



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

**EVALUACIÓN FÍSICA, MECÁNICA Y DEFLECTOMETRÍA DEL PAVIMENTO ASFÁLTICO EN
EL PERÍMETRO DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA Y PROPUESTA
DE MANTENIMIENTO**

Maria Fernanda Díaz Alvarez

Asesorado por el Ing. Yefry Valentín Rosales Juárez

Guatemala, septiembre de 2017

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**EVALUACIÓN FÍSICA, MECÁNICA Y DEFLECTOMETRÍA DEL PAVIMENTO ASFÁLTICO EN
EL PERÍMETRO DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA Y PROPUESTA
DE MANTENIMIENTO**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

MARIA FERNANDA DÍAZ ALVAREZ

ASESORADO POR EL ING. YEFRY VALENTÍN ROSALES JUÁREZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERA CIVIL

GUATEMALA, SEPTIEMBRE DE 2017

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rogríguez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Jurgen Andoni Ramírez Ramírez
VOCAL V	Br. Oscar Humberto Galicia Nuñez
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Nicolás de Jesús Guzmán Sáenz
EXAMINADOR	Ing. Daniel Alfredo Cruz Pineda
EXAMINADOR	Ing. Dennis Salvador Argueta Mayorga
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

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:

EVALUACIÓN FÍSICA, MECÁNICA Y DEFLECTOMETRÍA DEL PAVIMENTO ASFÁLTICO EN EL PERÍMETRO DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA Y PROPUESTA DE MANTENIMIENTO

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha 9 de mayo de 2016.


Maria Fernanda Díaz Alvarez

Guatemala, 12 de Julio de 2017

Ingeniero

José Gabriel Ordóñez Morales

Coordinador del Área de Materiales y Construcciones Civiles

Universidad de San Carlos de Guatemala

Ingeniero Ordóñez:

Al saludarle cordialmente, me dirijo a usted para informarle que ha sido concluido satisfactoriamente el trabajo de graduación titulado: **“EVALUACIÓN FÍSICA, MECÁNICA Y DEFLECTOMETRÍA DEL PAVIMENTO ASFÁLTICO EN EL PERÍMETRO DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA Y PROPUESTA DE MANTENIMIENTO”** elaborado por la estudiante Maria Fernanda Díaz Alvarez con carné 201314644, tema para el cual fui asignado como asesor.

Considero que se han cumplido las metas propuestas al inicio del trabajo, por lo que recomiendo se apruebe en el entendido de que el autor y el suscrito son los responsables de lo trabajado y de las conclusiones del mismo.

Atentamente,



Ing. Yefry Valentín Rosales Juárez

Colegiado No. 7177



USAC

TRICENTENARIA

Universidad de San Carlos de Guatemala
FACULTAD DE INGENIERÍA

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

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL



Guatemala,
17 de agosto de 2017

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 **EVALUACIÓN FÍSICA, MECÁNICA Y DEFLECTOMETRÍA DEL PAVIMENTO ASFÁLTICO EN EL PERÍMETRO DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA Y PROPUESTA DE MANTENIMIENTO** desarrollado por la estudiante de Ingeniería Civil Maria Fernanda Díaz Alvarez quien contó con la asesoría del Ing. Yefry Valnetín Rosales Juárez.

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 José Gabriel Ordóñez Morales
Coordinador del Área de Materiales y
Construcciones Civiles



FACULTAD DE INGENIERIA
AREA DE MATERIALES Y
CONSTRUCCIONES CIVILES

USAC

/mrrm.



Mas de 136 años de Trabajo y Mejora Continua



USAC

TRICENTENARIA

Universidad de San Carlos de Guatemala
FACULTAD DE INGENIERÍA

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

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL



El director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor Ing. Yefry Valentín Rosales Juárez y Coordinador del Departamento de Materiales y Construcciones Civiles Ing. José Gabriel Ordóñez Morales, al trabajo de graduación de la estudiante Maria Fernanda Díaz Alvarez EVALUACIÓN FÍSICA, MECÁNICA Y DEFLECTOMETRÍA DEL PAVIMENTO ASFÁLTICO EN EL PERÍMETRO DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA Y PROPUESTA DE MANTENIMIENTO da por este medio su aprobación a dicho trabajo.


Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco



Guatemala, septiembre 2017

/mmm.



