	Ensayo equivalente de arena block pómez reciclado	85
36.	Curva peso unitario seco versus humedad relativa	88
37.	Curva lectura del anillo versus penetración en pulgadas	92
38.	Gráfica de porcentaje CBR - porcentaje de compactación	93
39.	Ensayo proctor para block pómez reciclado	94
40.	Ensayo CBR para block pómez reciclado	94
41.	Granulometría block pómez	97
42.	Ensayo granulometría para block pómez reciclado	97
43.	Muestra de block pómez reciclado	98
44.	Granulometría arena limosa con pómez	101
45.	Distribución granulométrica entre el block pómez y concreto versus la distribución óptima de material selecto	101
46.	Curva peso unitario seco versus humedad relativa	103
47.	Densidad seca-humedad relativa de material selecto versus block pómez y concreto reciclado.....	104
48.	Gráfica de porcentaje CBR - porcentaje de compactación	105
49.	Gráfica de porcentaje CBR - porcentaje de compactación material selecto versus block pómez y concreto reciclado.....	106

50.	Curva peso unitario seco versus humedad relativa	108
51.	Densidad seca-humedad relativa de material selecto versus block pómez y concreto reciclado	109
52.	Gráfica de porcentaje CBR – porcentaje de compactación.....	109
53.	Gráfica de porcentaje CBR - porcentaje de compactación material selecto versus block pómez y concreto reciclado	110
54.	Límites de Atterberg	111

TABLAS

I.	Requisitos de calidad del material pétreo para carpetas asfálticas de granulometría.....	15
II.	Peso específico de algunos suelos.....	18
III.	Análisis granulométrico por tamizado	30
IV.	Análisis granulométrico por tamizado	32
V.	Peso específico del suelo concreto reciclado.....	34
VI.	Peso específico del suelo block pómez	35
VII.	Peso unitario suelto concreto reciclado	37
VIII.	Peso unitario suelto block pómez	38
IX.	Peso unitario compactado concreto reciclado	39
X.	Peso unitario compactado block pómez	39
XI.	Datos para el ensayo de compactación	42
XII.	Cálculo de humedad actual	42
XIII.	Promedio peso unitario.....	43
XIV.	Peso unitario máximo-humedad óptima	43
XV.	Datos del ensayo de expansión para CBR	44
XVI.	Datos de carga-penetración para el ensayo CBR sumergido.....	45
XVII.	Determinación del porcentaje de compactación (% C).....	46

XVIII.	Determinación del porcentaje de CBR (% CBR)	48
XIX.	Análisis granulométrico por tamizado	51
XX.	Datos para el ensayo de compactación	57
XXI.	Cálculo de humedad actual	58
XXII.	Promedio peso unitario suelto	58
XXIII.	Peso unitario suelto máximo-humedad óptima.....	58
XXIV.	Datos del ensayo de expansión para CBR	60
XXV.	Datos de carga-penetración para el ensayo CBR sumergido	61
XXVI.	Determinación del porcentaje de compactación (% C)... ..	62
XXVII.	Determinación del porcentaje de CBR (% CBR)	64
XXVIII.	Análisis granulométrico por tamizado	67
XXIX.	Datos de ensayo de compactación	72
XXX.	Cálculo de humedad actual	72
XXXI.	Promedio peso unitario suelto	73
XXXII.	Peso unitario suelto máximo-humedad óptima.....	73
XXXIII.	Datos del ensayo de expansión para CBR	74
XXXIV.	Datos de carga-penetración para el ensayo CBR sumergido	75
XXXV.	Determinación del porcentaje de compactación (% C)... ..	76
XXXVI.	Determinación del porcentaje de CBR (% CBR)	78
XXXVII.	Análisis granulométrico por tamizado	81
XXXVIII.	Datos para el ensayo de compactación	86
XXXIX.	Cálculo de humedad actual	87
XL.	Promedio peso unitario suelto	87
XLI.	Peso unitario suelto máximo-humedad óptima.....	87
XLII.	Datos del ensayo de expansión para CBR	89
XLIII.	Datos de carga-penetración para el ensayo CBR sumergido	90

XLIV.	Determinación del porcentaje de compactación (% C).....	91
XLV.	Determinación del porcentaje de CBR (% CBR).....	93
XLVI.	Análisis granulométrico por tamizado	96
XLVII.	Análisis granulométrico por tamizado	100
XLVIII.	Datos para el ensayo de compactación	102
XLIX.	Promedio peso unitario suelto	102
L.	Peso unitario suelto máximo-humedad óptima	103
LI.	Datos para el ensayo de compactación	107
LII.	Promedio peso unitario suelto	107
LIII.	Peso unitario suelto máximo-humedad óptima	108
LIV.	Costo de la trituración y preparación del concreto reciclado	114
LV.	Costo de limpieza, trituración y preparación de block pómez reciclado para subbases y bases	115
LVI.	Costo de limpieza, trituración y preparación de block pómez y concreto reciclado para bases	116
LVII.	Comparación entre costos de los materiales reciclados y materiales no reciclados para carpetas asfálticas bases y subbases	117

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
C	Cohesión
cm	Centímetro
cm²	Centímetro cuadrado
cc	Centímetros cúbicos
°C	Grados centígrados
g	Gramo
Gs	Gravedad específica
kg	Kilogramo
kg/cm	Kilogramo por centímetro
kg/cm²	Kilogramo por centímetro cuadrado
kg/cm³	Kilogramo por centímetro cúbico
lb	Libra
L	Litro
m	Metro
m³	Metro cúbico
mm	Milímetros
No.	Número
pbh	Peso bruto húmedo
pbs	Peso bruto seco
pnh	Peso neto húmedo
pns	Peso neto seco
puh	Peso unitario húmedo
pus	Peso unitario seco

Pulg	Pulgada
Pulg²	Pulgada cuadrada
Vol	Volumen
%	Porcentaje
%CBR	Porcentaje CBR
%C	Porcentaje de compactación
%H	Porcentaje de humedad

GLOSARIO

AASHTO	American Association of State Highway and Transportation Officials (Asociación Americana de Oficiales de Autopista Estatal y Transportación)
ASTM	American Society for Testing and Materials (Sociedad Americana para pruebas y materiales).
Agregado	Material inerte que unido con un aglomerante en una masa conglomerada, forma concreto o mortero. Estos se dividen según su tamaño en finos y gruesos, el límite es el tamiz de 4,75 milímetros de abertura.
Abrasión	Acción mecánica de rozamiento y desgaste que provoca la erosión de un material.
Almadana	Herramienta que consta de una cabeza metálica, puesta en el extremo de un mango de madera.
CBR	California Bearing Ratio.
Matraz	Recipiente de cristal donde se mezclan soluciones químicas, generalmente de forma esférica y con un cuello recto y estrecho.

Permeabilidad	Capacidad que tiene un material de permitir que un líquido lo atraviese sin alterar su estructura interna.
Tamiz	Malla de filamentos que se entrecruzan formando agujeros cuadrados del mismo tamaño.
Tara	Recipiente donde se contiene o transporta material.

RESUMEN

Los escombros de la construcción son residuos que pueden ser reciclados y reutilizados en la elaboración de elementos constructivos. En esta investigación se presenta el desempeño del concreto y block pómez obtenidos en el Área de Prefabricados de la Facultad de Ingeniería. En el caso del concreto se utilizó cilindros de prueba y block pómez; estos fueron triturados hasta convertirlos en agregado grueso. Se realizó la caracterización de los mismos en el Laboratorio de Mecánica de Suelos, asimismo la evaluación de las propiedades físicas y mecánicas, de acuerdo a las especificaciones de las Normas ASTM y AASHTO, para establecer su cumplimiento.

Para verificar la resistencia del concreto y el block pómez reciclados se realizaron ensayos de laboratorio, los cuales fueron hechos de acuerdo a las *Especificaciones generales para la construcción de carreteras y puentes*; los resultados experimentales mostraron que el comportamiento de los materiales reciclados, en algunos casos, sí llenan los requisitos, pero en los ensayos más importantes se puede decir, que no es recomendable la utilización de los materiales reciclados mencionados.

OBJETIVOS

General

Reciclar desechos de concreto y block pómez, verificando las características físicas y propiedades mecánicas, proveniente de los ensayos realizados en laboratorio para ser utilizados como agregado grueso.

Específicos

1. Evaluar las propiedades físicas que caracterizan al concreto y block pómez.
2. Determinar el rango efectivo de tamaño de partículas de material reciclado, para obtener el óptimo comportamiento en su utilización para carpetas asfálticas, bases y subbases.
3. Evaluar mediante ensayos de laboratorio específico por Normas ASTM y AASHTO, el comportamiento físico-mecánico del concreto y block pómez y su posible utilización en carpetas asfálticas, bases y subbases.
4. Analizar resultados de los ensayos para determinar el cumplimiento de los parámetros establecidos en las *Especificaciones generales para construcción de carreteras y puentes*, para la utilización de materiales de construcción para carpetas asfálticas; bases y subbases.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad se han retomado los conceptos de medio ambiente en la ingeniería, siendo esto de mayor importancia, afectando directamente a la industria de la construcción; cada día son más escasos los recursos naturales primarios a extraer, la cuantificación del volumen de producción y composición de residuos de demolición y construcción se enfrenta al problema de la falta de datos estadísticos viables en el país.

En esto radica la necesidad e importancia de tener que introducir en la industrial algunos cambios que ayuden a la conservación y mejoramiento del entorno, esta propuesta de materiales reciclados para carpetas asfálticas, bases y subbases en carreteras nace por la necesidad de comprobar nuevas alternativas en el diseño de carreteras que cumplan con los requisitos actuales de un país con necesidades de un mejor medio ambiente.

Para cumplir con los normativos que se requiere para la utilización de materiales para carreteras actualmente en Guatemala se pretende realizar una serie de ensayos verificando si cumplen con los parámetros establecidos.

1. RECICLADO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN EN LA ACTUALIDAD EN GUATEMALA

En la actualidad, en Guatemala los conceptos de ecología y medio ambiente están adquiriendo mayor importancia, esto es debido a que afecta directamente a la industria de la construcción, porque el tipo de actividades que se involucran pueden tener consecuencias perjudiciales e incluso irreversibles sobre el medio ambiente.

Una tendencia en la construcción, actualmente es el reciclaje de residuos de construcción y demolición; los principales componentes a utilizar para esta investigación son el concreto reciclado de cilindros de pruebas y block pómez utilizados en el Centro de Investigación de Ingeniería.

1.1. Generalización y composición de los residuos de construcción y demolición

La cuantificación del volumen de producción y composición de los residuos de construcción y demolición, todavía enfrenta al problema de la falta de datos o estadísticas viables en el país.

Por otra parte, existen diversos factores que influyen claramente en el volumen y composición de los residuos de construcción generados en un determinado momento, entre ellos cabe destacar los siguientes tipos de composiciones de los residuos de construcción y demolición:

- Tipos de actividades que origina los residuos: construcción, demolición o reparación.
- Tipo de construcción que genera los residuos: edificios residenciales, industrias, carreteras, obras hidráulicas, entre otros.
- Edad de edificios o infraestructura: que determina los tipos y calidad de los materiales obtenidos en los casos de demolición o reparación.

En Guatemala, la mayor parte de material reciclado corresponde a hormigón, fábricas de ladrillos, bloques de mampostería, asimismo, como obras de demolición algunas viviendas antiguas, edificios industriales y ciertas estructuras ligadas a las obras civiles.

1.2. Gestión de los residuos de construcción y demolición

La gestión de los residuos presentan en la actualidad un panorama muy diverso en función del ámbito geográfico que se trate.

En general, en el país ya existe mayor preocupación por el planteamiento estratégico de los temas medioambientales y aquellos en los que algunas de las materias primas utilizadas en el sector de la construcción, se están adoptando nuevas posibilidades de reutilización, reciclado y generación de materiales secundarios.

En cuanto al proceso de demolición, la práctica más habitual en el país es su transporte y vertido en un lugar lo más próximo posible al de origen de los residuos.

En lo que se refiere a las tierras de excavación, es mucho más habitual su empleo como material de relleno en la misma obra o en otras cercanas, o en su

defecto, destinarlas a vertederos donde son utilizadas como materiales para las cubiertas temporales. Tanto en un caso como en el otro, los costos de eliminación suelen ser nulos o insignificantes.

Alrededor del mundo, actualmente se está utilizando los trozos más pequeños de concreto como subbase para nuevos proyectos de construcción en carreteras; los trozos más grandes de concreto pueden crear muros de contención económicos o bien para gaviones.

1.3. Recuperación, reutilización y reciclado de los materiales de construcción

Dentro de la recuperación de los materiales factibles de reciclar son los que provienen de demoliciones y desechos de la industria de la construcción (edificaciones, excavaciones, vialidades, urbanizaciones, caminos, etc.).

Es importante recalcar el cuidado que se debe tener de no contaminar los productos a reciclar en el momento de su recuperación, ya que para poder llevar a cabo esta actividad, estos deberán entregarse libres de materiales tales como: basura, papel, madera, plástico, textiles y materiales tóxicos como la pintura.

1.3.1. Material reutilizable

Constituidos, fundamentalmente por piezas de acero estructural, elementos de madera de calidad y recuperados en buen estado, piezas de fábricas (ladrillo, block pómez). En ciertos casos, la mezcla de residuos de demolición no seleccionados, pero libres de impurezas, puede ser directamente

utilizada como materiales de relleno, subbases de carreteras o pavimentos en vías temporáneos.

1.3.2. Materiales reciclables

Constituidos, fundamentalmente, por metales (ferrosos y no ferrosos), plásticos y vidrio. Estas fracciones, en la medida que pueden recuperarse libres de impurezas, son susceptibles de incorporarse al mercado del reciclado para dar lugar a los mismos o similares productos que originaron el residuo.

1.4. Consideraciones medioambientales

Aparte de las ya conocidas repercusiones ambientales asociadas a los trabajos de construcción y demolición (producción de ruidos y vibraciones; polvos, contaminación atmosférica, interferencias en el tránsito rodado o peatonal, etc.), conviene recordar aquí otros aspectos ligados al transporte, depósito, tratamiento y eliminación de los residuos de construcción.

A este respecto, el transporte de residuos presenta efectos similares a los de cualquier otro transporte pesado, como la contaminación del aire por los gases de escape, la producción de ruido y vibraciones, el consumo de recursos energéticos y sus efectos derivados, entre otros.

La recuperación y reciclado de los residuos tiene repercusiones beneficiosas en cuanto a disminuir los impactos ambientales asociados al transporte, debido básicamente a las reducciones de las cantidades de materiales a eliminar en lugares de vertido más distantes y de las cantidades de materiales vírgenes que son sustituidos por los recuperados.

El vertido controlado puede causar impactos positivos, siempre y cuando se realice con la finalidad de recuperar zonas degradadas o como materiales de cubiertas en vertederos o similares.

No obstante, el vertido de residuos de materiales puede también causar impactos negativos si se realiza de forma incontrolada o en zonas de alto valor ecológico y económico, asimismo, como problemas de inestabilidad geotécnica frecuentes en lugares de vertido.

Finalmente, son dignos de mención, los posibles impactos sobre la salud causados por el inadecuado manejo y protección frente a componentes peligrosos que pueden existir en los residuos de los materiales, (particularmente en algunos de demolición).

1.5. Utilización frecuente de materiales reciclados

El empleo de materiales reciclados en Guatemala es una aplicación relativamente nueva, esta se origina por la necesidad de obtener nuevos materiales para la conservación de la materia prima, además, el objetivo principal de los materiales reciclados es su empleo en la reconstrucción y construcción de obras civiles.

Actualmente se tiene conocimiento de que la empresa PADEGUA se dedica al reciclaje de pavimento; la empresa recicla de dos formas: la primera se realiza por medio del perfilado existente, este se extrae y se reproduce en la planta para producir mezclas asfálticas; el segundo es el de triturar el pavimento existente e incorporar este a la base de la carretera el material, si es necesario se incorporan agentes estabilizadores como cemento o emulsión.

El punto más importante lo constituye la correcta utilización, proceso de aplicación y su uso particular, así como la circunstancias como la no existencia de agregados naturales suficientes o el mal uso de los residuos y la acumulación de estos.

El reciclaje de los materiales de construcción posee importantes atractivos, y la gran ventaja es que soluciona paralelamente la eliminación de materiales de residuo, y ayuda a la conservación y mejoramiento del entorno.

1.6. Empresas en la actualidad que utilizan el reciclaje de materiales

En la actualidad, no existen empresas que se dedican al reciclaje en el país, únicamente en la utilización en suelos cemento, pero la aplicación es *in situ*, aunque la calidad de los materiales debe cumplir las mismas disposiciones que los materiales no reciclados.

2. PROCEDIMIENTOS PARA LA OBTENCIÓN DE RECICLADO DEL CONCRETO Y BLOCK PÓMEZ

Actualmente de acuerdo con las *Especificaciones generales para construcción de carreteras y puentes*, disposición 201.03 retiro de estructuras existentes, los retiros de edificios o casas deberá incluir cimientos equipos, retiro de pavimentos, aceras; estas deberán de ser utilizados en la construcción de rellenos o bien disponer de ellos según lo dispuesto por el delegado residente a cargo. Cuando se usen en la construcción de rellenos, el tamaño máximo de cualquier fragmento no debe exceder el 2/3 del espesor de la capa en la que se vaya a colocar.¹

2.1. Limpieza preliminar y reducción del tamaño

Es necesario reducir el tamaño si los trozos de concreto son demasiado grandes para que puedan ser más sencillos ensayarlos, esto se logra reducir por medio de una almádana de 10 libras y una placa de metal en la base del suelo para romper los cilindros de forma manual. Los escombros están compuestos, en su mayor parte, por trozos de concreto con incrustaciones de varillas de refuerzo o de malla de alambre. En la etapa de limpieza preliminar se separa cualquier material que produzca alteración al ensayo como material con pintura, varillas de refuerzo, basura, entre otros.

En caso del block pómez, la trituración de este deberá ser como lo indican las *Especificaciones generales para construcción de carreteras y puentes*, disposición 305.1 inciso c, tipos de graduación para materiales de subbases o

¹ *Especificaciones generales para construcción de carreteras y puentes, 2001. p. 201.*

bases de grava o piedra triturada que el porcentaje que pasa el tamiz 0,075 milímetros (No. 200), deberá ser menor que la mitad del porcentaje que pasa por el Tamiz 0,425 milímetros (No. 40).

Previamente se deberá extraer todo contaminante como la capa de materia orgánica, basura, arcilla y sustancias que puedan contaminar el material producido.

En las figuras 1 y 2 se puede apreciar la forma en que originalmente se encontraba el material a ser ensayado.

Figura 1. Obtención del material a ensayar



Fuente: Área de Prefabricados. CII/USAC.

2.2. Triturado primario

Después de las operaciones de limpieza preliminar se reduce al tamaño necesario para realizar los ensayos y se revisa que no se encuentre ningún contaminante dentro del concreto y el block pómez, para evitar tipo de alteración química en los resultados de los ensayos.

Figura 2. Trituración primaria



Fuente: Área de Prefabricados. FIUSAC.

2.3. Separación manual

De acuerdo a las *Especificaciones generales para construcción de carreteras y puentes*, disposición 305.3 inciso d, partículas planas o alargadas, en caso del block pómez indica que no más del 20 por ciento del material retenido en el tamiz 4,75 milímetros (No. 4), puede ser partículas planas o

alargadas, con una longitud mayor de cinco veces el espesor promedio de dichas partículas, y el inciso e, hace mención de sustancias que pueden estar incorporadas como terrones de arcilla que pueden causar fallas en el pavimento, es por tanto, que se necesita hacer una inspección manual para evitar que se cumplan con ambas disposiciones y así no tener un problema posterior.

Figura 3. **Verificación manual del material**



Fuente: Área de Mecánica de Suelos. FIUSAC.

3. PRUEBAS REALIZADAS DE LABORATORIO PARA MATERIALES EN CARPETAS ASFÁLTICAS, BASES Y SUBBASES

Las *Especificaciones generales para la construcción de carreteras y puentes*, sección 305, capa de subbase y base de grava o piedra triturada, establece las siguientes especificaciones y requisitos para materiales de subbases en Guatemala.

El material de subbase de piedra o grava triturada, debe consistir en un material que cumpla con los siguientes requisitos:

- Valor soporte california

Debe tener un CBR determinado por el método AASHTO T- 193, mínimo de 50, efectuado sobre muestra saturada, a 95 por ciento de compactación y un hinchamiento máximo de 0,5 por ciento.

- Abrasión

Debe tener un porcentaje de abrasión menor de 50, esta propiedad es determinada por el método AASHTO T- 96.

- Partículas planas o alargadas

No más del 20 por ciento en peso del material retenido en el tamiz 4,75 mm (No. 4), pueden ser partículas planas o alargadas, con una longitud mayor de 5 veces el espeso promedio de las partículas.

- Impurezas

El material de subbases, debe estar exento de materias vegetales, basura, terrones de arcilla o sustancias que incorporadas dentro de la capa de subbases pueden causar fallas en el pavimento.

- Plasticidad y cohesión

El material no debe poseer un índice de plasticidad mayor de 6, ni un límite líquido mayor de 25, determinados por los métodos AASHTO T-90 y AASHTO T-89 respectivamente.

- Graduación

El material para capa de subbases debe llenar los requisitos de graduación determinada por los métodos AASHTO T-27 y AASHTO T-11, para el tipo que se indique en las disposiciones especiales según la tabla I.

3.1. Ensayo para carpetas asfálticas de grava

La carpeta asfáltica es la capa superior de un pavimento flexible que proporciona superficie de rodamiento para los vehículos y que se elabora con materiales pétreos y productos asfálticos. Los materiales pétreos para construir carpetas asfálticas con suelos inertes, provenientes de ríos o arroyos de depósitos naturales denominados minas o de rocas, los cuales, por lo general, requiere cribado y triturado para utilizarse. Las características más importantes que deben tener a satisfacción los materiales pétreos para carpetas asfálticas son granulometría, dureza, forma de la partícula y adherencia con el asfalto.

3.1.1. Análisis granulométrico – método mecánico (AASHTO T-27 y AASHTO T-11)

La granulometría consiste en un análisis de separación, para conocer los porcentajes de granos de cada tamaño. El agregado debe tener una graduación dada de acuerdo con su tamaño máximo y dentro de los límites fijados por las *Especificaciones generales para construcción de carreteras y puentes*.

Para determinar los distintos tamaños de granos se utiliza el tamiz, este es un instrumento compuesto de una malla con un espaciamiento uniforme, el cual se le conoce como abertura, en la cual se hace pasar la muestra de suelo.

Para realizar el ensayo se debe emplear una serie de tamices normalizados con una abertura decreciente, en la cual se deja pasar una determinada cantidad de suelo seco, el suelo se queda retenido en los distintos tamices que tengan un tamaño igual o superior a la abertura del tamiz.

Una vez realizado el tamizado, se procede a tomar el peso de la cantidad de suelo retenida en cada uno de los tamices, el cual ayuda a construir una gráfica de carácter semilogarítmica, donde se representa el porcentaje en peso de una muestra retenida o que pasa por cada abertura de los tamices.

3.1.2. Desgaste de los ángeles (ASTM C-131)

Este procedimiento se realiza en agregado grueso para partículas que no sobrepasan 1 ½ pulgadas de tamaño, para la resistencia a la abrasión con efectos de impacto y fricción, utilizando la máquina de los ángeles, que debido a la rotación del tambor de dicha máquina provoca que el material y las esferas se impacten, ocasionando fracturas que hacen disminuir el tamaño de las partículas.

Esta prueba ha sido ampliamente usada como un indicador de la calidad relativa o competencia de varios tipos de agregados que tienen composición mineral similar. Los resultados no permiten validar automáticamente la comparación para ser usadas indistintamente entre agregados de diferente origen, composición o estructura.

El ensayo de abrasión dependerá directamente de la granulometría, y esta obedecerá la intensidad de tránsito, teniendo en consideración esto, existen máximos permitidos los cuales se muestran en la tabla I

Tabla I. **Requisitos de calidad del material pétreo para carpetas asfálticas de granulometría**

Características	Valor
Desgaste de los ángeles; % máximo. (granulometría densa)	35
Desgaste de los ángeles; % máximo. (granulometría semiabierta)	30
Desgaste de los ángeles; % máximo. (granulometría abierta)	30

Fuente: características de los materiales.

<http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/3334/20/34065-20.pdf>. Consulta: 15 de junio de 2013.

3.1.3. Peso específico (ASTM C-127)

La densidad o masa específica de un cuerpo homogéneo es la masa por unidad de volumen de ese cuerpo. Si en lugar de tomar la masa de un cuerpo se toma su peso, se tiene lo que se conoce como peso específico.

Peso específico aparente relativo es la relación entre el peso de un volumen aparente de un cuerpo y el peso de otro volumen aparente de otro cuerpo tomado como comparación, a igual intensidad de la gravedad y en las mismas condiciones de temperatura y presión. Consiste en medir el desplazamiento del agua, producido por un peso conocido de agregado en condición saturada y de superficie seca; se usa para este objeto una probeta calibrada.

Se determina el peso específico de los áridos por dos razones: para permitir el cálculo de los vacíos de las mezclas asfálticas compactadas; y, para corregir las cantidades de áridos empleados en una mezcla para pavimentación cuando su peso específico.

3.1.4. Peso unitario suelto (ASTM C-29)

Esta norma es aplicada en agregados de tamaño menor a 6 pulgadas (150 milímetros), para la masa unitaria de agregados finos, gruesos y mixtos. La masa unitaria es la relación entre la masa del material y un volumen ocupado por el mismo expresado en kilogramo sobre metro cúbico. La masa unitaria apisonada o compactada se usa para conocer el volumen del material apilado. En ambos casos, esta masa se debe obtener con material en estado seco, para fines de comparación.

3.1.5. Peso unitario compacto (ASTM C-29)

Esta norma es aplicada en agregados de tamaño menor a 6 pulgadas (150 milímetros), para la masa unitaria de agregados finos, gruesos y mixtos. La masa unitaria es la relación entre la masa del material y un volumen ocupado por el mismo expresado en kilogramo sobre metro cúbico. La masa unitaria suelta se utiliza para convertir de masa a volumen, así como para el diseño de mezclas de concreto.

3.2. Ensayo carpeta asfáltica de concreto reciclado

La carpeta asfáltica o superficie de rodadura es el área destinada a la circulación de vehículos. Tiene varias funciones, entre ellas están:

- Proteger la estructura principal del pavimento del agua y el desgaste producido por la circulación de vehículos.
- Proveer de una superficie segura y cómoda para el tránsito de vehículos por la carretera.
- Transmitir cargas a las capas inferiores del pavimento (base y subbase).

El asfalto, como cualquier otro material, debe tener la calidad en los materiales empleados en la construcción de la carretera. Para empleo de nuevos materiales como el concreto reciclado y block pómez deberá cumplir con las *Especificaciones generales para construcción de carreteras y puentes*, de la Dirección General de Caminos.

3.2.1. Análisis granulométrico – método mecánico (AASHTO T-27 y AASHTO T-11)

Los tamaños de las partículas de agregados y su dosificación en la mezcla asfáltica es necesaria para tener un control adecuado del tamaño, para asegurar buenas propiedades físicas y mecánicas.

Existen métodos para determinar las proporciones de los distintos tipos de agregados, la granulometría realizada para el concreto reciclado fue el tamizado vía seca. En el tamizado vía seca se colocan los tamices necesarios desde el de abertura más grande en la parte superior a la abertura más pequeña en la parte inferior, colocándose la muestra en el primero. Después se agitan los tamices conteniendo la muestra y se pesa el material retenido en cada uno de ellos para plotear la curva granulométrica.

3.2.2. Peso específico (ASTM C-127)

El peso específico es la relación entre el peso de un volumen dado de un material y el peso de un volumen igual de agua destilada, tomándose 20 grados centígrados como la temperatura normal.

Se determina el peso específico de los áridos por dos razones: para permitir el cálculo de los vacíos de las mezclas asfálticas compactadas; y, para corregir las cantidades de áridos empleados en una mezcla para pavimentación cuando su peso específico.

El peso específico se puede clasificar de la siguiente manera; (tabla II).

Tabla II. **Peso específico de algunos suelos**

Tipos de suelo	G_s
Arena	2,65 – 2,67
Arena limosa	2,67 – 2,70
Arcilla inorgánica	2,70 – 2,80
Yeso	2,60 – 2,75
Loes	2,65 – 2,73
Suelos con mica o hierro	2,75 – 3,00
Suelos orgánicos	Variable, puede ser inferior a 2,00

Fuente: BOWLES, Joseph E. Manual de Laboratorio de Suelos en Ingeniería Civil. p. 64.

3.2.3. Peso unitario suelto (ASTM C-29)

El peso unitario suelto es importante cuando se trata de manejo, transporte y almacenamiento de los agregados debido a que estos se hacen en estado suelto. Esta norma es aplicada en agregados de tamaño menor a 6 pulgadas (150 milímetros), para la masa unitaria de agregados finos, gruesos y mixtos.

3.2.4. Peso unitario compacto (ASTM C-29)

El peso unitario compacto es importante desde el punto de vista diseño de mezclas ya, que con él se determina el volumen absoluto de los agregados por cuanto estos van a estar sometidos a una compactación durante el proceso de colocación en la carpeta asfáltica. Este valor se usará para el conocimiento de volúmenes de materiales apilados y que estén sujetos a acomodamiento o asentamiento provocados por él, tránsito sobre ellos o por la acción del tiempo. También el valor del peso unitario compactado es de una utilidad extraordinaria para el cálculo de por ciento de vacíos de los materiales.

3.3. Ensayo de subbase y base de grava o piedras trituradas

Esto consiste en la obtención y explotación de canteras y bancos; la trituración de la piedra o grava, combinándolas con material de relleno para formar un agregado clasificado; el apilamiento y almacenamiento, transporte, colocación, tendido, mezcla, humedecimiento, conformación y compactación del material de subbase o base triturada; la regulación del tránsito; así como el control de laboratorio de todas las operaciones necesarias para construir la subbase o base triturada en un o varias capas.

- Subbase de grava o piedra triturada

Es la capa formada por la combinación de piedras o grava, trituradas, combinadas con material de relleno, para constituir una subbase integrante de un pavimento, la cual está destinada fundamentalmente a soportar, transmitir y distribuir con uniformidad, el efecto de las cargas de tránsito provenientes de las capas superiores del pavimento, de tal manera que el suelo de sub-rasante las pueda soportar.

- Base de grava o piedra triturada

Es la capa formada por la combinación de piedra o grava trituradas, combinadas con material de relleno, para constituir una base integrante de un pavimento destinada fundamentalmente a distribuir y transmitir las cargas originadas por el tránsito a las capas subyacentes.

3.3.1. Equivalente de arena (AASHTO T-176)

El ensayo de equivalente de arena indica la proporción entre los elementos granulares y arcillosos de un árido. Es particularmente útil para analizar áridos que contienen alto contenido de tamaños inferior a 0,080 milímetros.

La norma indica, bajo condiciones estándares, las proporciones relativas de la arcilla, finos, plásticos y polvo presente en suelos granulares y agregados finos que pasen el tamiz No. 4 (4,75 milímetros).

De acuerdo a las *Especificaciones generales para construcción de carreteras y puentes*, el equivalente de arena no debe ser menor de 30 tanto para subbase como para la base.

La importancia del equivalente de arena es que al tener una cimentación correcta para una carpeta asfáltica se necesita la menor cantidad de finos posible, sobre todo de arcillas, que son los materiales que en contacto con el agua causan un gran daño al pavimento, pues es necesario saber si la cantidad de finos que contienen los materiales que serán utilizados en la estructura del pavimento es la adecuada, por tal motivo se hizo necesario el plantear una manera fácil y rápida que arroje dichos resultados; sobre todo cuando se detectarán los bancos de materiales.

Se pretende que este ensayo rápido de campo sirva para investigar la presencia de materiales finos o de apariencia arcillosa, que sean perjudiciales para los suelos y para los agregados pétreos tanto para la subbase, base triturada o carpeta asfáltica.

3.3.2. Valor soporte california CBR (AASHTO T-193)

Debe tener un CBR mínimo de 50 para la subbase y de 90 para la base, efectuado sobre muestra saturada, a 95 por ciento de compactación determinada por el método AASHTO T-180 y un hinchamiento máximo de 0,5 por ciento en el ensayo efectuado según AASHTO T-193.

Para determinar el grado de compactación de un suelo, es necesario determinar la cantidad de agua con la cual se obtenga una excelente lubricación de las partículas o la mejor densidad posible, a esto se le conoce como peso unitario seco máximo, cuando se realiza el ensayo de compactación se debe

agregar una cantidad de agua necesaria para alcanzar dicha densidad, la cual se conoce como humedad óptima.

Si las partículas están secas, la fricción intergranular opone una resistencia mayor al desplazamiento. Si las partículas están saturadas de agua, es decir, con una humedad elevada, el agua llena los vacíos y separa las partículas del suelo.

Para medir el grado de compactación de un material o un relleno, se debe establecer la densidad seca del material. En la obtención de esta, se debe tener en cuenta los parámetros de la energía utilizada durante la compactación y también depende del contenido de humedad durante el mismo. Para obtener una buena compactación, será necesario controlar debidamente la cantidad de agua, porque si esta es muy poca, no existirá lubricación y no se podrá disminuir la fricción existente entre las partículas; en caso de que la humedad sea en exceso, las partículas podrán ser separadas por el agua.

Existen 2 diferentes variantes del ensayo de proctor; el proctor normal y el proctor modificado. La diferencia entre estos 2 métodos es únicamente la energía de compactación utilizada, siendo el proctor modificado 4,5 veces superior al proctor normal.

Para la realización del ensayo para subbase se realizó proctor normal y para la base proctor modificado debido a que la compactación no es más que el acomodo de las partículas de un suelo, que depende de la humedad que tenía el suelo al momento de compactar.

3.3.3. Desgaste de los ángeles (ASTM C-131)

La porción de agregado retenida en el tamiza 4,75 milímetros (No. 4), no debe tener un porcentaje de desgaste por abrasión determinado por el método AASHTO T-96, mayor a 50 a 500 revoluciones.

El ensayo de abrasión mide la resistencia al desgaste con efectos de impacto y fricción, utilizando la máquina de los ángeles, debido a la rotación del tambor de la máquina, provoca que el material y las esferas impacten, ocasionando fracturas que hacen disminuir el tamaño de las partículas. El resultado del ensayo indica el porcentaje en el cual se desgasta el material.

3.3.4. Análisis granulométrico – método mecánico (AASHTO T-27 y AASHTO T-11)

El material para la capa de subbase y base trituradas debe llenar los requisitos de graduación, determinada por el método AASHTO T-27 Y AASHTO T-11, para el tipo que se indique en las disposiciones especiales, en las *Especificaciones generales para construcción de carreteras y puentes*.

La curva granulométrica del material de subbase o base triturada debe de ser uniforme y de preferencia paralela a la curva de valores medidos en los tamices especificados, no aceptándose cambios bruscos entre dos tamices adyacentes.

El porcentaje que pasa el tamiz 0,075 milímetros (No. 200), debe ser menor que la mitad del porcentaje que pasa el tamiz 0,425 milímetros (No. 40).

El análisis granulométrico para bases y subbases triturada es de vital importancia como actividad preliminar para el diseño de carreteras, con el fin de desarrollar y encontrar un óptimo despeño del diseño de carreteras, dependiendo del tipo de carretera o vía para el que se va utilizar; arrojando como resultado la granulometría de un material, y lo más importante, si cumple con las especificaciones para bases y subbase trituradas especificadas con anterioridad.

3.3.5. Índice de plasticidad (AASHTO T- 90)

El material de subbase o base triturada, en el momento de ser colocado en la carretera, no debe tener en la fracción que pasa el tamiz 0.425 milímetros (No. 40), incluyendo el material de relleno, un índice de plasticidad, mayor de 6 para la subbase, ni mayor de 3 para la base. Cuando las disposiciones especiales de las *Especificaciones generales para construcción de carreteras y puentes*, el índice de plasticidad para la base puede ser más alto, pero en ningún caso mayor a 6.

3.3.6. Límite líquido (AASHTO T- 89)

El material de subbase o base triturada, en el momento de ser colocado en la carretera, no debe tener en la fracción que pasa el tamiz 0,425 milímetros (No. 40), incluyendo el material de relleno, ni un límite líquido, mayor de 25 tanto para la subbase como la base, terminada sobre muestra preparada en húmedo, AASHTO T-146.

3.4. Ensayo de subbase y base de block pómez triturados

Esto consiste en la obtención y explotación de canteras y bancos; la trituración o clasificación cuando sean necesarias, de piedras o grava, combinándolas con material de relleno para formar un agregado clasificado; el apilamiento y almacenamiento, transporte, colocación, tendido, mezcla, humedecimiento, conformación y compactación del material de subbase o base granular; así como el control de laboratorio de todas las operaciones necesarias para construir la subbase o base grava o piedra triturada en una o varias capas.

- Subbase de grava o piedra triturada

Es la capa formada por la combinación de piedras o grava, trituradas, combinadas con material de relleno, para constituir una subbase integrante de un pavimento, la cual está destinada fundamentalmente a soportar, transmitir y distribuir con uniformidad.

- Base de grava o piedra triturada

Es la capa formada por la combinación de piedra o grava trituradas, combinadas con material de relleno, para constituir una base integrante de un pavimento destinada fundamentalmente a distribuir y transmitir las cargas originadas por el tránsito a las capas subyacentes.

3.4.1. Equivalente de arena (AASHTO T-176)

De acuerdo a las *Especificaciones generales para construcción de carreteras y puentes*; El equivalente de arena no debe ser menor de 40 tanto para subbase como para base.

La importancia de el equivalente de arena es que al tener una cimentación correcta para una carpeta asfáltica se necesita la menor cantidad de finos posible, sobre todo de arcillas, que son los materiales que en contacto con el agua causan un gran daño al pavimento, pues es necesario saber si la cantidad de finos que contienen los materiales que serán utilizados en la estructura del pavimento es la adecuada, por tal motivo se hizo necesario el plantear una manera fácil y rápida que arroje dichos resultados; sobre todo cuando se detectarán los bancos de materiales.

Se pretende que este ensayo rápido de campo sirva para investigar la presencia de materiales finos o de apariencia arcillosa, que sean perjudiciales para los suelos y para los agregados pétreos tanto para la subbase, base triturada o carpeta asfáltica.

3.4.2. Valor soporte california CBR (AASHTO T-193)

Las *Especificaciones generales para construcción de carreteras y puentes*, indica que debe el CBR se determina por el método AASHTO T-193, mínimo de 50 para la subbase y de 90 para la base, efectuado sobre muestra saturada, a 95 por ciento de compactación determinada por el método AASHTO T-180 y un hinchamiento de 0,5 por ciento en el ensayo efectuado según AASHTO T-193.

3.4.3. Desgaste de los ángeles (ASTM C-131)

La porción del agregado retenida en el tamiz 4,75 milímetros (No. 4), no debe tener un porcentaje de desgaste por abrasión determinado por el método ASTM C-131, mayor de 50 a 500 revoluciones.

3.4.4. Análisis granulométrico – método mecánico (AASHTO T-27 y AASHTO T-11)

El material para la capa de subbase o base trituradas debe llenar los requisitos de graduación, determinada por el método AASHTO T-27 y AASHTO T-11.

El porcentaje que pasa el tamiz 0,075 milímetros (No. 200), debe ser menor que la mitad del porcentaje que pasa el Tamiz 0,425 milímetros (No. 40).

3.4.5. Índice de plasticidad (AASHTO T-90)

El material de la capa de subbase o base granular, en el momento de ser colocado en la carretera, no debe tener en la fracción que pasa el tamiz 0,425 milímetros (No. 40), incluyendo el material de relleno, un índice de plasticidad mayor de 6 para la subbase y la base.

3.4.6. Límite líquido (AASHTO T-89)

El material de la capa de subbase o base granular, en el momento de ser colocado en la carretera, no debe tener en la fracción que pasa el tamiz 0,425 milímetros (No. 40), incluyendo el material de relleno, un límite líquido mayor de 25 para la subbase y la base.

4. RESULTADOS DE LOS ENSAYOS REALIZADOS

4.1. Resultados comparativos entre la grava y concreto reciclado, block pómez para carpetas asfálticas

Se presentan los resultados del análisis granulométrico, para los materiales concreto reciclado y block pómez elaborados en el Área de Mecánica de Suelos, FIUSAC.

4.1.1. Análisis granulométrico para concreto reciclado (AASHTO T-27 y AASHTO T-11)

A continuación se presentan resultados para una granulometría sin lavado previo.

Peso bruto seco (PBS)	1 505,32 g
Tara	166,10 g
Peso neto seco (PNS)	1 339,22 g

Tabla III. **Análisis granulométrico por tamizado**

Estándar (mm)	Tamiz (N°.)	Peso bruto (g)	Tara (g)	Peso neto (g)	Porcentaje que pasa (%)
50,0	2"	294,58	166,16	128,42	100,00
38,1	1 ½"	430,37	166,16	264,21	90,41
25,0	1"	492,90	166,16	326,74	70,68
19,0	¾"	659,87	166,16	493,71	46,28
4,75	No. 4	230,82	166,16	64,66	9,42
2,00	No. 10	206,14	166,16	39,98	4,59
0,425	No. 40	179,39	166,16	13,23	1,61
0,075	No. 200				0,62

Fuente: elaboración propia, con base a resultados del ensayo.

Determinar los porcentajes de los materiales contenidos en la muestra.

$$\% \text{ grava} = 100 - \text{porcentaje que pasa No. 4}$$

$$\% \text{ grava} = 100 - 9,42 = 90,58 \%$$

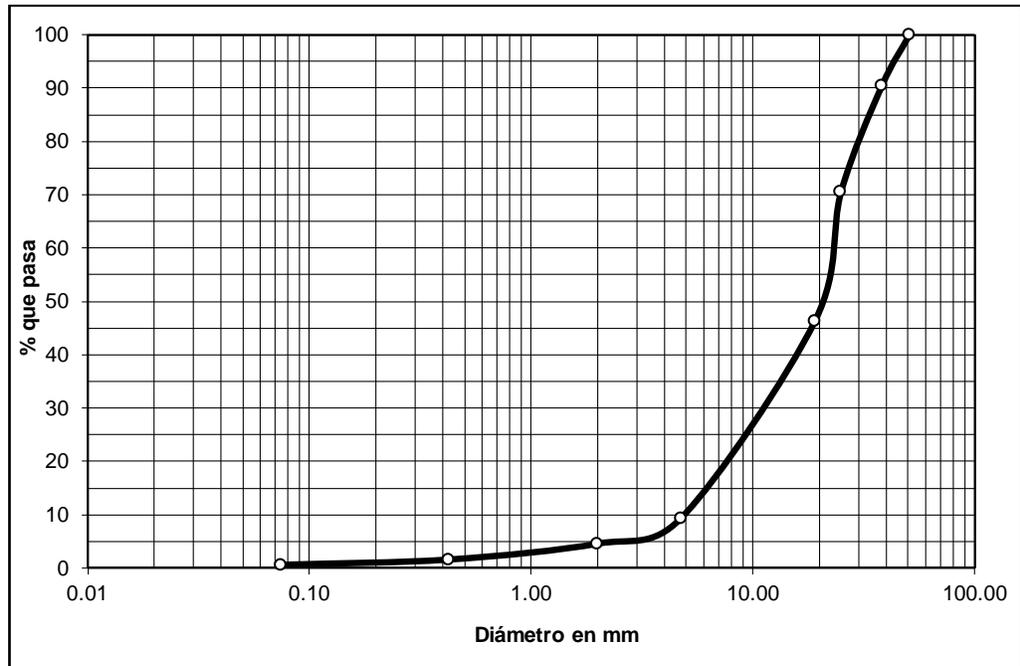
$$\% \text{ arena} = \text{porcentaje que pasa No. 4} - \text{porcentaje que pasa No. 200}$$

$$\% \text{ arena} = 9,42 - 0,62 = 8,8 \%$$

$$\% \text{ finos} = \text{porcentaje que pasa No. 200}$$

$$\% \text{ finos} = 0,62 \%$$

Figura 4. **Granulometría concreto reciclado**



Fuente: elaboración propia, con base a resultados del ensayo.

4.1.2. **Análisis granulométrico para block pómez reciclado (AASHTO T-27 y AASHTO T-11)**

A continuación se presentan resultados para una granulometría sin lavado previo.