Mas de 136 años de Trabajo 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: **EVALUACIÓN FÍSICA, MECÁNICA Y DEFLECTOMETRÍA DEL PAVIMENTO ASFÁLTICO EN EL PERÍMETRO DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA Y PROPUESTA DE MANTENIMIENTO**, presentado por la estudiante universitaria: **Maria Fernanda Díaz Alvarez**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

Ing. Angel Roberto Sic Garza
Decano en Funciones



Guatemala, septiembre de 2017

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por bendecir e iluminar mi vida y por permitirme cumplir este sueño y vivir este momento.
- Mis padres** Jorge Díaz y Ana María de Díaz por ser instrumento de Dios al darme la vida. Por su amor, educación y formación moral y religiosa a través de esfuerzos y sacrificios.
- Mi hermano** Jorge Andrés, por su cariño, paciencia, comprensión y por hacerme la vida más feliz con su compañía.
- Abuelos** Ángel Díaz (q.e.p.d.), Natalia Porras, Cesar Álvarez y Rosario Rodríguez (q.e.p.d.), por su apoyo incondicional, su cariño y respeto.
- Mis amigos** Por haber compartido momentos inolvidables en mi vida universitaria y personal. Que nuestra amistad dure para siempre.
- Mi familia** Por su amor fraternal y por los momentos gratos que hemos vivido.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por ser el centro de enseñanza que inculcó en mí, la responsabilidad, el trabajo y la dedicación.
Facultad de Ingeniería	Por brindarme los conocimientos durante mis años de estudios universitarios.
Ing. Yefry Rosales	Por la orientación y ayuda para la realización de esta tesis. Por su apoyo y amistad, lo cual me permitió aprender mucho más de la carrera.
Ing. José Istupe	Por sus conocimientos, su paciencia y su amistad, que han sido fundamentales para culminar este trabajo.
Laboratorio de Asfaltos y Mecánica de Suelos	Por la ayuda brindada en la realización de los ensayos de laboratorio que contiene el presente trabajo de graduación.
Centro Escolar Campoalegre	Por todo el cariño, entrega y dedicación con que abordaron mi educación con valores durante once años. Por haber inculcado en mí las virtudes que me sirven para crecer como profesional y como persona.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	XI
LISTA DE SÍMBOLOS.....	XIX
GLOSARIO.....	XXI
RESUMEN.....	XXV
OBJETIVOS.....	XXVII
INTRODUCCIÓN.....	XXIX
1. RESEÑA HISTÓRICA DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA.....	1
1.1. Cronología del desarrollo de la Universidad de San Carlos de Guatemala.....	2
1.2. Misión, visión y fines de la universidad.....	4
1.2.1. Misión.....	4
1.2.2. Visión.....	5
1.2.3. Fin fundamental como institución superior docente del estado.....	6
1.3. Organización académica de la universidad.....	6
1.4. Población estudiantil.....	10
1.4.1. Estudiantes inscritos en la Universidad de San Carlos de Guatemala (1950 – 2016).	10
1.5. Análisis del tráfico de vehículos en la Universidad de San Carlos de Guatemala.....	19
1.5.1. Horas pico en la universidad.....	20
1.5.2. Accesos y sistema de circulación.....	23

2.	NORMAS DE ENSAYOS UTILIZADAS PARA LA EVALUACIÓN FÍSICA, MECÁNICA Y DEFLECTOMETRÍA DEL PAVIMENTO.	27
2.1.	Análisis de deterioros asociados con carga.....	27
2.1.1.	Inspección visual	27
2.1.1.1.	Metodología para la inspección visual en pavimentos flexibles.....	28
2.1.1.2.	Unidades y zonas de muestreo.....	29
2.1.2.	Tráfico promedio diario anual	30
2.1.2.1.	Tipos de vehículos.....	31
2.1.2.2.	Cálculo del tráfico promedio diario anual.....	32
2.2.	Ensayos destructivos	34
2.2.1.	Ensayos realizados a la base, subbase y subrasante.....	35
2.2.1.1.	Granulometría por tamizado y lavado previo (ASTM D 6913-04)	35
2.2.1.1.1.	Equipo requerido	37
2.2.1.1.2.	Procedimiento de ensayo	37
2.2.1.1.3.	Metodología de cálculo	38
2.2.1.2.	Ensayo de compactación Proctor Modificado (AASHTO T 180)	38
2.2.1.2.1.	Equipo requerido	39
2.2.1.2.2.	Procedimiento de ensayo	40
2.2.1.2.3.	Metodología de cálculo	41