Peso bruto beco (PBS)	1 500,90 g
Tara	132,70 g
Peso neto seco (PNS)	1 368,20 g

Tabla IV. **Análisis granulométrico por tamizado**

Estándar (mm)	Tamiz (No.)	Peso bruto (g)	Tara (g)	Peso neto (g)	Porcentaje que pasa (%)
50,0	2"	298,37	132,70	165,67	100,00
38,1	1 ½"	563,66	132,70	430,96	87,89
25,0	1"	249,77	132,70	117,07	56,39
19,0	¾"	393,66	132,70	260,96	47,89
4,75	No. 4	248,78	132,70	116,08	28,76
2,00	No. 10	223,64	132,70	90,94	20,28
0,425	No. 40	164,52	132,70	31,82	13,63
0,075	No. 200				11,31

Fuente: elaboración propia, con base a resultados del ensayo.

Determinar los porcentajes de los materiales contenidos en la muestra.

$$\% \text{ grava} = 100 - \text{porcentaje que pasa No. 4}$$

$$\% \text{ grava} = 100 - 28,76 = 71,24 \%$$

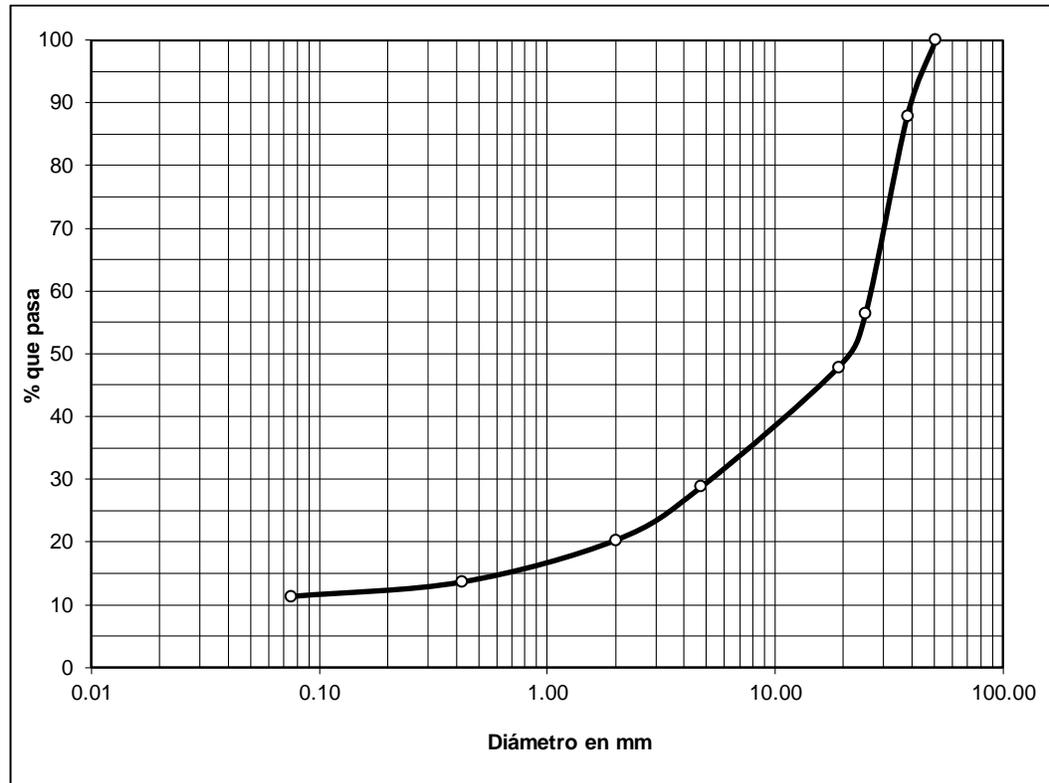
$$\% \text{ arena} = \text{porcentaje que pasa No. 4} - \text{porcentaje que pasa No. 200}$$

$$\% \text{ arena} = 28,76 - 11,31 = 17,46 \%$$

$$\% \text{ finos} = \text{porcentaje que pasa No. 200}$$

$$\% \text{ finos} = 11,31 \%$$

Figura 5. Granulometría block pómez



Fuente: elaboración propia, con base a resultados del ensayo.

Comentario final

Los resultados para el ensayo de concreto triturado y block pómez para carpetas asfálticas, ambos dan resultados menores a los requisitos pedidos por las *Especificaciones generales para construcción de carreteras y puentes*, sección 305.3 inciso e).

4.1.3. Peso específico (ASTM C-127)

Se presentan los resultados del peso específico, para los materiales concreto reciclado y block pómez elaborados en el Área de Mecánica de Suelos, FIUSAC.

Tabla V. **Peso específico del suelo concreto reciclado**

Identificación del matraz	A	B	C
Capacidad del matraz (nominal)	500 cm ³	500 cm ³	500 cm ³
Peso matraz limpio y seco ... W_m	159,67g	172,78 g	159,60 g
Peso matraz + suelo seco ... W_{ms}	270,49 g	272,87 g	258,79 g
Peso suelo seco ... W_s	110,82 g	100,09 g	99,19 g
Peso matraz+ suelo + agua ... W_{msw}	727,73 g	730,92 g	716,29 g
Peso matraz + agua ... W_{mw}	656,89 g	670,43 g	668,39 g
Temperatura del agua T	20 °C	20 °C	20 °C
$G_s = \frac{WS}{W_{mw} + W_s - W_{msw}}$	2,77	2,53	1,93
Promedio	2,41		

Fuente: elaboración propia, con base a resultados del ensayo.

$$\frac{1,93}{2,77} = 0,6967 \leq 1,02$$

Figura 6. **Realización ensayo, peso específico concreto reciclado**



Fuente: Área Mecánica de Suelos. FIUSAC.

Tabla VI. **Peso específico del suelo block pómez**

Identificación del matraz	A	B	C
Capacidad del matraz (nominal)	500 cm ³	500 cm ³	500 cm ³
Peso matraz limpio y seco ... W_m	172,46 g	160,61 g	170,60 g
Peso matraz + suelo seco ... W_{ms}	265,60 g	271,60 g	261,07 g
Peso suelo seco ... W_s	93,14 g	110,99 g	90,47 g
Peso matraz+ suelo + agua ... W_{msw}	726,80 g	728,79 g	716,08 g
Peso matraz + agua ... W_{mw}	668,07 g	670,61 g	658,12 g
Temperatura del agua T	20 °C	20 °C	20 °C
$G_s = \frac{W_s}{W_{mw} + W_s - W_{msw}}$	2,71	2,10	2,78
Promedio	3,80		

Fuente: elaboración propia, con base a resultados del ensayo.

$$\frac{2,10}{2,78} = 0,7553 \leq 1,02$$

Figura 7. **Realización ensayo peso específico block pómez**



Fuente: Área Mecánica de Suelos. FIUSAC.

Comentario final

Los resultados para el ensayo de concreto y block pómez para carpetas asfálticas; el concreto reciclado da como resultado 2,41 y, el block pómez da como resultado 3,80.

4.1.4. Peso unitario suelto (ASTM C-29)

Se presentan los resultados del peso unitario suelto, para los materiales concreto reciclado y block pómez elaborados en el Área de Mecánica de Suelos, FIUSAC.

Tabla VII. **Peso unitario suelto concreto reciclado**

Identificación del molde	A	B	C
Capacidad del molde (nominal)	9,10L	9,10 L	9,10 L
Peso molde limpio y seco	4,80 kg	4,80 kg	4,80 kg
Peso molde+ suelo seco	23,09 kg	23,69 kg	23,55 kg
Peso suelo seco	18,29 kg	18,89 kg	18,75 kg
PUS	2 009,89 kg/cm ³	2 075,82 kg/m ³	2 060,43 kg/cm ³
Promedio	2 048,71 kg/m ³		

Fuente: elaboración propia, con base a resultados del ensayo.

Tabla VIII. **Peso unitario suelto block pómez**

Identificación del molde	A	B	C
Capacidad del molde (nominal)	9,1 L	9,10 L	9,10 L
Peso molde limpio y seco	4,80 kg	4,80 kg	4,80 kg
Peso molde + suelo seco	20,99 kg	21,39 kg	20,98 kg
Peso suelo seco	16,19 kg	16,59 kg	16,180 kg
PUS	1 779,12 kg/m ³	1 823,07 kg/m ³	1 778,02 kg/m ³
Promedio	1 793,40 kg/m ³		

Fuente: elaboración propia, con base a resultados del ensayo.

4.1.5. Peso unitario compactado (ASTM C-29)

Se presentan los resultados del peso unitario compactado, para los materiales concreto reciclado y block pómez elaborados en el Área de Mecánica de Suelos, FIUSAC.

Tabla IX. **Peso unitario compactado concreto reciclado**

Identificación del molde	A	B	C
Capacidad del molde (nominal)	9,1 L	9,10 L	9,10 L
Peso molde limpio y seco	4,80 kg	4,80 kg	4,80 kg
Peso molde + suelo seco	20,48 kg	24,08 kg	23,94 kg
Peso suelo seco	15,68 kg	19,28 kg	19,14 kg
PUS	1 723,07 kg/m ³	2 118,68kg/m ³	2 103,29kg/m ³
Promedio	1 981,68 kg/m ³		

Fuente: elaboración propia, con base a resultados del ensayo.

Tabla X. **Peso unitario compactado block pómez**

Identificación del molde	A	B	C
Capacidad del molde (nominal)	9,1 L	9,10 L	9,10 L
Peso molde limpio y seco	4,80 kg	4,80 kg	4,80 kg
Peso matraz + suelo seco	22,38 kg	22,78 kg	22,37 kg
Peso suelo seco	17,58 kg	17,98 kg	17,57 kg
PUS	1 931,86kg/m ³	1 975,82 kg/m ³	1 930,76 kg/m ³
Promedio	1 946,14 kg/m ³		

Fuente: elaboración propia, con base a resultados del ensayo.

4.2. Resultado comparativos entre grava o piedra triturada y concreto reciclado para subbases

Se presentan los resultados del equivalente de arena, para el material concreto reciclado utilizado en subbases de carreteras elaborados en el Área de Mecánica de Suelos, FIUSAC.

4.2.1. Equivalente de arena (AASHTO T-176)

La toma de lecturas de 3 probetas da como resultado:

- Lectura 1 de arcilla = 4,4 plg, la suspensión de arcilla a los 20 minutos.
- Lectura 1 de arena = 4,0 plg, entre el fondo de la probeta y el extremo inferior del pie.
- Lectura 2 de arcilla = 4,3 plg, la suspensión de arcilla a los 20 minutos.
- Lectura 2 de arena = 4,1 plg, entre el fondo de la probeta y el extremo inferior del pie.
- Lectura 3 de arcilla = 4,8 plg, la suspensión de arcilla a los 20 minutos.
- Lectura 3 de arena = 4,5 plg, entre el fondo de la probeta y el extremo inferior del pie.

Se determina el equivalente de arena en porcentaje:

- $EA = \frac{4,0}{4,4} \times 100 = 90,9 \%$
- $EA = \frac{4,1}{4,3} \times 100 = 95,4 \%$

- $$EA = \frac{4,5}{4,8} \times 100 = 93,8 \% +$$

$$280,00 (1/3) = 93,4 \%$$

Figura 8. **Realización ensayo equivalente de arena concreto reciclado**



Fuente: Área Mecánica de Suelos. FIUSAC.

Comentario final

Los porcentajes aceptables de equivalente de arena, según las *Especificaciones generales para construcción de carreteras y puentes*, sección 305.03 inciso g) establece un porcentaje no menor a 40 para la subbase. De acuerdo al ensayo realizado al concreto reciclado se obtuvo un porcentaje de 93,4.

4.2.2. Valor soporte california CBR (AASHTO T-193)

Para la realización de este ensayo de compactación (proctor) y razón soporte california (CBR), con una muestra de con la siguiente descripción: concreto reciclado trituración manual.

Del ensayo de compactación (proctor) tipo d se determinaron los valores que se muestran en la tabla XI, XII, XIII y XIV.

Tabla XI. **Datos para el ensayo de compactación**

Peso martillo: 10 lb Capas: 5 Golpes por capa: 25	Peso unitario seco máximo	$PUS_{\text{máx}}: 107,00$ lb/pie^3
	Porcentaje de humedad óptima	$\%H_{\text{opt}}: 15,30 \%$

Fuente: elaboración propia, con base a resultados del ensayo.

Tabla XII. **Cálculo de humedad actual**

Humedad actual							
Tarro	pbh (g)	pbs (g)	tara (g)	dif (g)	pns (g)	% H	% H _{prom}
A-1	195,95	183,24	29,44	12,72	153,80	8,30	15,33
A-2	152,11	141,55	33,87	10,56	107,68	9,80	
A-3	177,91	160,36	33,98	17,55	126,39	14,20	
A-4	172,39	160,84	32,14	11,50	128,74	16,90	

Fuente: elaboración propia, con base a resultados del ensayo.

Tabla XIII. **Promedio peso unitario**

%H prom.	8,30	9,80	14,20	9,00
PUS (lb/pie³)	100,00	103,50	106,80	106,61

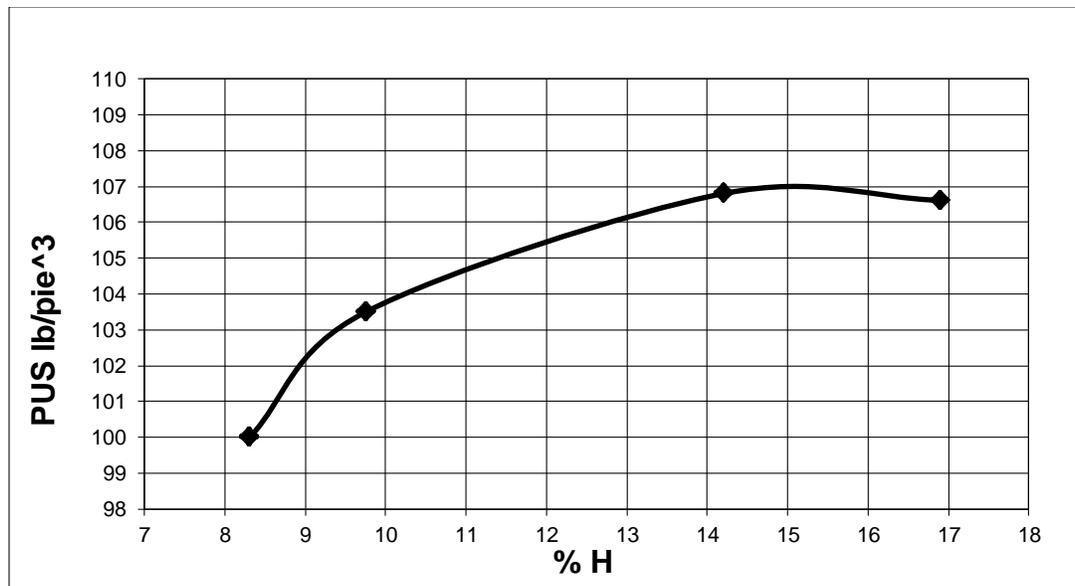
Fuente: elaboración propia, con base a resultados del ensayo.

Tabla XIV. **Peso unitario máximo-humedad óptima**

PUS máximo	1 712,14	kg/m ³
	107,00	lbs/pie ³
Humedad óptima	15,33	%

Fuente: elaboración propia, con base a resultados del ensayo.

Figura 9. **Curva peso unitario seco versus humedad relativa**



Fuente: elaboración propia, con base a resultados del ensayo.

Del ensayo de razón soporte california (CBR) se determinaron los siguientes valores. Cálculo de agua por agregar.

$$\text{Agua por agregar} = \frac{[(\text{Hopt } 15,30 \%) - (\text{Hact } 7,50 \%)] \times (15\,000,00 \text{ g})}{100 + (\text{Hact } 7,50 \%)}$$

$$= 1\,158,14 \text{ cc}$$

Cálculo de la expansión o hinchamiento. Tiempo de inmersión: 48 horas.

Tabla XV. **Datos del ensayo de expansión para CBR**

Para 65 golpes		
Inmersión y expansión		Sobrepesos 10 lb
Lectura dial	0,0000	6,5000
Expansión plgs.	0,0000	0,0065
Expansión %	0,0000	0,1413
Para 10 golpes		
Inmersión y expansión		Sobrepesos 10 lb
Lectura dial	0,0000	17,0000
Expansión plgs.	0,0000	0,0017
Expansión %	0,0000	0,3695

Fuente: elaboración propia, con base a resultados del ensayo.

Cálculo de penetración utilizando el anillo de 10 000 libras de capacidad.

Tabla XVI. **Datos de carga-penetración para el ensayo CBR sumergido**

Para 65 golpes						
Penetración pulgadas	0,025	0,050	0,075	0,100	0,200	0,300
Lectura dial del anillo	5,000	65,000	310,000	0,000	0,000	0,000
Carga lb	95,410	699,800	3 167,760	0,000	0,000	0,000
Para 10 golpes						
Penetración pulgadas	0,025	0,050	0,075	0,100	0,200	0,300
Lectura dial del anillo	3,000	8,000	15,000	25,000	89,000	146,000
Carga lb	75,260	125,630	196,140	296,870	941,560	1 515,740

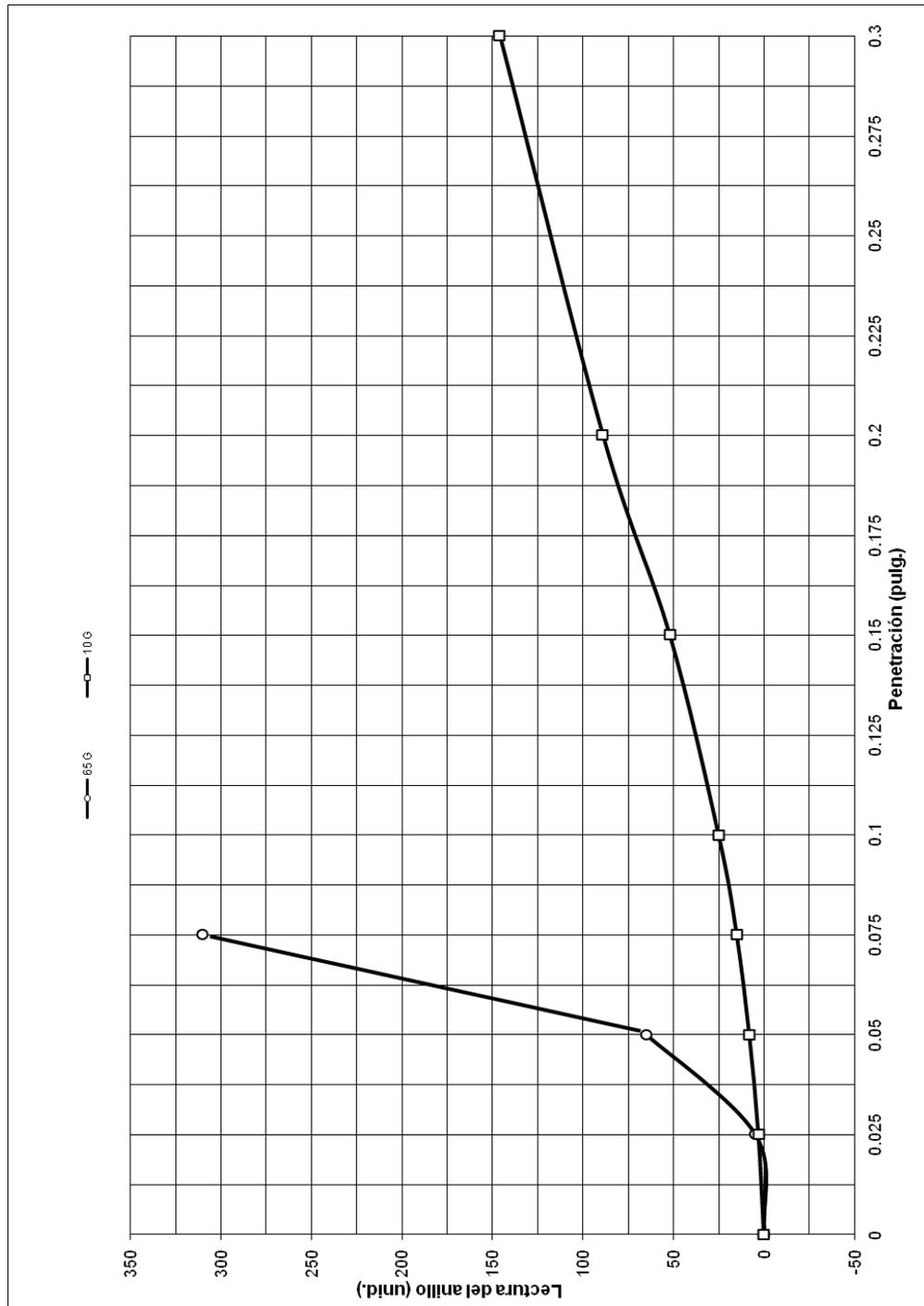
Fuente: elaboración propia, con base a resultados del ensayo.

Tabla XVII. **Determinación del porcentaje de compactación (% C)**

Para 65 golpes			
PBH	11,34 Kg	PUH	121,96 lb/pie ³
TARA	7,19 Kg	% H	16,50 %
PNH	4,15 Kg	PUS	104,70 lb/pie ³
VOL	1/13,33 pie ³	% C	97,84 %
Para 10 golpes			
PBH	10,72 Kg	PUH	104,72 lb/pie ³
TARA	7,16 Kg	% H	16,50 %
PNH	3,56 Kg	PUS	89,80 lb/pie ³
VOL	1/13,33 pie ³	% C	83,93 %

Fuente: elaboración propia, con base a resultados del ensayo.

Figura 10. **Curva lectura del anillo versus penetración en pulgadas**



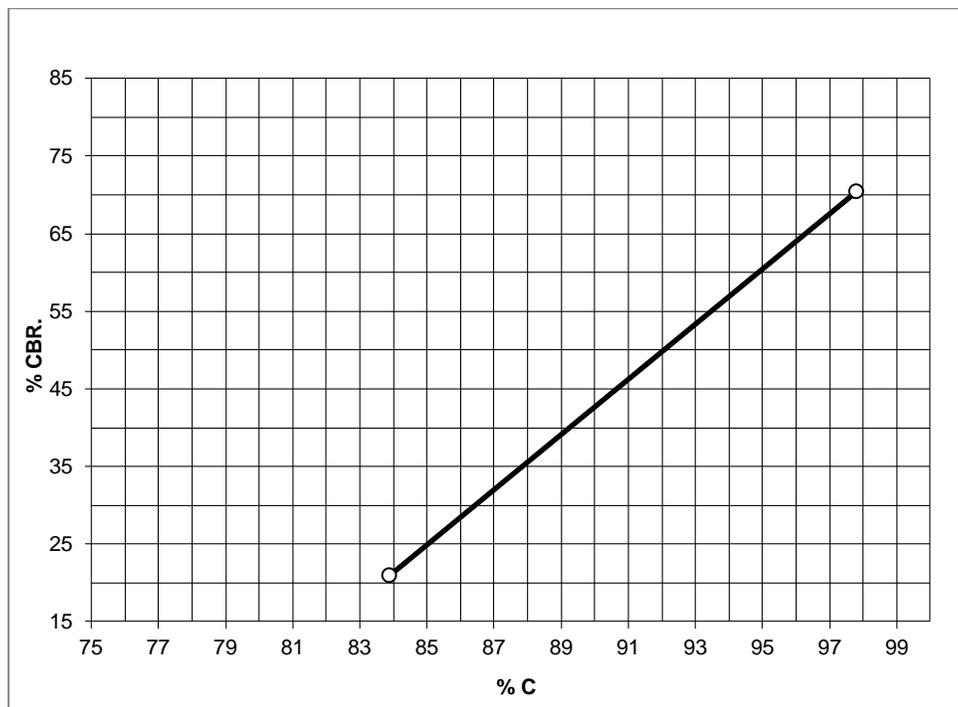
Fuente: elaboración propia, con base a resultados del ensayo.

Tabla XVIII. **Determinación del porcentaje de CBR (% CBR)**

% Compactación		% CBR	
10 golpes	83,90	10 golpes	20,90
65 golpes	97,80	65 golpes	70,40

Fuente: elaboración propia, con base a resultados del ensayo.

Figura 11. **Gráfica de porcentaje CBR - porcentaje de compactación**



Fuente: elaboración propia, con base a resultados del ensayo.

Figura 12. **Realización ensayo proctor concreto reciclado**



Fuente: Área Mecánica de Suelos. FIUSAC.

Figura 13. **Realización ensayo CBR concreto reciclado**



Fuente: Área Mecánica de Suelos. FIUSAC.

Comentario final

Los resultados obtenidos para el valor soporte california es de 70,4, que de acuerdo a las *Especificaciones generales para construcción de carreteras y puentes*, en la sección 305.03 inciso a) deberá tener un valor mínimo de 50.

4.2.3. Desgaste de los ángeles (ASTM C-131)

Ensayo de abrasión realizado para evaluar el comportamiento del concreto reciclado trituración manual. Los resultados se presentan a continuación:

Norma de ensayo	ASTM C-131
Graduación	A
Porcentaje de desgaste	51,70

Figura 14. Realización ensayo desgaste de los ángeles



Fuente: Sección de Agregado, Concreto y Mortero. CII/USAC.

Comentario final

Según lo descrito en las *Especificaciones generales para construcción de carreteras y puentes*, en la sección 305.03 inciso b), para el ensayo de abrasión de 500 revoluciones, el porcentaje no deberá excederse de 50; para el ensayo realizado el desgaste es de 51,70.

4.2.4. Análisis granulométrico (AASHTO T-27 Y AASHTO T-11)

A continuación se presentan resultados para una granulometría sin lavado previo.

Peso bruto seco (PBS)	1 505,32 g
Tara	166,10 g
Peso neto seco (PNS)	1 339,22 g

Tabla XIX. Análisis granulométrico por tamizado

Estándar (mm)	Tamiz (No.)	Peso bruto (g)	Tara (g)	Peso neto (g)	Porcentaje que pasa (%)
50,0	2"	294,58	166,16	128,42	100,00
38,1	1 ½"	430,37	166,16	264,21	90,41
25,0	1"	492,90	166,16	326,74	70,68
19,0	¾"	659,87	166,16	493,71	46,28
4,75	No. 4	230,82	166,16	64,66	9,42

Fuente: elaboración propia, con base a resultados del ensayo.

Continuación de la tabla XV.

2,00	No. 10	206,14	166,16	39,98	4,59
0,425	No. 40	179,39	166,16	13,23	1,61
0,075	No. 200				0,62

Fuente: elaboración propia, con base a resultados del ensayo.

Determinar los porcentajes de los materiales contenidos en la muestra.

$$\% \text{ grava} = 100 - \text{porcentaje que pasa No. 4}$$

$$\% \text{ grava} = 100 - 9,42 = 90,58 \%$$

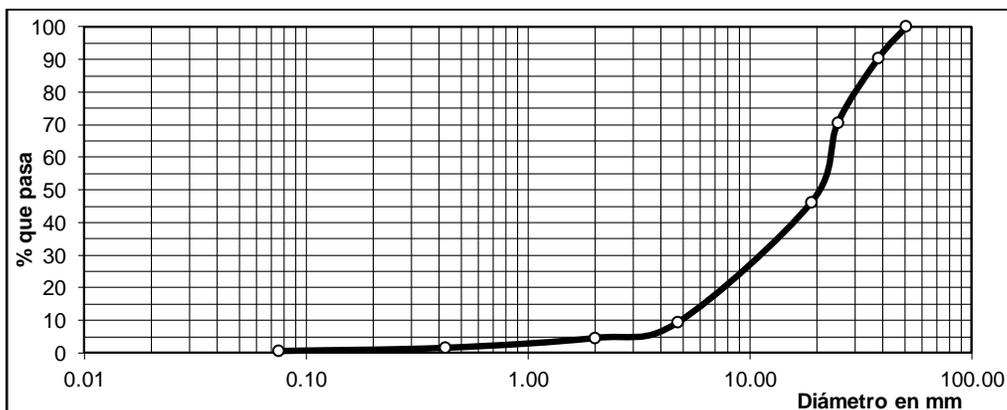
$$\% \text{ arena} = \text{porcentaje que pasa No. 4} - \text{porcentaje que pasa No. 200}$$

$$\% \text{ arena} = 9,42 - 0,62 = 8,80 \%$$

$$\% \text{ finos} = \text{porcentaje que pasa No. 200}$$

$$\% \text{ finos} = 0,62 \%$$

Figura 15. **Granulometría concreto reciclado**



Fuente: elaboración propia, con base a resultados del ensayo.

Figura 16. **Realización ensayo granulometría para concreto reciclado**



Fuente: Área Mecánica de Suelos. FIUSAC.

Comentario final

Los resultados para el ensayo de concreto triturado para subbases a partir del tamiz 4,75 milímetros (No. 4) son menores a los requisitos pedidos por las *Especificaciones generales para construcción de carreteras y puentes*, sección 305.03 inciso e).

4.2.5. Índice de plasticidad (AASHTO T- 90)

La consistencia es el grado de cohesión que tienen las partículas en un suelo, estos pueden tener diferentes grados de cohesión dependiendo de la cantidad de agua que contengan, esto da lugar a los estados de consistencia.

Debido a lo anterior, los límites de Atterberg o límites de consistencia se basan en el concepto de que los suelos finos, presentes en la naturaleza, pueden encontrarse en diferentes estados, dependiendo del contenido de agua.

El límite líquido está definido, como el contenido de humedad en el cual una masa de suelo se encuentra entre el estado plástico para pasar al estado líquido o semilíquido, en donde el suelo toma las propiedades y apariencias de una suspensión.

Debido a que el concreto reciclado no es plástico, no es posible determinar el índice de plasticidad de acuerdo con los requisitos establecidos, según las *Especificaciones generales para construcción de carreteras y puentes*, sección 305.03 inciso f).

Figura 17. **Muestra tipo de material concreto reciclado**



Fuente: Área Mecánica de Suelos. FIUSAC.

4.2.6. Límite líquido (AASHTO T-89)

El límite líquido se utiliza regularmente para suelos de grano fino, especialmente arcillas, exhibición diferentes propiedades a diferentes contenidos de humedad. En muy bajos contenidos de humedad, el material actúa como un sólido. A medida que el contenido de humedad se eleva, el material pasa de sólido a semisólido a plástico al líquido formulario.

Debido a que la muestra de suelo continúa deslizándose sobre la copa casagrande, la prueba no es aplicada, el límite líquido no se determina.

4.3. Resultados comparativos entre la grava o piedra trituradas y concreto reciclado para bases

Se presentan los resultados del equivalente de arena, para el material concreto reciclado utilizado en bases de carreteras elaborados en el Área de Mecánica de Suelos, FIUSAC.

4.3.1. Equivalente de arena (AASHTO T-176)

La toma de lecturas de 3 probetas da como resultado:

- Lectura 1 de arcilla = 4,4 plg, la suspensión de arcilla a los 20 minutos.
- Lectura 1 de arena = 4,0 plg, entre el fondo de la probeta y el extremo inferior del pie.

- Lectura 2 de arcilla = 4,3 plg, la suspensión de arcilla a los 20 minutos.
- Lectura 2 de arena = 4,1 plg, entre el fondo de la probeta y el extremo inferior del pie.

- Lectura 3 de arcilla = 4,8 plg, la suspensión de arcilla a los 20 minutos.
- Lectura 3 de arena = 4,5 plg, entre el fondo de la probeta y el extremo inferior del pie.

Se determina el equivalente de arena en porcentaje:

- $EA = \frac{4,0}{4,4} \times 100 = 90,9\%$
- $EA = \frac{4,1}{4,3} \times 100 = 95,4\%$
- $EA = \frac{4,5}{4,8} \times 100 = 93,8\% +$
 $280,0 (1/3) = 93,4 \%$

Figura 18. **Equivalente de arena para concreto reciclado**



Fuente: Área Mecánica de Suelos. FIUSAC.

Comentario final

Los porcentajes aceptables de equivalente de arena, según las *Especificaciones generales para construcción de carreteras y puentes*, establecen un porcentaje no menor a 40 para la base. De acuerdo al ensayo realizado al concreto reciclado se obtuvo un porcentaje de 93,4.

4.3.2. Valor soporte california CBR (AASHTO T-193)

Para la realización de este ensayo de compactación (proctor) y razón soporte california (CBR), con una muestra con la siguiente descripción: concreto reciclado trituración manual.

Del ensayo de compactación (proctor) tipo d se determinaron los valores que se muestran en las tablas XX, XXI, XXII, XXIII.

Tabla XX. **Datos para el ensayo de compactación tipo**

Peso martillo: 10 lb Capas: 5 Golpes por capa: 56	Peso unitario seco máximo	PUS _{máx} : 233,0 lb/pie ³
	Porcentaje de humedad óptima	%H _{opt} : 7,5 %

Fuente: elaboración propia, con base a resultados del ensayo.

Tabla XXI. **Cálculo de humedad actual**

Humedad actual							
Tarro	pbh (g)	pbs (g)	tara (g)	dif (g)	pns (g)	% H	% H_{prom}
A-1	227,55	219,76	37,21	7,80	182,55	4,26	8,40
A-2	186,20	175,95	36,96	10,26	138,99	7,44	
A-3	197,00	179,80	35,60	17,21	144,20	11,89	
A-4	204,15	186,12	40,91	14,41	145,22	10,01	

Fuente: elaboración propia, con base a resultados del ensayo.

Tabla XXII. **Promedio peso unitario suelto**

% H prom.	4,26	7,44	11,89	10,01
PUS (lb/pie³)	215,08	233,35	217,57	233,32

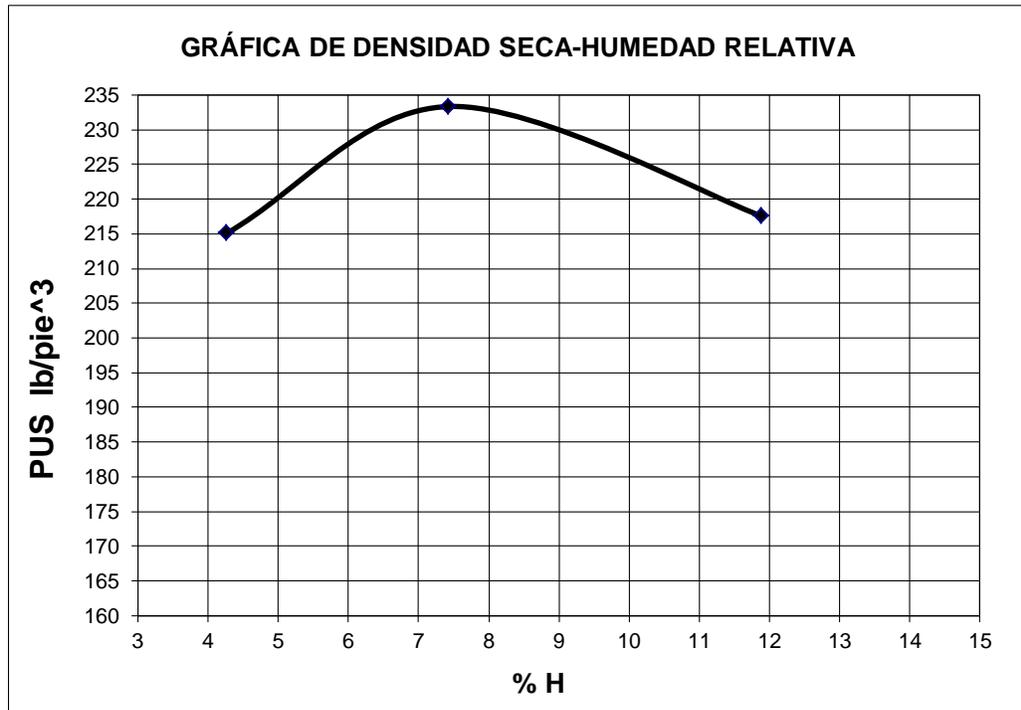
Fuente: elaboración propia, con base a resultados del ensayo.

Tabla XXIII. **Peso unitario suelto máximo-humedad óptima**

PUS máxima	3 732,66	kg/m ³
	233,00	lbs/pie ³
Humedad óptima	7,50	%

Fuente: elaboración propia, con base a resultados del ensayo.

Figura 19. **Curva peso unitario seco versus humedad relativa**



Fuente: elaboración propia, con base a resultados del ensayo.

Del ensayo de razón soporte california (CBR), se determinaron los siguientes valores:

Cálculo de agua por agregar:

$$\text{Agua por agregar} = \frac{[(H_{opt} 7,50\%) - (H_{act} 4,30\%)] \times (18\ 000,00\ g)}{100 + (H_{act} 4,30\%)} = 552,25\ cc$$

Cálculo de la expansión o hinchamiento. Tiempo de inmersión: 48 horas.

Tabla XXIV. **Datos del ensayo de expansión para CBR**

Para 65 golpes		
Inmersión y expansión		Sobrepesos 10 lb
Lectura dial	0,0000	2,5000
Expansión plgs.	0,0000	0,0025
Expansión %	0,0000	0,0500
Para 30 golpes		
Inmersión y expansión		Sobrepesos 10 lb
Lectura dial	0,0000	0,0000
Expansión plgs.	0,0000	0,0000
Expansión %	0,0000	0,0000
Para 10 golpes		
Inmersión y expansión		Sobrepesos 10 lb
Lectura dial	0,0000	2,5000
Expansión plgs.	0,0000	0,0025
Expansión %	0,0000	0,0500

Fuente: elaboración propia, con base a resultados del ensayo.

Cálculo de penetración, utilizando el anillo de 10 000 libras de capacidad.

Tabla XXV. **Datos de carga-penetración para el ensayo CBR sumergido**

Para 65 golpes						
Penetración pulgadas	0,025	0,050	0,075	0,100	0,200	0,300
Lectura dial del anillo	9,000	35,000	69,000	129,000	230,000	305,000
Carga lb	299,230	876,730	1 631,920	2 964,620	5 207,990	6 873,860
Para 30 golpes						
Penetración pulgadas	0,025	0,050	0,075	0,100	0,200	0,300
Lectura dial del anillo	8,000	22,000	41,000	67,000	137,000	200,000
Carga lb	277,020	587,980	1 010,000	1 587,500	3 142,310	4 541,640
Para 10 golpes						
Penetración pulgadas	0,025	0,050	0,075	0,100	0,200	0,300
Lectura dial del anillo	5,000	9,000	14,000	21,000	59,000	94,000
Carga lb	210,380	299,230	410,290	565,770	1 409,810	2 187,210

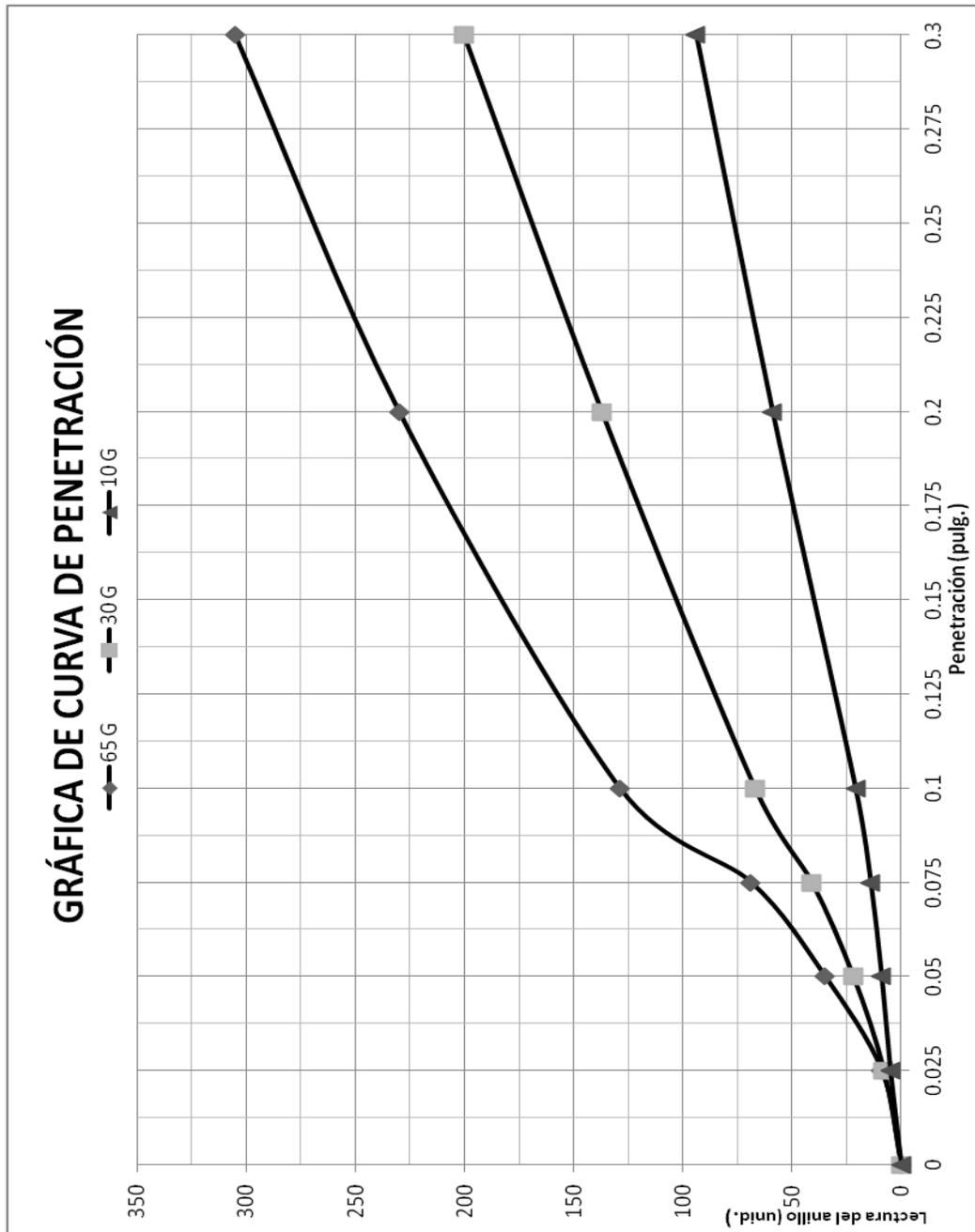
Fuente: elaboración propia, con base a resultados del ensayo.

Tabla XXVI. **Determinación del porcentaje de compactación (% C)**

Para 65 golpes			
PBH	11,68 Kg	PUH	100,82 lb/pie ³
TARA	8,25 Kg	% H	7,50 %
PNH	3,43 Kg	PUS	93,80 lb/pie ³
VOL	1/13,33 pie ³	% C	40,30 %
Para 30 golpes			
PBH	10,33 Kg	PUH	92,88 lb/pie ³
TARA	7,17 Kg	% H	7,50 %
PNH	3,16 Kg	PUS	86,40 lb/pie ³
VOL	1/13,33 pie ³	%C	37,08 %
Para 10 golpes			
PBH	10,31 Kg	PUH	91,12 lb/pie ³
TARA	7,21 Kg	% H	7,50 %
PNH	3,10 Kg	PUS	84,76 lb/pie ³
VOL	1/13,33 pie ³	%C	36,38 %

Fuente: elaboración propia, con base a resultados del ensayo.

Figura 20. **Curva lectura del anillo versus penetración en pulgadas**



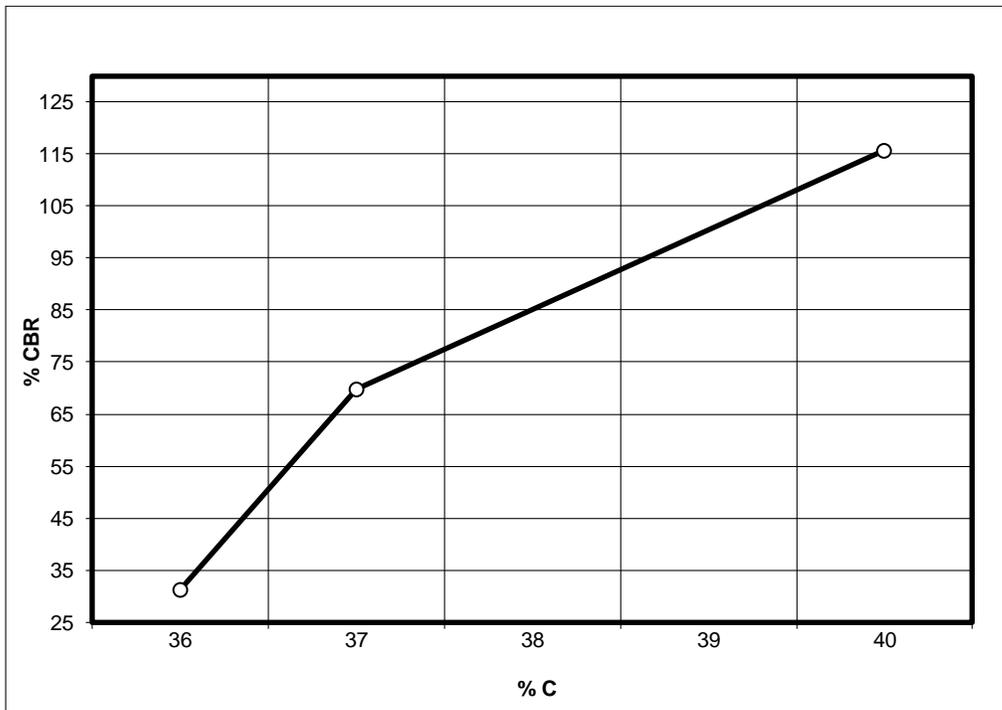
Fuente: elaboración propia, con base a resultados del ensayo.