2.2.1.3.	Capacidad de soporte de suelo compactado (CBR) (AASHTO T193)....	43
2.2.1.3.1.	Equipo requerido	44
2.2.1.3.2.	Procedimiento de ensayo	45
2.2.1.3.3.	Metodología de cálculo.....	48
2.2.1.4.	Límites de Atterberg (AASHTO T89 y T90)	49
2.2.1.4.1.	Descripción del ensayo para el límite líquido	50
2.2.1.4.2.	Equipo requerido	51
2.2.1.4.3.	Procedimiento de ensayo	51
2.2.1.4.4.	Metodología de cálculo.....	55
2.2.1.4.5.	Descripción del ensayo para límite plástico.....	56
2.2.1.4.6.	Equipo requerido	57
2.2.1.4.7.	Procedimiento de ensayo	58
2.2.1.4.8.	Metodología de cálculo.....	59
2.2.1.5.	Equivalente de arena (AASHTO T 176).....	59
2.2.1.5.1.	Equipo requerido	60

	2.2.1.5.2.	Procedimiento de ensayo	60
	2.2.1.5.3.	Metodología de cálculo	61
2.2.2.	Ensayos realizados a la carpeta de mezcla asfáltica		61
	2.2.2.1.	Análisis granulométrico para pavimento de concreto asfáltico (ASTM D3515).....	62
	2.2.2.1.1.	Equipo requerido	62
	2.2.2.1.2.	Procedimiento de ensayo	63
	2.2.2.1.3.	Metodología de cálculo	64
	2.2.2.2.	Gravedad específica Bulk de briquetas (ASTM D 1188)	65
	2.2.2.2.1.	Equipo requerido	65
	2.2.2.2.2.	Procedimiento de ensayo	65
	2.2.2.2.3.	Metodología de cálculo	66
	2.2.2.3.	Gravedad específica máxima teórica (ASTM D 2041).....	66
	2.2.2.3.1.	Equipo requerido	67
	2.2.2.3.2.	Procedimiento de ensayo	67
	2.2.2.3.3.	Metodología de cálculo	68

2.2.2.4.	Porcentaje de vacíos de aire en mezclas bituminosas densas y abiertas	69
2.2.2.4.1.	Metodología de cálculo.....	69
2.2.2.5.	Estabilidad y flujo Marshall (ASTM D 1559).....	70
2.2.2.5.1.	Equipo requerido	70
2.2.2.5.2.	Procedimiento de ensayo	71
2.2.2.5.3.	Metodología de cálculo.....	72
2.2.2.6.	Porcentaje de ligante asfáltico efectivo para ensayos de control de calidad.....	72
2.2.2.6.1.	Equipo requerido	72
2.2.2.6.2.	Procedimiento de ensayo	73
2.2.2.6.3.	Metodología de cálculo.....	73
2.3.	Ensayos no destructivos	74
2.4.	Medida de la deflexión de un pavimento empleando la viga Benkelman (AASHTO T 256).....	77
2.4.1.	Partes de la viga Benkelman.....	78
2.4.2.	Equipo requerido.....	80
2.4.3.	Procedimiento de ensayo.....	80
2.4.4.	Metodología de cálculo	83
2.4.4.1.	Procedimiento para obtener la deflexión representativa	84

	2.4.4.2.	Perfil longitudinal	86
	2.4.4.3.	Cálculo del número de diseño de tráfico (DTN)	86
	2.4.4.4.	Cálculo de la deflexión admisible y espesor de recapeo con concreto asfáltico	90
2.5.		Toma de muestras	92
	2.5.1.	Procedimiento para extracción de muestras	93
	2.5.2.	Procedimiento para extracción de núcleos de asfalto.....	94
	2.5.3.	Factores que influyen en la calidad de confección de muestras.....	95
	2.5.4.	Metodología estadística de muestreo	95
3.		MANTENIMIENTO DEL PAVIMENTO ASFÁLTICO.....	97
	3.1.	Sistema de administración de pavimentos	97
	3.2.	Tratamiento de mantenimiento preventivo.....	100
	3.2.1.	Sellado de grietas.....	103
	3.2.2.	Riegos asfálticos	103
	3.2.2.1.	Riego de imprimación	104
	3.2.2.2.	Riegos negros con emulsión diluida...	104
	3.2.2.3.	Riegos de liga.....	104
	3.2.2.4.	Riegos de sello	105
	3.2.2.5.	Morteros asfálticos.....	106
	3.2.3.	Micropavimentos	107
	3.2.4.	Capa asfáltica de refuerzo en frío o caliente.....	107
	3.2.5.	Bacheo superficial	108
	3.2.6.	Fresado	109
3.3.		Tratamientos de mantenimiento correctivo.....	111