Tabla XXVII. **Determinación del porcentaje de CBR (% CBR)**

% Compactación		% CBR	
10 golpes	36,4	10 golpes	31,3
30 golpes	37,1	30 golpes	69,8
65 golpes	40,3	65 golpes	115,7

Fuente: elaboración propia, con base a resultados del ensayo.

Figura 21. **Gráfica de porcentaje CBR - porcentaje de compactación**



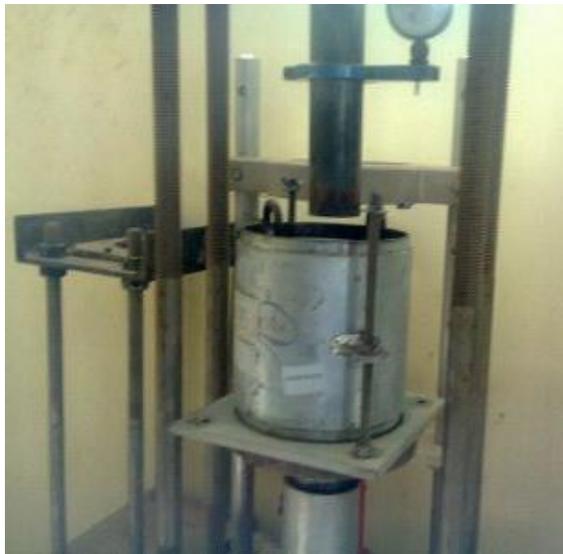
Fuente: elaboración propia con base a resultados del ensayo.

Figura 22. **Ensayo proctor concreto reciclado**



Fuente: Área Mecánica de Suelos. FIUSAC.

Figura 23. **Ensayo CBR concreto reciclado**



Fuente: Área Mecánica de Suelos. FIUSAC.

Comentario final

Los resultados obtenidos para el valor soporte california es de 115,7, que de acuerdo a las *Especificaciones generales para construcción de carreteras y puentes*, en la sección 305.03 inciso a) este deberá tener un mínimo de 90 en una muestra saturada.

4.3.3. Desgaste de los ángeles (ASTM C-131)

Ensayo de abrasión realizado para evaluar el comportamiento del concreto reciclado trituración manual. Los resultados se presentan a continuación:

Norma de ensayo	ASTM C-131
Graduación	A
Porcentaje de desgaste	51,70

Comentario final

Según lo descrito en las *Especificaciones generales para construcción de carreteras y puentes*, en la sección 305.03 inciso b), para el ensayo de abrasión de 500 revoluciones el porcentaje no deberá excederse de 50; para el ensayo realizado el desgaste es de 51,70.

4.3.4. Análisis granulométrico (AASHTO T-27 Y AASHTO T-11)

A continuación se presentan resultados para una granulometría sin lavado previo.

Peso bruto seco (PBS)	1 505,32 g
Tara	166,16 g
Peso neto seco (PNS)	1 339,22 g

Tabla XXVIII. **Análisis granulométrico por tamizado**

Estándar (mm)	Tamiz (N°.)	Peso bruto (g)	Tara (g)	Peso neto (g)	Porcentaje que pasa (%)
50,0	2"	294,58	166,16	128,42	100,00
38,1	1 ½"	430,37	166,16	264,21	90,41
25,0	1"	492,90	166,16	326,74	70,68
19,0	¾"	659,87	166,16	493,71	46,28
4,75	No. 4	230,82	166,16	64,66	9,42
2,00	No. 10	206,14	166,16	39,98	4,59
0,425	No. 40	179,39	166,16	13,23	1,61
0,075	No. 200				0,62

Fuente: elaboración propia, con base a resultados del ensayo.

Determinar los porcentajes de los materiales contenidos en la muestra.

$$\% \text{ grava} = 100 - \text{porcentaje que pasa No. 4}$$

$$\% \text{ grava} = 100 - 9,42 = 90,58 \%$$

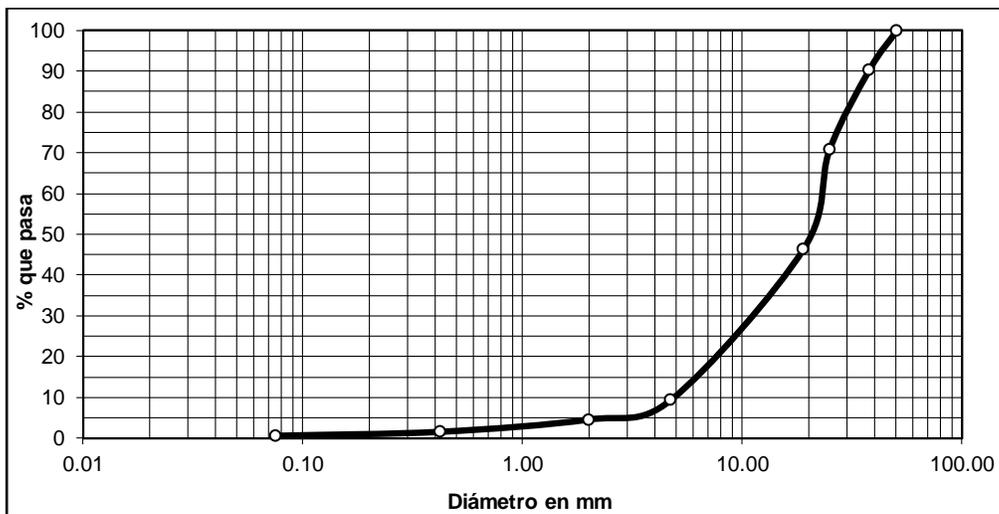
$$\% \text{ arena} = \text{porcentaje que pasa No. 4} - \text{porcentaje que pasa No. 200}$$

$$\% \text{ arena} = 9,42 - 0,62 = 8,80 \%$$

% finos = porcentaje que pasa No. 200

% finos = 0,62 %

Figura 24. **Granulometría concreto reciclado**



Fuente: elaboración propia, con base a resultados del ensayo.

Figura 25. **Ensayo granulometría concreto reciclado**



Fuente: Área Mecánica de Suelos. FIUSAC.

Comentario final

Los resultados para el ensayo de concreto triturado para bases a partir del tamiz 4,75 milímetros (No. 4) son menores a los requisitos pedidos por las *Especificaciones generales para construcción de carreteras y puentes*, sección 305.03 inciso e).

4.3.5. Índice de plasticidad (AASHTO T-90)

Debido a que el concreto reciclado no es plástico, no es posible determinar el índice de plasticidad, de acuerdo con los requisitos establecidos según las *Especificaciones generales para construcción de carreteras y puentes*, sección 305.03 inciso f).

4.3.6. Límite líquido (AASHTO T-89)

El límite líquido se utiliza, regularmente, para suelos de grano fino, especialmente arcillas, exhibición diferentes propiedades a diferentes contenidos de humedad. En muy bajos contenidos de humedad, el material actúa como un sólido. A medida que el contenido de humedad se eleva, el material pasa de sólido a semisólido.

Debido a que la muestra de suelo continúa deslizándose sobre la copa casagrande, la prueba no es aplicada, por lo cual el límite líquido no se determinó.

4.4. Resultados comparativos entre la grava o piedra trituradas y block pómez para subbases

Se presentan los resultados del equivalente de arena, para el material block pómez utilizado en subbases de carreteras elaborados en el Área de Mecánica de Suelos, FIUSAC.

4.4.1. Equivalente de arena (AASHTO T-176)

La toma de lecturas de 3 probetas da como resultado:

- Lectura 1 de arcilla = 4,4 plg, la suspensión de arcilla a los 20 minutos.
- Lectura 1 de arena = 3,3 plg, entre el fondo de la probeta y el extremo inferior del pie.

- Lectura 2 de arcilla = 4,1 plg, la suspensión de arcilla a los 20 minutos.
- Lectura 2 de arena = 3,9 plg, entre el fondo de la probeta y el extremo inferior del pie.

- Lectura 3 de arcilla = 3,9 plg, la suspensión de arcilla a los 20 minutos.
- Lectura 3 de arena = 3,8 plg, entre el fondo de la probeta y el extremo inferior del pie.

Se determina el equivalente de arena en porcentaje:

- $EA = \frac{4,40}{3,30} \times 100 = 133,33 \%$

- $EA = \frac{4,10}{3,90} \times 100 = 105,12 \%$

- $$EA = \frac{3,90}{3,80} \times 100 = 102,63 \% +$$

$$341,08 (1/3) = 113,69 \%$$

Figura 26. **Ensayo CBR concreto reciclado**



Fuente: Área Mecánica de Suelos. FIUSAC.

Comentario final

Según lo descrito en las *Especificaciones generales para construcción de carreteras y puentes*, sección 305.03 inciso g), establece que el equivalente de arena no debe ser menor de 40 para la base; para el ensayo realizado se obtuvo 113,69.

4.4.2. Valor soporte california CBR (AASHTO T-193)

Para la realización de este ensayo de compactación (proctor) y razón soporte california (CBR), con una muestra con la siguiente descripción: block pómez trituración manual.

Del ensayo de compactación (proctor) tipo d se determinaron los valores que se muestran en las tablas XXIX, XXX, XXXI, XXXII.

Tabla XXIX. Datos de ensayo de compactación tipo

Peso martillo: 10 lb Capas: 5 Golpes por capa: 56	Peso unitario seco máximo	$PUS_{\text{máx.}}: 90,40 \text{ lb/pie}^3$
	Porcentaje de humedad óptima	$\%H_{\text{opt.}}: 17,90 \%$

Fuente: elaboración propia, con base a resultados del ensayo.

Tabla XXX. Cálculo de humedad actual

Humedad actual							
Tarro	pbh (g)	pbs (g)	tara (g)	dif (g)	pns (g)	% H	% H _{prom}
A-1	114,06	106,15	29,44	7,92	76,71	10,30	16,93
A-2	132,59	120,14	33,87	12,42	86,27	14,40	
A-3	109,22	97,66	33,98	11,56	63,68	18,10	
A-4	133,10	112,96	32,14	20,14	80,83	24,90	

Fuente: elaboración propia, con base a resultados del ensayo.

Tabla XXXI. **Promedio peso unitario suelto**

% H prom.	10,30	14,40	18,10	24,90
PUS (lb/pie³)	77,28	76,81	81,10	84,11

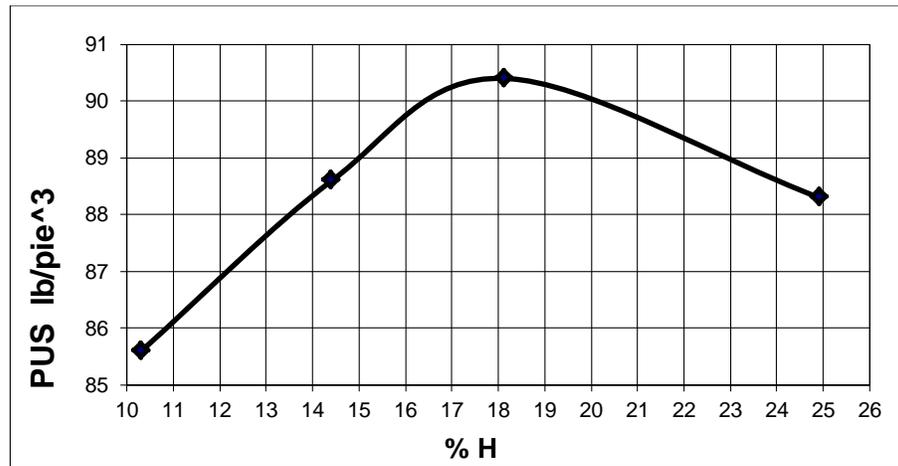
Fuente: elaboración propia, con base a resultados del ensayo.

Tabla XXXII. **Peso unitario suelto máximo-humedad óptima**

PUS máximo	1 448,21	kg/m ³
	90,40	lbs/pie ³
Humedad óptima	17,90	%

Fuente: elaboración propia, con base a resultados del ensayo.

Figura 27. **Curva peso unitario seco versus humedad relativa**



Fuente: elaboración propia, con base a resultados del ensayo.

Del ensayo de razón soporte california (CBR), se determinaron los siguientes valores:

Cálculo de agua por agregar:

$$\text{Agua por agregar} = \frac{[(\text{Hopt } 17,90 \%) - (\text{Hact } 7,30 \%)] \times (15\,000,00 \text{ g})}{100 + (\text{Hact } 7,30 \%)}$$

$$= 1\,481,83 \text{ cc}$$

Cálculo de la expansión o hinchamiento. Tiempo de inmersión: 48 horas.

Tabla XXXIII. **Datos del ensayo de expansión para CBR**

Para 65 golpes			
Inmersión y expansión		Sobrepesos 10 lb	
Lectura dial	0,0000	0,5000	1,3333
Expansión plgs.	0,0000	0,0005	0,0013
Expansión %	0,0000	0,0108	0,0289
Para 30 golpes			
Inmersión y expansión		Sobrepesos 10 lb	
Lectura dial	0,0000	5,0000	10,0000
Expansión plgs.	0,0000	0,0050	0,0100
Expansión %	0,0000	0,1086	0,2173
Para 10 golpes			
Inmersión y expansión		Sobrepesos 10 lb	
Lectura dial	0,0000	1,6300	0,6300
Expansión plgs.	0,0000	0,0010	0,0006
Expansión %	0,0000	0,0354	0,0136

Fuente: elaboración propia, con base a resultados del ensayo.

Cálculo de penetración utilizando el anillo de 10 000 libras de capacidad.

Tabla XXXIV. **Datos de carga-penetración para el ensayo CBR sumergido**

Para 65 golpes						
Penetración pulgadas	0,025	0,050	0,075	0,100	0,150	0,300
Lectura dial del anillo	8,000	19,000	47,000	115,000	346,000	0,000
Carga lb	125,630	236,430	518,480	1 203,470	3 530,390	0,000
Para 30 golpes						
Penetración pulgadas	0,025	0,050	0,075	0,100	0,200	0,300
Lectura dial del anillo	9,000	26,000	50,000	70,000	145,000	190,000
Carga lb	135,700	306,950	548,700	750,170	1 505,670	1 958,960
Para 10 golpes						
Penetración pulgadas	0,025	0,050	0,075	0,100	0,200	0,300
Lectura dial del anillo	2,000	4,000	7,000	10,000	26,000	45,000
Carga lb	155,850	417,750	669,580	750,170	1 132,950	1 304,200

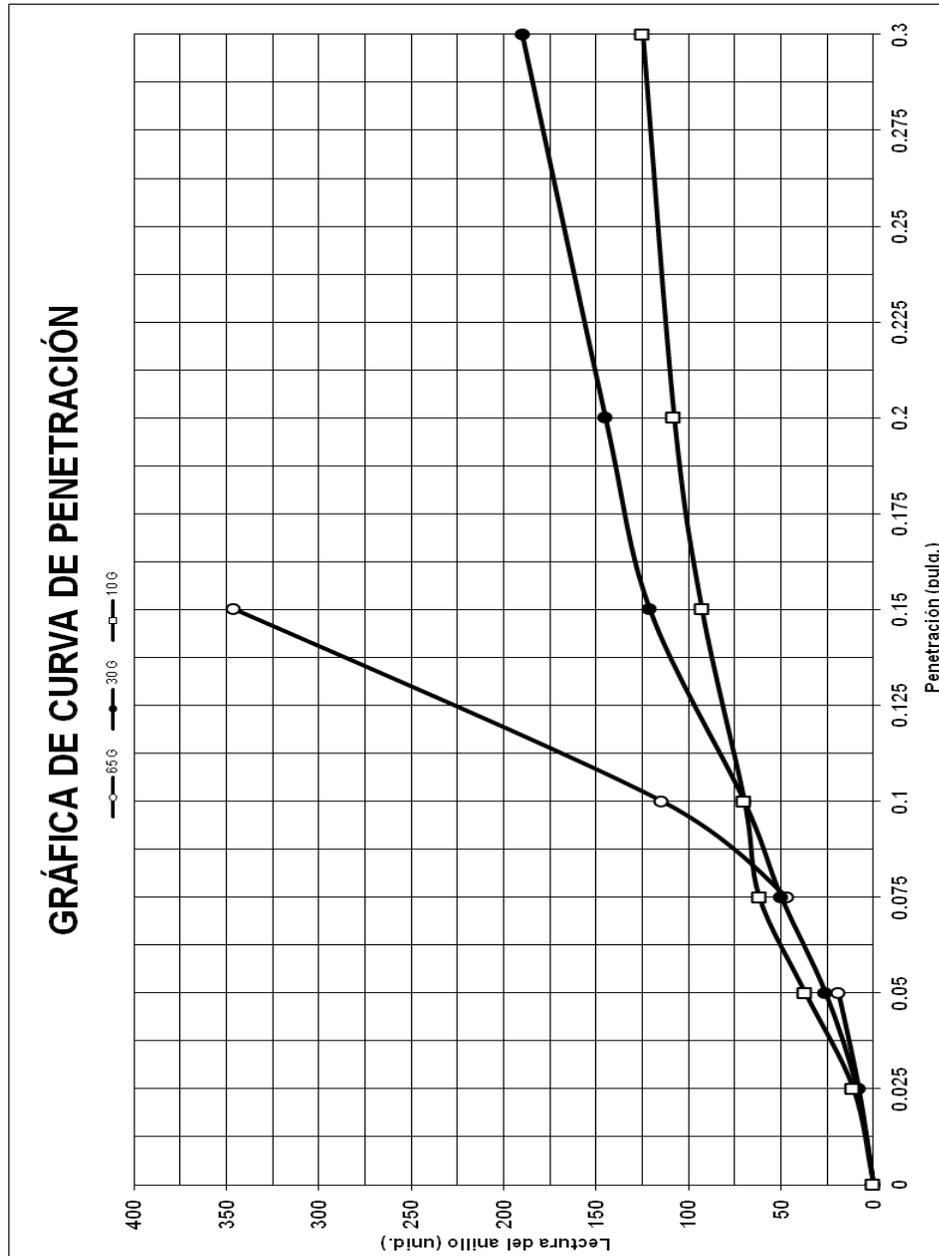
Fuente: elaboración propia, con base a resultados del ensayo.

Tabla XXXV. **Determinación del porcentaje de compactación (% C)**

Para 65 golpes			
PBH	11,48 Kg	PUH	95,80 lb/pie ³
TARA	8,22 Kg	% H	17,90 %
PNH	3,26 Kg	PUS	81,30 lb/pie ³
VOL	1/13,33 pie ³	% C	89,89 %
Para 30 golpes			
PBH	10,06 Kg	PUH	85,20 lb/pie ³
TARA	7,16 Kg	% H	17,90 %
PNH	2,90 Kg	PUS	73,30 lb/pie ³
VOL	1/13,33 pie ³	% C	79,96 %
Para 10 golpes			
PBH	9,87 Kg	PUH	78,17 lb/pie ³
TARA	7,21 Kg	% H	17,90 %
PNH	2,66 Kg	PUS	66,30 lb/pie ³
VOL	1/13,33 pie ³	% C	73,34 %

Fuente: elaboración propia, con base a resultados del ensayo.

Figura 28. Curva lectura del anillo versus penetración en pulgadas



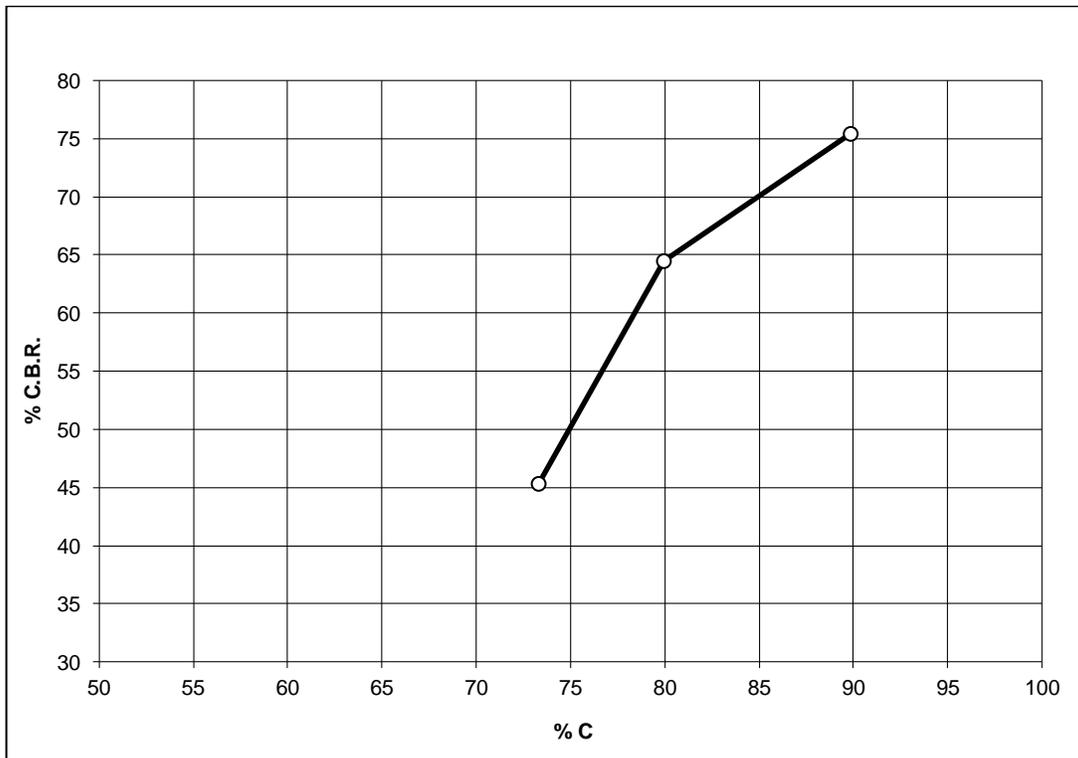
Fuente: elaboración propia, con base a resultados del ensayo.

Tabla XXXVI. **Determinación del porcentaje de CBR (% CBR)**

% Compactación		% CBR	
10 golpes	73,3	10 golpes	45,3
30 golpes	80,0	30 golpes	64,5
65 golpes	89,9	65 golpes	75,4

Fuente: elaboración propia, con base a resultados del ensayo.

Figura 29. **Gráfica de porcentaje CBR – porcentaje de compactación**



Fuente: elaboración propia, con base a resultados del ensayo.

Figura 30. **Ensayo proctor block pómez reciclado**



Fuente: Área Mecánica de Suelo. FIUSAC.

Figura 31. **Ensayo CBR block pómez reciclado**



Fuente: Área Mecánica de Suelo. FIUSAC.

Comentario final

Los resultados obtenidos para el valor soporte california es de 75,4, que de acuerdo a las *Especificaciones generales para construcción de carreteras y puentes*, en la sección 305.03 inciso a), este deberá tener un mínimo de 40 para subbases.

4.4.3. Desgaste de los ángeles (ASTM C-131)

Ensayo de abrasión realizado para evaluar el comportamiento del concreto reciclado trituración manual. Los resultados se presentan a continuación:

Norma de ensayo	ASTM C-131
Graduación	B
Porcentaje de desgaste	62,94

Figura 32. **Ensayo desgaste de los ángeles block pómez reciclado**



Fuente: Sección de Agregados, Concreto y Mortero. CII/USAC.

Comentario final

Según lo descrito en las *Especificaciones generales para construcción de carreteras y puentes*, en la sección 305.03 inciso b), para el ensayo de abrasión de 500 revoluciones el porcentaje no deberá excederse de 50; para el ensayo realizado el desgaste es de 62,94.

4.4.4. Análisis granulométrico (AASHTO T-27 Y AASHTO T-11)

A continuación se presentan resultados para una granulometría sin lavado previo.

Peso bruto beco (PBS)	1 500,90 g
Tara	132,70 g
Peso neto seco (PNS)	1 368,20 g

Tabla XXXVII. Análisis granulométrico por tamizado

Estándar (mm)	Tamiz (N°.)	Peso bruto (g)	Tara (g)	Peso neto (g)	Porcentaje que pasa (%)
50,0	2"	298,37	132,70	165,67	100,00
38,1	1 ½"	563,66	132,70	430,96	87,89
25,0	1"	249,77	132,70	117,07	56,39
19,0	¾"	393,66	132,70	260,96	47,89
4,75	N°. 4	248,78	132,70	116,08	28,76

Fuente: elaboración propia, con base a resultados del ensayo.

Continuación de la tabla XXV.

2,00	Nº. 10	223,64	132,70	90,94	20,28
0,425	Nº. 40	164,52	132,70	31,82	13,63
0,075	Nº. 200				11,31

Fuente: elaboración propia, con base a resultados del ensayo.

Determinar los porcentajes de los materiales contenidos en la muestra.

$$\% \text{ grava} = 100 - \text{porcentaje que pasa No. 4}$$

$$\% \text{ grava} = 100 - 28,76 = 71,24 \%$$

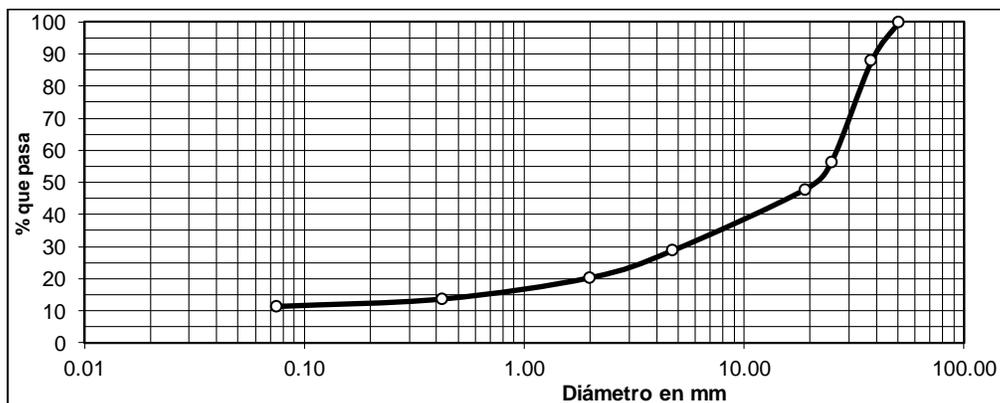
$$\% \text{ arena} = \text{porcentaje que pasa No. 4} - \text{porcentaje que pasa No. 200}$$

$$\% \text{ arena} = 28,76 - 11,31 = 17,46 \%$$

$$\% \text{ finos} = \text{porcentaje que pasa No. 200}$$

$$\% \text{ finos} = 11,31 \%$$

Figura 33. **Granulometría block pómez reciclado**



Fuente: elaboración propia, con base a resultados del ensayo.

Figura 34. **Ensayo granulometría block pómez reciclado**



Fuente: Área Mecánica de Suelos. FIUSAC.

Comentario final

Los resultados para el ensayo de block pómez para subbases el tamiz 25,0 milímetros (1”) es menor a los requisitos pedidos por las *Especificaciones generales para construcción de carreteras y puentes*, sección 305.3 inciso e).

4.4.5. Índice de plasticidad (AASHTO T-90)

Debido a que el block pómez no es plástico, no es posible determinar el índice de plasticidad de acuerdo a los requisitos establecidos, según las *Especificaciones generales para construcción de carreteras y puentes*, sección 305.1 inciso f).

4.4.6. Límite líquido (AASHTO T- 89)

Debido a que la muestra de suelo continúa deslizándose sobre la copa casagrande, la prueba no es aplicada, por lo cual el límite líquido no se determinó.

4.5. Resultados comparativos entre la grava o piedras trituradas y block pómez reciclado para bases

Se presentan los resultados del equivalente de arena, para el material concreto reciclado utilizado en bases de carreteras elaborados en el Área de Mecánica de Suelos, FIUSAC.

4.5.1. Equivalente de arena (AASHTO T-176)

La toma de lecturas de 3 probetas da como resultado:

- Lectura 1 de arcilla = 4,4 plg, la suspensión de arcilla a los 20 minutos.
- Lectura 1 de arena = 3,3 plg, entre el fondo de la probeta y el extremo inferior del pie.

- Lectura 2 de arcilla = 4,1 plg, la suspensión de arcilla a los 20 minutos.
- Lectura 2 de arena = 3,9 plg, entre el fondo de la probeta y el extremo inferior del pie.

- Lectura 3 de arcilla = 3,9 plg, la suspensión de arcilla a los 20 minutos.
- Lectura 3 de arena = 3,8 plg, entre el fondo de la probeta y el extremo inferior del pie.

Se determina el equivalente de arena en porcentaje:

- $EA = \frac{4,40}{3,30} \times 100 = 133,33 \%$
- $EA = \frac{4,10}{3,90} \times 100 = 105,12 \%$
- $EA = \frac{3,90}{3,80} \times 100 = 102,63\% +$
 $341,08 (1/3) = 113,69 \%$

Figura 35. **Ensayo equivalente de arena block pómez reciclado**



Fuente: Área Mecánica de Suelos. FIUSAC.

Comentario final

Según las *Especificaciones generales para construcción de carreteras y puentes*, sección 305.03 inciso g), establece un porcentaje no menor a 40 para la base; para el ensayo realizado se obtuvo 113,69.

4.5.2. Valor soporte california CBR (AASHTO T-193)

Para la realización de este ensayo de compactación (proctor) y razón soporte california (CBR), con una muestra con la siguiente descripción: block pómez trituración manual.

Del ensayo de compactación (proctor) tipo d se determinaron los valores que se muestran en las tablas XXXVIII, XXXIX, XL, XLI.

Tabla XXXVIII. **Datos para el ensayo de compactación tipo**

Peso martillo: 10 lb Capas: 5 Golpes por capa: 56	Peso unitario seco máximo	PUS _{máx} : 185,00 lb/pie ³
	Porcentaje de humedad óptima	%H _{opt} : 10,00 %

Fuente: elaboración propia, con base a resultados del ensayo.

Tabla XXXIX. **Cálculo de humedad actual**

Humedad actual							
Tarro	pbh (g)	pbs (g)	tara (g)	dif (g)	pns (g)	% H	% H_{prom}
A-2	179,46	172,89	36,62	6,57	136,27	4,82	10,00
A-3	189,94	175,55	35,61	12,38	139,95	8,87	
A-4	195,42	177,96	39,85	17,47	138,11	12,64	
A-5	244,39	209,85	38,50	34,54	171,35	20,11	

Fuente: elaboración propia, con base a resultados del ensayo.

Tabla XL. **Promedio peso unitario suelto**

%H prom.	4,82	8,87	12,64	20,11
PUS (lb/pie³)	163,45	183,49	183,23	177,34

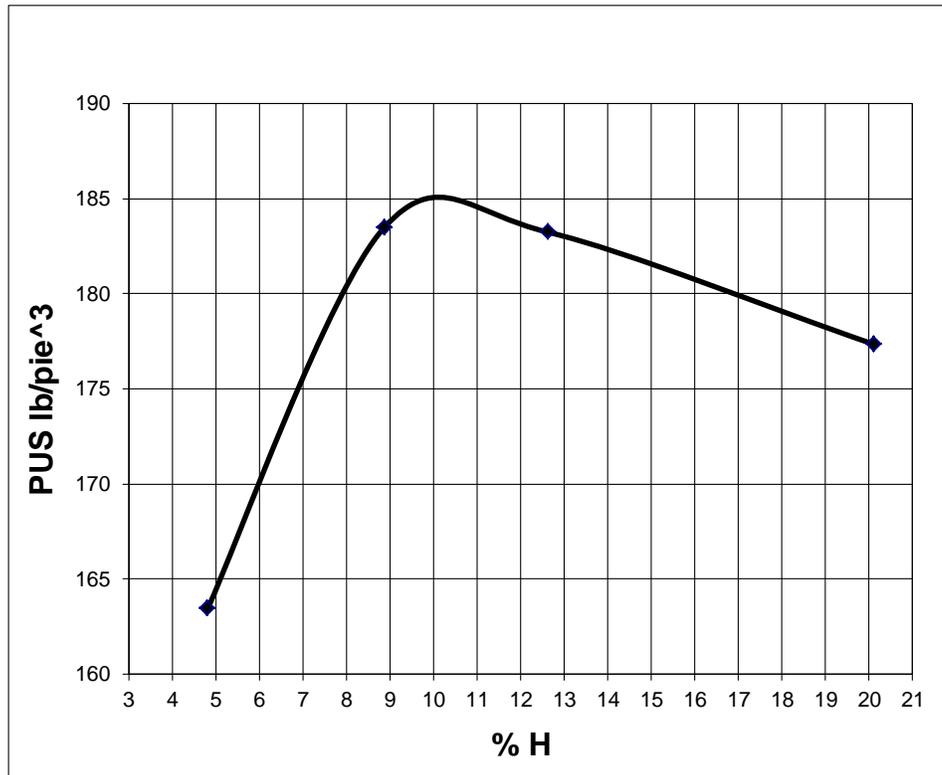
Fuente: elaboración propia, con base a resultados del ensayo.

Tabla XLI. **Peso unitario suelto máximo-humedad óptima**

PUS máximo	2 963,70	kg/m ³
	185,00	lbs/pie ³
Humedad óptima	10,00	%

Fuente: elaboración propia, con base a resultados del ensayo.

Figura 36. **Curva peso unitario seco versus humedad relativa**



Fuente: elaboración propia, con base a resultados del ensayo.

Del ensayo de razón soporte california (CBR), se determinaron los siguientes valores:

Cálculo de agua por agregar

$$\text{Agua por agregar} = \frac{[(\text{Hopt } 10,00 \%) - (\text{Hact } 3,46 \%)] \times (15\,000,00 \text{ g})}{100 + (\text{Hact } 3,46 \%)}$$

$$= 1\,016,83 \text{ cc}$$

Cálculo de la expansión o hinchamiento. Tiempo de inmersión: 48 horas.

Tabla XLII. **Datos del ensayo de expansión para CBR**

Para 65 golpes		
Inmersión y expansión		Sobrepesos 10 lb
Lectura dial	0,0000	2,5000
Expansión plgs.	0,0000	0,0025
Expansión %	0,0000	0,0500
Para 30 golpes		
Inmersión y expansión		Sobrepesos 10 lb
Lectura dial	0,0000	0,0000
Expansión plgs.	0,0000	0,0000
Expansión %	0,0000	0,0000
Para 10 golpes		
Inmersión y expansión		Sobrepesos 10 lb
Lectura dial	0,0000	2,5000
Expansión plgs.	0,0000	0,0025
Expansión %	0,0000	0,0500

Fuente: elaboración propia, con base a resultados del ensayo.

Cálculo de penetración utilizando el anillo de 10 000 lb de capacidad.

Tabla XLIII. **Datos de carga-penetración para el ensayo CBR sumergido**

Para 65 golpes						
Penetración pulgadas	0,025	0,050	0,075	0,100	0,200	0,300
Lectura dial del anillo	9,000	35,000	69,000	129,000	230,000	305,000
Carga lb	299,230	876,730	1 631,920	2 964,620	5 207,990	6 873,860
Para 30 golpes						
Penetración pulgadas	0,025	0,050	0,075	0,100	0,200	0,300
Lectura dial del anillo	8,000	22,000	41,000	67,000	137,000	200,000
Carga lb	99,330	587,980	1 010,000	1 587,500	3 142,310	4 541,640
Para 10 golpes						
Penetración pulgadas	0,025	0,050	0,075	0,100	0,200	0,300
Lectura dial del anillo	5,000	9,000	14,000	21,000	59,000	94,000
Carga lb	210,384	299,233	410,290	565,777	1 409,810	2 187,211

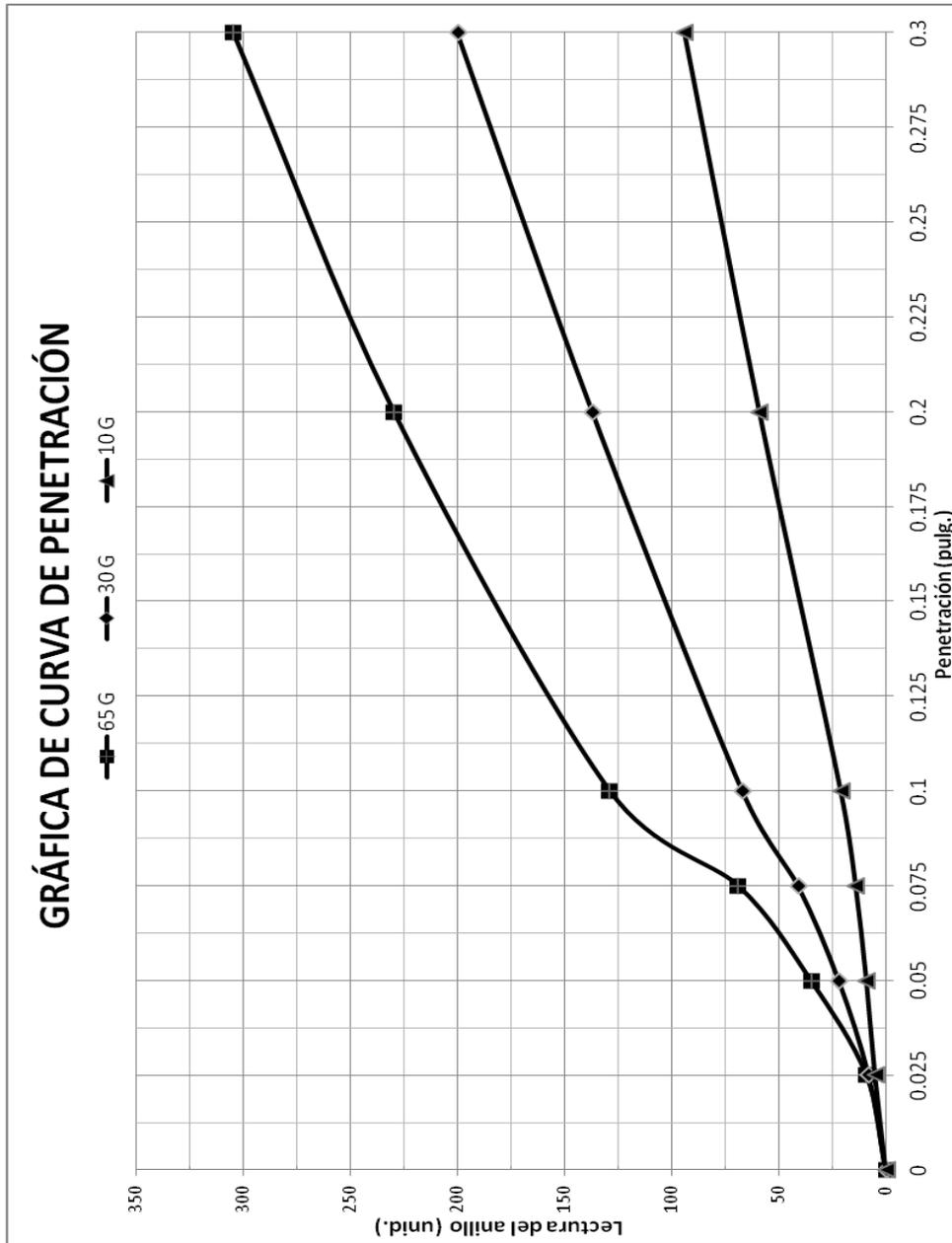
Fuente: elaboración propia, con base a resultados del ensayo.

Tabla XLIV. **Determinación del porcentaje de compactación (% C)**

Para 65 golpes			
PBH	11,68 Kg	PUH	100,82 lb/pie ³
TARA	8,25 Kg	% H	10,00 %
PNH	3,43 Kg	PUS	91,70 lb/pie ³
VOL	1/13,33 pie ³	% C	49,50 %
Para 30 golpes			
PBH	10,33 Kg	PUH	92,88 lb/pie ³
TARA	7,17 Kg	% H	10,00 %
PNH	3,16 Kg	PUS	84,44 lb/pie ³
VOL	1/13,33 pie ³	% C	45,64 %
Para 10 golpes			
PBH	10,31 Kg	PUH	91,12 lb/pie ³
TARA	7,21 Kg	% H	10,00 %
PNH	3,10 Kg	PUS	82,83 lb/pie ³
VOL	1/13,33 pie ³	% C	44,78 %

Fuente: elaboración propia, con base a resultados del ensayo.

Figura 37. Curva lectura del anillo versus penetración en pulgadas



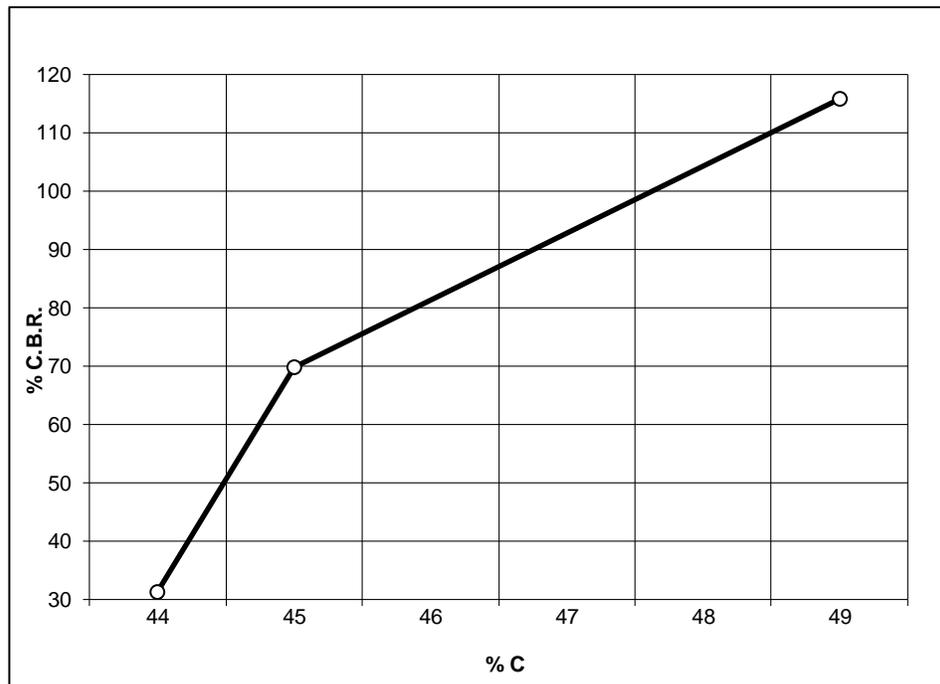
Fuente: elaboración propia, con base a resultados del ensayo.

Tabla XLV. **Determinación del porcentaje de CBR (% CBR)**

% Compactación		% CBR	
10 golpes	44,8	10 golpes	31,3
30 golpes	45,6	30 golpes	69,8
65 golpes	49,5	65 golpes	115,7

Fuente: elaboración propia, con base a resultados del ensayo.

Figura 38. **Gráfica de porcentaje CBR - porcentaje de compactación**



Fuente: elaboración propia, con base a resultados del ensayo.

Figura 39. **Ensayo proctor para block pómez reciclado**



Fuente: Área Mecánica de Suelos. FIUSAC.

Figura 40. **Ensayo CBR para block pómez reciclado**



Fuente: Área Mecánica de Suelos. FIUSAC.

Comentario final

Los resultados obtenidos para el valor soporte california es de 115,7 de acuerdo a las *Especificaciones generales para construcción de carreteras y puentes*, en la sección 305.03 inciso a), este deberá tener un mínimo de 90 para bases.

4.5.3. Desgaste de los ángeles (ASTM C-131)

Ensayo de abrasión realizado para evaluar el comportamiento del concreto reciclado trituración manual. Los resultados se presentan a continuación:

Norma de ensayo	ASTM C-131
Graduación	B
Porcentaje de desgaste	62,94

Comentario final

Según lo descrito en las *Especificaciones generales para construcción de carreteras y puentes*, en la sección 305.03 inciso b), para el ensayo de abrasión de 500 revoluciones el porcentaje no deberá excederse de 50; para el ensayo realizado el desgaste es de 62,94.

4.5.4. Análisis granulométrico (AASHTO T-27 Y AASHTO T-11)

A continuación se presentan resultados para una granulometría sin lavado previo.

Peso bruto seco (PBS)	1 500,90 g
Tara	132,70 g
Peso neto seco (PNS)	1 368,20 g

Tabla XLVI. **Análisis granulométrico por tamizado**

Estándar (mm)	Tamiz (N°.)	Peso bruto (g)	Tara (g)	Peso neto (g)	Porcentaje que pasa (%)
50,0	2"	298,37	132,70	165,67	100,00
38,1	1 ½"	563,66	132,70	430,96	87,89
25,0	1"	249,77	132,70	117,07	56,39
19,0	¾"	393,66	132,70	260,96	47,89
4,75	N°. 4	248,78	132,70	116,08	28,76
2,00	N°. 10	223,64	132,70	90,94	20,28
0,425	N°. 40	164,52	132,70	31,82	13,63
0,075	N°. 200				11,31

Fuente: elaboración propia, con base a resultados del ensayo.

Determinar los porcentajes de los materiales contenidos en la muestra.

$$\% \text{ grava} = 100 - \text{porcentaje que pasa No. 4}$$

$$\% \text{ grava} = 100 - 28,76 = 71,24 \%$$

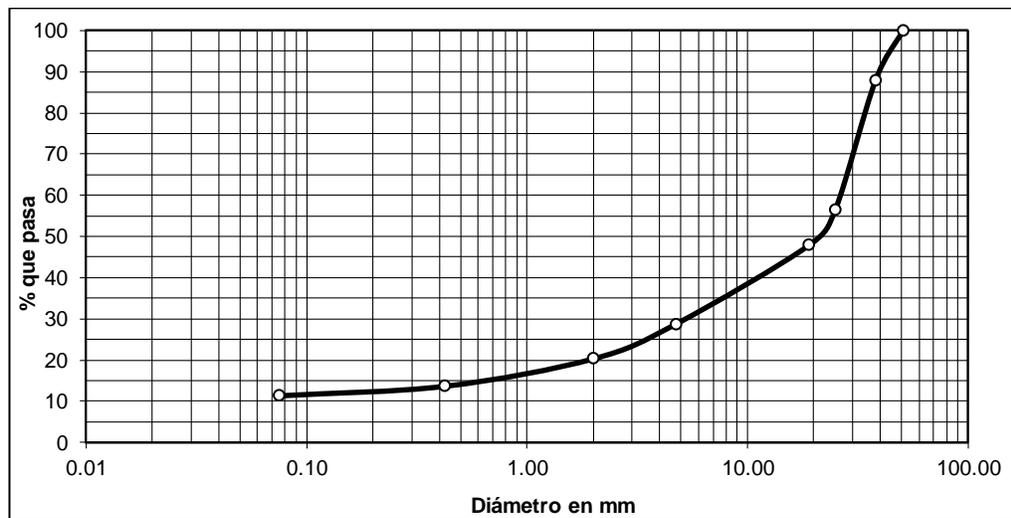
$$\% \text{ arena} = \text{porcentaje que pasa No. 4} - \text{porcentaje que pasa No. 200}$$

$$\% \text{ arena} = 28,76 - 11,31 = 17,46 \%$$

% finos = porcentaje que pasa No. 200

% finos = 11,31 %

Figura 41. **Granulometría block pómez**



Fuente: elaboración, propia con base a resultados del ensayo.

Figura 42. **Ensayo granulometría para block pómez reciclado**



Fuente: Área Mecánica de Suelos. FIUSAC.

Comentario final

Los resultados para el ensayo de block pómez para bases el tamiz 25,0 milímetros (1") es menor a los requisitos pedidos por las *Especificaciones generales para construcción de carreteras y puentes*, sección 305.3 inciso e).

4.5.5. Índice de plasticidad (AASHTO T-90)

Debido a que el block pómez no es plástico, no es posible determinar el índice de plasticidad de acuerdo con los requisitos establecidos, según las *Especificaciones generales para construcción de carreteras y puentes*, sección 305.03 inciso f).

4.5.6. Límite líquido (AASHTO T-89)

Debido a que la muestra de suelo continúa deslizándose sobre la copa casagrande, la prueba no es aplicada, por lo cual el límite líquido no se determinó.

Figura 43. **Muestra de block pómez reciclado**



Fuente: Área Mecánica de Suelos. FIUSAC.

4.6. Resultados comparativos entre materiales no reciclados (selecto) y materiales reciclados (concreto y block pómez) para bases y subbases

El material no reciclado utilizado como comparativo es una arena limosa con pómez, la cual conforma un suelo bastante común para la utilización de subbases y bases de carreteras en Guatemala.

Realizando el ensayo de granulometría para determinar la cantidad de arena y fino que presenta la muestra, se verifican las *Especificaciones generales para la construcción de carreteras y puentes*.

Asimismo, se realizó el ensayo de proctor y CBR para conocer la humedad óptima, el porcentaje de compactación, el porcentaje de CBR y el ensayo de límites de Atterberg para realizar la comparación con las *Especificaciones generales para la construcción de carreteras y puentes*. Las comparaciones para los diferentes materiales son utilizadas completamente con la finalidad de establecer distas en utilización y costos.

4.6.1. Análisis granulométrico para bases y subbases (AASHTO T-27 Y AASHTO T-11)

A continuación se presentan resultados para una granulometría de material no reciclado (arena limosa con pómez).

Tabla XLVII. **Análisis granulométrico por tamizado**

Estándar mm	Tamiz No.	Porcentaje que pasa
50,0	2"	
19,0	¾"	100,00
4,75	No. 4	97,21
2,00	No. 10	68,93
0,425	No. 40	56,25
0,075	No. 200	32,34

Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos, CII/USAC.

La tabla XLVII muestra el análisis granulométrico por tamizado realizado por el Laboratorio de Mecánica de Suelos.

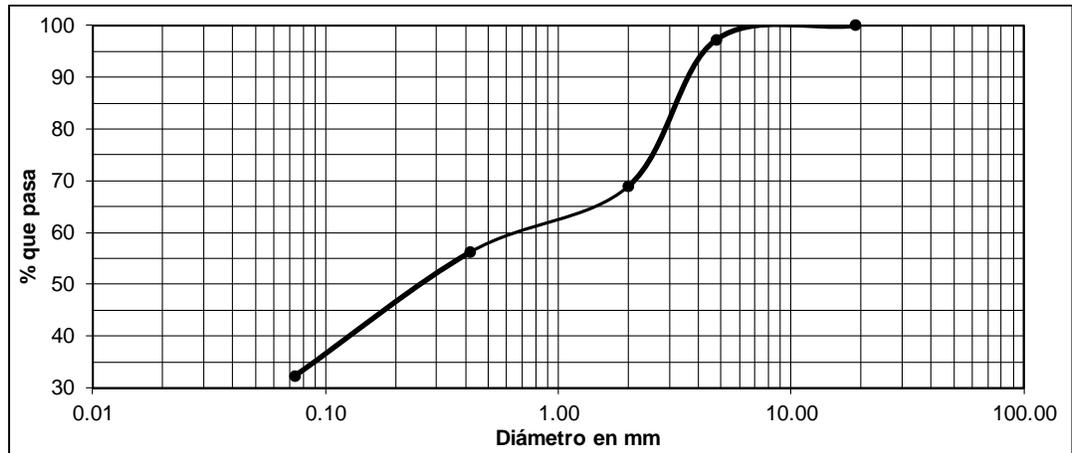
Determinar los porcentajes de los materiales contenidos en la muestra.

Porcentaje de grava = 2,79

Porcentaje de arena = 64,87

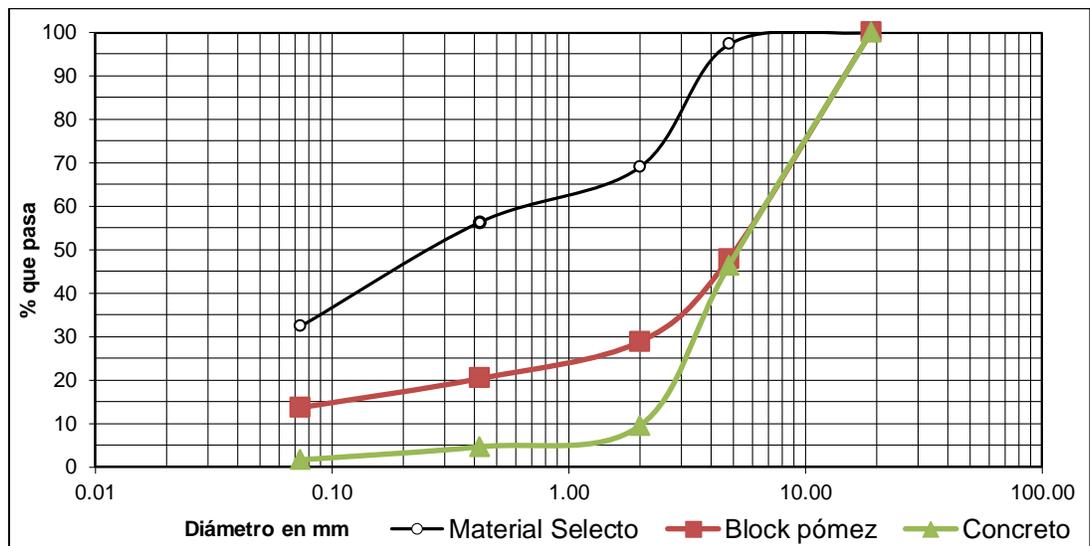
Porcentaje de finos = 32,34

Figura 44. Granulometría arena limosa con pómez



Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos, CII/USAC.

Figura 45. Distribución granulométrica entre el block pómez y concreto versus la distribución óptima de material selecto



Fuente: elaboración propia con base a resultados.

Al comparar las gráficas granulométricas, como se observa en la figura 45, la granulometría más similar al material selecto es el block pómez; ambos materiales reciclados presentan una gran cantidad de grava.

4.6.2. Valor soporte california CBR para subbases (AASHTO T-193)

Para la realización de este ensayo de compactación (proctor) y razón soporte california (CBR) se utilizó una muestra de arena limosa con pómez.

Del ensayo de compactación (proctor) Tipo c se determinaron los siguientes valores.

Tabla XLVIII. Datos para el ensayo de compactación tipo

Peso martillo: 10 lb Capas: 5 Golpes por capa: 25	Peso unitario seco máximo	$PUS_{m\acute{a}x}: 91,40 \text{ lb/pie}^3$
	Porcentaje de humedad óptima	$\%H_{opt}: 17,50 \%$

Fuente: Laboratorio de Mecánica de suelos, CII/USAC.

Tabla XLIX. Promedio peso unitario suelto

% H prom.	11,8	13,8	17,6	21,0
PUS (lb/pie³)	78,02	81,58	83,18	81,35

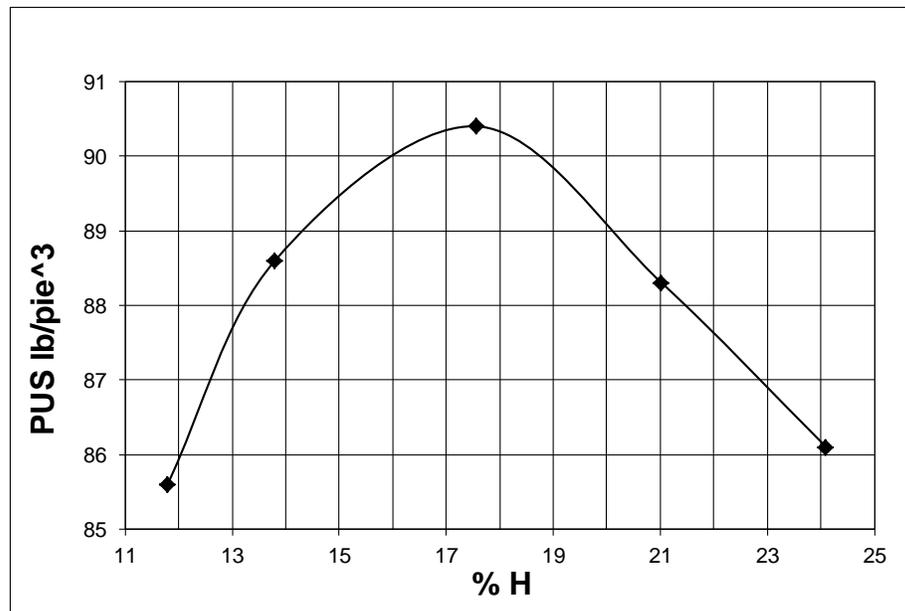
Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos, CII/USAC.

Tabla L. **Peso unitario suelto máximo-humedad óptima**

PUS máxima	1 464,23	kg/m ³
	91,40	lbs/pie ³
Humedad óptima	17.5	%

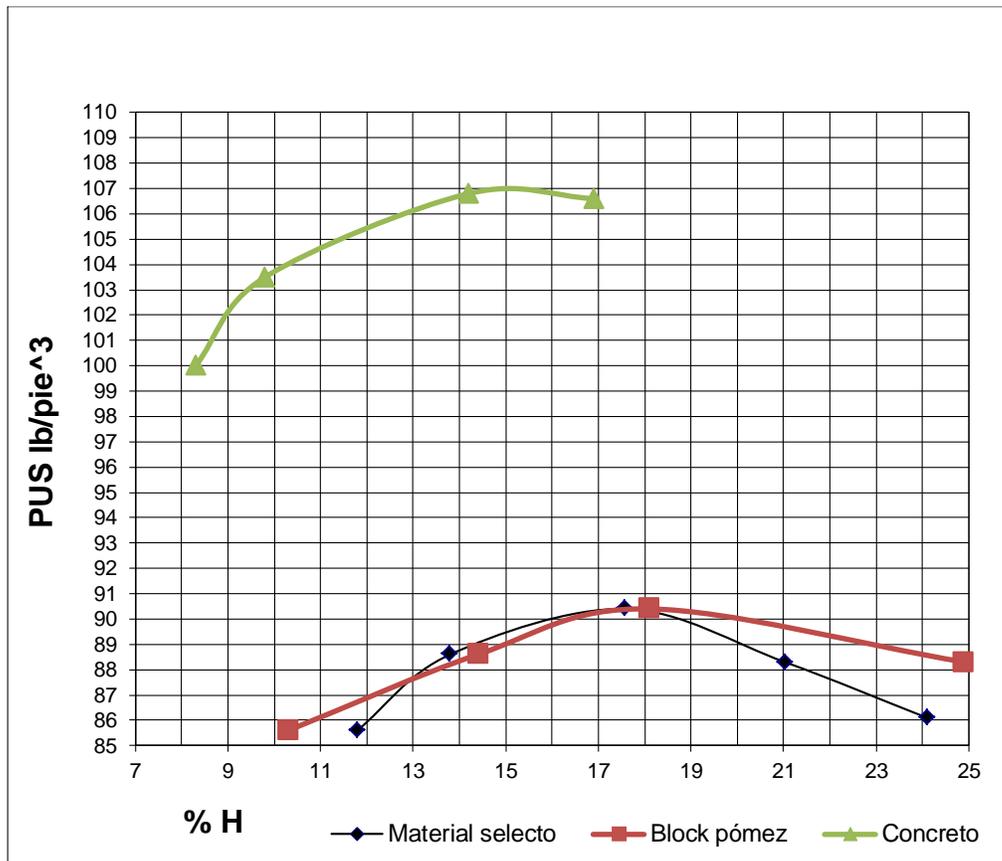
Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos, CII/USAC.

Figura 46. **Curva peso unitario seco versus humedad relativa**



Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos, CII/USAC.

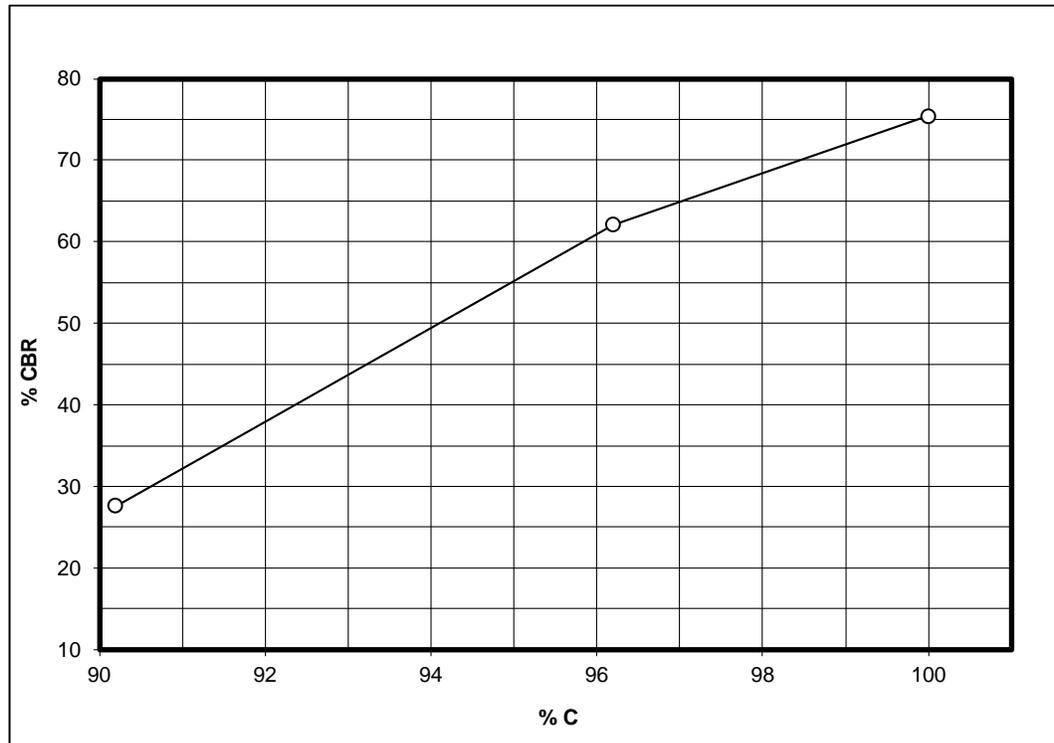
Figura 47. **Densidad seca-humedad relativa de material selecto versus block pómez y concreto reciclado**



Fuente: elaboración propia, con base a resultados.

Los resultados para el block pómez, como lo muestra la figura 47, son muy similares a los del selecto, el concreto muestra que la densidad del selecto se encuentra por debajo del mismo, esto indica que el grado de compactación para el concreto es evidentemente mayor.

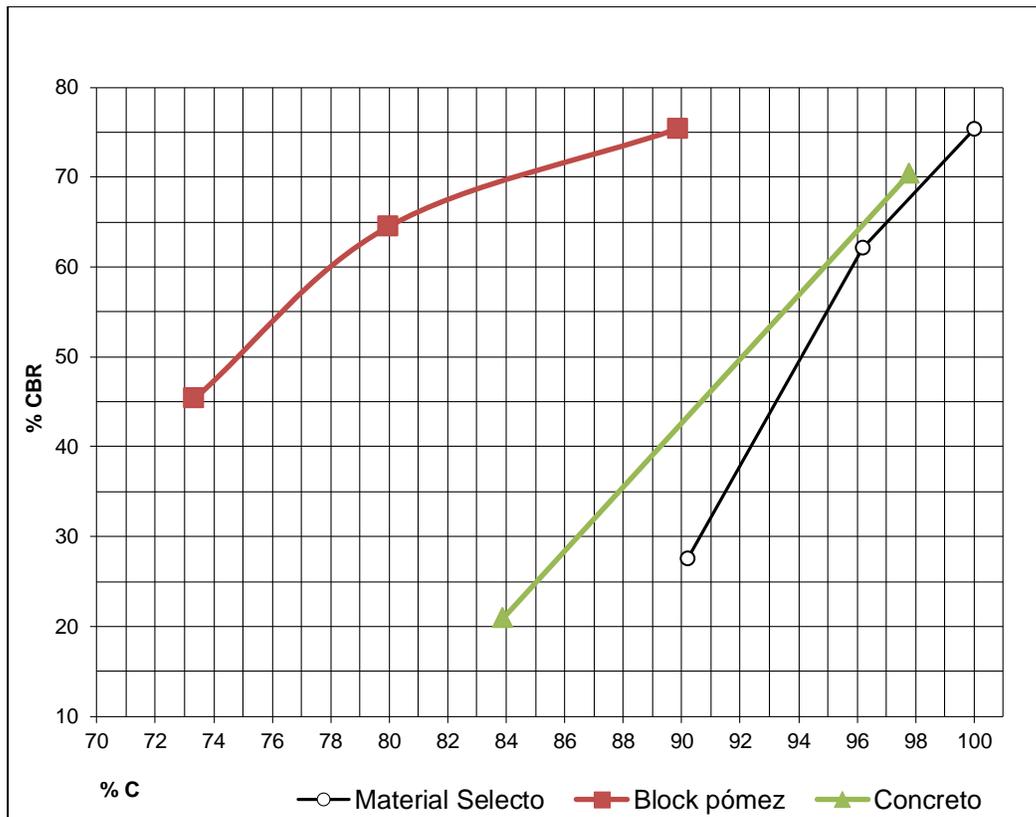
Figura 48. **Gráfica de porcentaje CBR - porcentaje de compactación**



Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos, CII/USAC.

La figura 48 muestra el porcentaje de compactación (% C) dado a cada porcentaje de CBR (% CBR), para el material selecto arena limosa con pómez.

Figura 49. Gráfica de porcentaje CBR - porcentaje de compactación material selecto versus block pómez y concreto reciclado



Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos, CII/USAC.

La figura 49 muestra cómo el material selecto cumple con las *Especificaciones generales para la construcción de carreteras y puentes*, la cual indica que se tendrá un CBR igual a 40 cuando se esté a 95 por ciento de compactación, a diferencia de los materiales reciclados que no cumplen con la normativa.

4.6.3. Valor soporte california CBR para bases (AASHTO T-193)

Para la realización de este ensayo de compactación (proctor) y razón soporte california (CBR), con una muestra con la siguiente descripción: arena limosa con pómez.

Del ensayo de compactación (proctor) tipo c se determinaron los valores que se muestran en las tablas LI, LII y LIII.

Tabla LI. Datos para el ensayo de compactación tipo

Peso martillo: 10 lb Capas: 5 Golpes por capa: 25	Peso unitario seco máximo	$PUS_{\text{máx}}: 91,40 \text{ lb/pe}^3$
	Porcentaje de humedad óptima	$\%H_{\text{opt}}: 17,50 \%$

Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos, CII/USAC.

Tabla LII. Promedio peso unitario suelto

% H prom.	11,80	13,80	17,60	21,00
PUS (lb/pe ³)	78,02	81,58	83,18	81,35

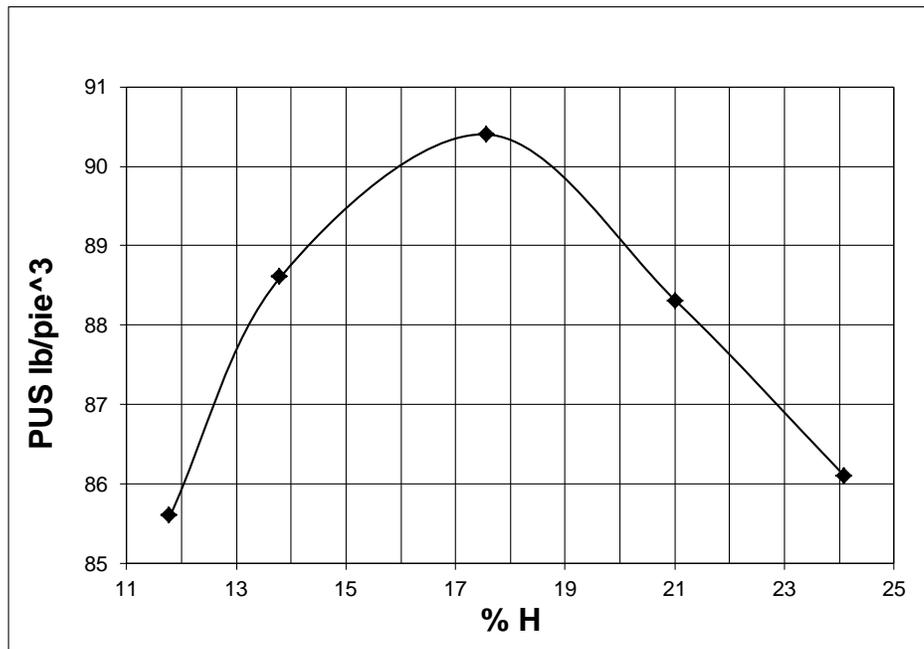
Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos, CII/USAC.

Tabla LIII. **Peso unitario suelto máximo-humedad óptima**

PUS máxima	1 464,23	kg/m ³
	91,40	lbs/pie ³
Humedad óptima	17,50	%

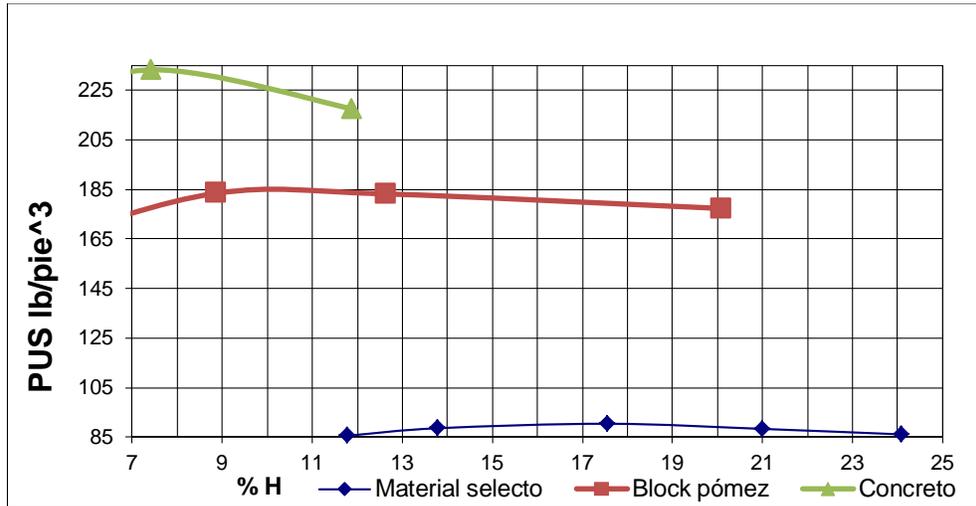
Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos, CII/USAC.

Figura 50. **Curva peso unitario seco versus humedad relativa**



Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos, CII/USAC.

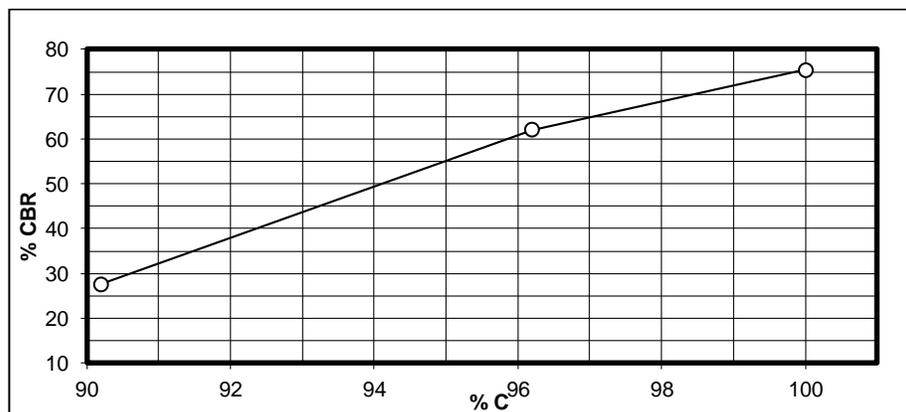
Figura 51. **Densidad seca-humedad relativa de material selecto versus block pómez y concreto reciclado**



Fuente: elaboración propia, con base a resultados.

Los resultados que muestra la figura 51, el concreto y el block pómez tienen una densidad superior a la del material selecto, lo cual indica que el grado de compactación para el concreto y el block pómez es mayor.

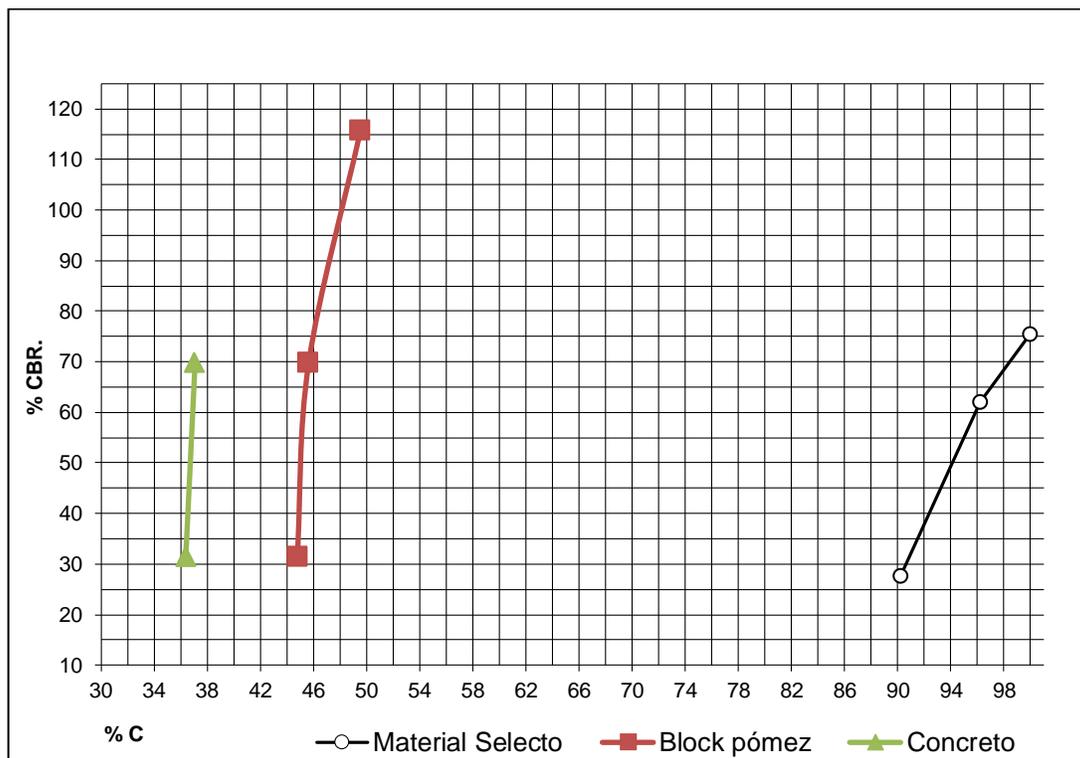
Figura 52. **Gráfica de porcentaje CBR – porcentaje de compactación**



Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos, CII/USAC.

La figura 52 muestra el porcentaje de compactación (% C) dado a cada porcentaje de CBR (% CBR), para el material selecto arena limosa con pómez.

Figura 53. **Gráfica de porcentaje CBR - porcentaje de compactación material selecto versus block pómez y concreto reciclado**



Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos, CII/USAC.

En la figura 53 se muestra cómo el material selecto cumple con las *Especificaciones generales para la construcción de carreteras y puentes*, la cual indica que se tendrá un CBR igual a 40 cuando se esté a 95 por ciento de compactación, a diferencia de los materiales reciclados que no cumplen con la normativa.

4.6.4. Límites de Atterberg para bases y subbases (AASHTO T-89 y T-90)

Se presentan los resultados de los límites de Atterberg, para el material arena limosa con pómez utilizado en bases y subbases de carreteras ensayados en el Laboratorio de Mecánica de Suelos, CII/USAC.

Figura 54. Límites de Atterberg

Ensayo No.	Muestra No.	LL (%)	IP (%)	CSU *	Descripción del suelo
1	1	NP	NP	SM	arena limosa con pómez

Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos, CII/USAC.

Los materiales reciclados (concreto y block pómez) son granulares, no presentan límites de Atterberg.

5. ANÁLISIS DE COSTOS

Es el proceso de identificación de los recursos necesarios para llevar a cabo una labor o un proyecto. Determina la calidad y cantidad de recursos necesarios, entre otros factores; analiza el costo del proyecto en términos de dinero.

El análisis de costos no solo ayuda a determinar el costo del proyecto y su mantenimiento, sino que, también sirve para determinar si vale o no la pena llevarlo a cabo.

5.1. Costo de la limpieza, trituración y preparación de concreto reciclado para carpetas asfálticas

En los costos de limpieza para la construcción, actualmente en Guatemala, no existe un rubro determinado para la limpieza y trituración del concreto reciclado; aunque en otros países como Brasil se obtienen costos de limpieza determinados por metro cúbico ascendiendo a dos dólares americanos con cincuenta centavos (US\$ 2,50/ m³) incluyéndose dentro de este los costos de transporte, mano de obra y abrasivos químicos, por lo cual se hace la comparación ante el material común, el cual tiene un costo de seis dólares americanos con cincuenta centavos por metro cúbico (US\$ 6,50/ m³), incluyendo únicamente la extracción del mismo.

Según las *Especificaciones del catálogo de renglones y precios unitarios* de la Unidad Ejecutora de Conservación Vial (COVIAL), en la rehabilitación de carreteras actualizada para agosto del 2012 se obtienen algunos costos para la

trituration y preparación del concreto reciclado. A continuación se presenta en la tabla XXXII las descripciones de renglones, su unidad métrica y su precio unitario.

Tabla LIV. **Costo de la trituración y preparación del concreto reciclado**

Descripción	Unidad	Precio unitario (Q)
Excavación no clasificada de material de desperdicio	m ³	45,21
Excavación en roca para material de desperdicio	m ³	166,05
Remoción de material inapropiado	m ³	48,63
Acarreo	m ³ -km	6,42
Capa de base con material triturado (sin acarreo)	m ³	319,86
Acarreo de piedra y material para base y concreto asfáltico en camión	m ³ -km	6,46

Fuente: Catálogo de renglones y precios unitarios, COVIAL.

5.2. Costo de la limpieza, trituración y preparación de block pómez reciclado para subbases y bases

El costo para la utilización del material reciclado conlleva una serie de variables determinadas y enmarcadas en relación a la distancia del banco de materiales. Generalmente en la reutilización de este tipo de material se puede decir que se obtiene mediante recolección de escombros en las diferentes construcciones, demoliciones y desechos de las diferentes industrias. Es por ello que para poder determinar el costo se aplicó un promedio evaluado en el desarrollo de los ensayos realizado en el Área de Mecánica de Suelos; para los mismos se realizó la contratación de dos ayudantes los cuales fueron contratados por jornal, ellos realizaron las tareas de limpieza, trituración y

preparación, adicionalmente traslado del material obtenido; prorrateando se obtuvo un costo de once quetzales con noventa y dos centavos por metro cubico por material (Q. 11,92/m³). A continuación se muestra en la tabla XXXIII en donde se especifican los costos de limpieza de block pómez para subbases y bases.

Tabla LV. **Costo de limpieza, trituración y preparación de block pómez reciclado para subbases y bases**

Descripción	Unidad	Precio unitario
Acarreo	m ³ -km	Q. 6,42
Clasificación	m ³	Q.1,50
Trituración	m ³	Q. 2,00
Tamizado	m ³	Q. 2,00
	Total	Q. 11,92 / m³

Fuente: elaboración propia.

El costo establecido anteriormente en la tabla XXXIII, son específicamente, para una cantidad pequeña de material block pómez reciclado aproximado de veinte y cinco kilogramos (25 kg) para cada uno de ellos; así mismo no se encuentra incluido el costo de la obtención del material debido a que pueden utilizarse diferentes fuentes de abastecimiento.

5.3. Costo de la limpieza, trituración y preparación de concreto reciclado para bases y subbases

Para el análisis de costos del material para la base y subbases se utilizó el mismo sistema de prorrateó que en el ítem anterior variando, únicamente el costo de los distintos elementos, conllevando una serie de variables

determinadas y enmarcadas en relación a la distancia del banco de materiales. Generalmente en la reutilización de este tipo de material se puede decir que se obtiene mediante recolección de escombros en las diferentes construcciones, demoliciones y desechos de las diferentes industrias. Es por ello que, para poder determinar el costo se aplicó un promedio evaluado en el desarrollo de los ensayos realizado en el Área de Mecánica de Suelos; para los mismos se realizó la contratación de dos ayudantes los cuales fueron contratados por jornal, ellos realizaron las tareas de limpieza, trituración y preparación, adicionalmente traslado de los materiales obtenido; prorrateando se obtuvo un costo de trece quetzales con cuarenta y dos centavos por metro cúbico por material (Q. 13,42/m³). A continuación se muestra en la tabla XXXIV en donde se especifican los costos de limpieza de concreto para bases y subbases.

Tabla LVI. **Costo de limpieza, trituración y preparación de block pómez y concreto reciclado para bases**

Descripción	Unidad	Precio unitario
Acarreo	m ³ -km	Q. 6,42
Clasificación	m ³	Q. 2,00
Trituración	m ³	Q. 3,00
Tamizado	m ³	Q. 2,00
	Total	Q. 13,42 / m³

Fuente: elaboración propia.

Los costos establecidos anteriormente en la tabla XXXIV, son específicamente, para una cantidad pequeña de material de concreto reciclado aproximado de veinte y cinco kilogramos (25 kg) por cada uno de ellos; así mismo no se encuentra incluido el costo de la obtención del material debido a que pueden utilizarse diferentes fuentes de abastecimiento.

5.4. Comparación entre costos de los materiales reciclados y materiales no reciclados para carpetas asfálticas bases y subbases

La comparación entre los costos de los materiales reciclados (concreto y block pómez) y materiales no reciclados (selecto), se realizó con base al prorrateo desglosado en las tablas XXXIII y XXXIV, en específico para el costo del material no reciclado se investigó en diferentes ventas de materiales para obtener un costo real del mismo o uno aproximadamente real. A continuación se muestra en la tabla XXXV la especificación de los costos comparativos entre los materiales reciclados y no reciclados.

Tabla LVII. **Comparación entre costos de los materiales reciclados y materiales no reciclados para carpetas asfálticas bases y subbases**

Descripción	Unidad	Precio unitario concreto	Precio unitario block pómez	Precio unitario material no reciclado
Obtención del material	m ³	-----	-----	Q. 65,00
Acarreo	m ³ -km	Q. 6,42	Q. 6,42	Q. 6,42
Clasificación	m ³	Q. 1,50	Q. 2,00	Q.0,00
Trituración	m ³	Q. 2,00	Q. 3,00	Q. 0,00
Tamizado	m ³	Q. 2,00	Q. 2,00	Q. 0,00
	Total	Q. 11,92 / m³	Q. 13,42 / m³	Q. 71,42 / m³

Fuente: elaboración propia.

Los costos establecidos anteriormente en la tabla XXXV, son específicamente, para una cantidad de material reciclado y no reciclado de un metro cúbico (1 m³), por cada uno de ellos; asimismo, no se encuentra incluido el costo de la obtención del material reciclado debido a que pueden utilizarse diferentes fuentes de abastecimiento.

CONCLUSIONES

1. Las propiedades físicas del block pómez y el concreto reciclado pueden clasificarse como grava o piedra triturada por las características, por ejemplo, una mayor presencia de partículas gruesas y la resistencia a compresión en caso del concreto.
2. Para obtener una graduación adecuada más parecida a los requerimientos mínimos que indican *las Especificaciones generales para la construcción de carreteras y puentes*, se debe de considerar agregar un tamaño de partícula no mayor a 4,75 milímetros.
3. Los ensayos realizados de acuerdo a las Normas ASTM y AASHTO muestra que es necesario que el block pómez y el concreto reciclado posean una mayor cantidad de arena para tener una mayor densificación y así obtener resultados más satisfactorios; el ensayo de desgaste de los ángeles mostró que ambos poseen muy poca resistencia mecánica, la cual es necesaria para el uso de esta investigación.
4. Los resultados mostrados en los distintos ensayos exponen que el material, en su mayoría, no llegan a cumplir los requisitos mínimos requeridos por las *Especificaciones generales para la construcción de carreteras y puentes*, por lo cual no son materiales idóneos para la construcción de bases y subbases en carreteras.

5. Dependiendo de la trituración del material se obtendrán diferentes resultados de granulometría, así como, distintos resultados en los demás ensayos realizados para este trabajo.

RECOMENDACIONES

1. Realizar un estudio para determinar si es viable como un material alternativo para carreteras de bajo tránsito vehicular como las calles de una colonia residencial, o parqueos de comercio.
2. Debido a que la abrasión en los dos materiales fue superior a la requerida en las *Especificaciones generales para la construcción de carreteras y puentes*, es importante realizar un estudio en donde se puedan mezclar los materiales con uno menos abrasivo.
3. Realizar la investigación agregando mayor porcentaje de partículas menores a 4,75 milímetros para evitar la fracturación de las partículas y no alterar la granulometría.
4. Los ensayos realizados para determinar el límite líquido e índice de plasticidad al material reciclado muestran que no cumplen con los requisitos mínimos en las *Especificaciones generales para la construcción de carreteras y puentes*, es importante tratar de estabilizar el material con cemento o algún tipo de emulsión para obtener resultados muy semejantes a los solicitados según la Norma.
5. Tomar en cuenta que en Guatemala, actualmente existe una sola empresa dedicada específicamente a la reutilización de materiales para la construcción, es por ello, que se exhorta a realizar más investigaciones de campo con diferentes tipos de material de esta índole.

BIBLIOGRAFÍA

1. AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials). *Book of standard specification for state highway and transportation officials*. USA: AASHTO, 2001. 20 p.
2. ASTM (American Society for Testing and Materials). *Book of standard specification for concrete aggregate*, volume 04.02. USA: ASTM, 1990. 12 p.
3. BOWLES, Joseph E. *Manual de laboratorio de suelos de ingeniería civil*. México: McGraw-Hill, 1981. 213 p.
4. CASTRO USLA, Mario. *Concreto reciclado*. México: 2004. 80 p.
5. Catálogo de renglones y precios unitarios. *Unidad ejecutora de conservación vial*. Guatemala, 2012. 6 p.
6. DAS, Braja M. *Fundamentos de ingeniería geotécnica*. México: Thompon, 2001. 6 p.
7. DE LEÓN, Herber Esau. *Guía para la construcción de pavimentos flexible y rígido de acuerdo con el modulo resiliente y modulo de reacción de la sub-rasante*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2011. 20 p.

8. Dirección General de Caminos Ministerio de Comunicación Infraestructura y Vivienda. *Especificaciones generales para construcción de carreteras y puentes*. Guatemala: CIV, 2001. 28 p.
9. HERNÁNDEZ CANALES, Juan Carlos. *Características físicas y propiedades mecánicas de los suelos y sus métodos de medición*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2008. 30 p.
10. MORALES RAMÍREZ, Evelyn Maribel. *Manual de apoyo docente para desarrollar ensayos de laboratorio, relacionados con materiales de construcción*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2006. 9 p.
11. Slide Share. [en línea]. <http://www.slideshare.net/jackielijanet/concreto-reciclado-14224182>. (consulta: 15 de octubre 2013).

ANEXOS

Ensayo de abrasión por máquina de los ángeles concreto



CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



ENSAYO DE ABRASION POR MAQUINA DE LOS ANGELES

ASTM C-131

INFORME No. S.C. - 346

O.T. No. 31353

INTERESADO: Claudia Judith Morales Mayen, Carné No. 200715116
PROYECTO: Trabajo de graduación "Ensayos para uso de concreto reciclado para carpetas asfálticas; concreto y block pómez para bases y sub-bases"
DIRECCION: 6a. Calle "B" 30-27, zona 6 de Mixco.
FECHA: 6 de mayo de 2013

REFERENCIAS	MUESTRA
1. Norma de Ensayo	ASTM C-131
2. Graduación	"A"
3. % Desgaste	51.70

OBSERVACIONES: a) Muestra de agregado proporcionada por el interesado
b) Muestra identificada como "Concreto"

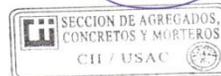
ATENTAMENTE,

Vo.Bo.

Inga. Telma Maricela Cano Morales
Directora CI/USAC



Inga. Dima Yanet Mejicanos Jol
Jefa Sección de Agregados, Concretos y Morteros



Ensayo de abrasión por máquina de los ángeles block



CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



ENSAYO DE ABRASION POR MAQUINA DE LOS ANGELES ASTM C-131

INFORME No. S.C. - 347

O.T. No. 31353

INTERESADO: Claudia Judith Morales Mayen, Carné No. 200715116
PROYECTO: Trabajo de graduación "Ensayos para uso de concreto reciclado para carpetas asfálticas; concreto y block pómez para bases y sub-bases"
DIRECCION: 6a. Calle "B" 30-27, zona 6 de Mixco.
FECHA: 6 de mayo de 2013

REFERENCIAS	MUESTRA
1. Norma de Ensayo	ASTM C-131
2. Graduación	"B"
3. % Desgaste	62.94

OBSERVACIONES: a) Muestra de agregado proporcionada por el interesado
b) Muestra identificada como "Block"

ATENTAMENTE,

Vo.Bo.

Inga. Telma Maricela Cano Morales
Directora CII/USAC



Inga. Dilma Yanez Mejicanos Jol
Jefa Sección de Agregados, Concretos y Morteros