3.3.1.	Reciclaje en frío de pavimentos asfálticos.....	112
3.3.2.	Colocación de base estabilizada.....	113
3.3.3.	Reciclaje en caliente de pavimentos asfálticos	114
3.3.4.	Perfilado de pavimento asfáltico	115
4.	METODOLOGÍA DEL EXPERIMENTO.....	117
4.1.	Toma de muestras en el pavimento de la Universidad.....	117
4.2.	Datos físicos de los núcleos de carpeta asfáltica, la base y la subbase	121
4.3.	Análisis de deterioro asociados con carga.....	124
4.3.1.	Inspección visual.....	125
4.3.2.	Tráfico promedio diario anual.....	130
4.4.	Resultados obtenidos de los ensayos de laboratorio	131
4.4.1.	Ensayos realizados a la base y subbase.....	131
4.4.1.1.	Análisis granulométrico con tamices y lavado previo (ASTM D 6913 –04)...	132
4.4.1.2.	Equivalente de arena (AASHTO T 176).....	133
4.4.1.3.	Ensayo de compactación Próctor modificado (AASHTO T 180).....	134
4.4.1.4.	Ensayo de razón soporte California (CBR) (AASHTO T 193)	135
4.4.1.5.	Ensayo de límites de Atterberg (AASHTO T 89 Y T 90)	136
4.4.2.	Ensayos realizados a la carpeta de mezcla asfáltica.....	136
4.4.2.1.	Ensayo de estabilidad y flujo Marshall (ASTM D 1559).....	136

4.4.2.2.	Ensayo densidad específica de Bulk (ASTM D 1188).....	137
4.4.2.3.	Gravedad específica teórica máxima <i>rice</i> (ASTM D 2041).....	138
4.4.2.4.	Porcentaje de ligante asfáltico efectivo para ensayos de control de calidad Pbe.....	139
4.4.2.5.	Porcentaje de vacíos de aire en mezclas bituminosas, densas y abiertas.....	140
4.4.2.6.	Análisis granulométrico para pavimento de concreto asfáltico (ASTM D 3515).....	140
4.4.3.	Medición de deflexiones utilizando la viga Benkelman	141
4.5.	Cálculo de los ensayos de laboratorio	142
4.5.1.	Ensayos realizados a la base y subbase	142
4.5.1.1.	Análisis granulométrico con tamices y lavado previo (ASTM D 6913–04) ...	142
4.5.1.2.	Equivalente de arena (AASHTO T 176)	148
4.5.1.3.	Ensayo de compactación Próctor modificado (AASHTO T 180)	151
4.5.1.4.	Ensayo de razón soporte California (CBR) (AASHTO T 193).....	156
4.5.2.	Ensayos realizados a la carpeta de mezcla asfáltica	162
4.5.2.1.	Ensayo de estabilidad y flujo Marshall (ASTM D 1559)	163

4.5.2.2.	Ensayo densidad específica de Bulk (ASTM D 1188)	165
4.5.2.3.	Gravedad específica teórica máxima <i>rice</i> (ASTM D 2041).....	166
4.5.2.4.	Porcentaje de ligante asfáltico efectivo para ensayos de control de calidad (pbe)	168
4.5.2.5.	Porcentaje de vacíos de aire en mezclas bituminosas, densas y abiertas	169
4.5.2.6.	Análisis granulométrico para pavimento de concreto asfáltico (ASTM D 3515)	170
4.5.3.	Cálculos utilizando las deflexiones obtenidas con la viga Benkelman.....	174
4.5.3.1.	Procedimiento para obtener la deflexión representativa	174
4.5.3.2.	Perfil longitudinal.....	175
4.5.3.3.	Cálculo del número de diseño de tráfico (DTN).....	176
4.5.3.4.	Cálculo de la deflexión admisible y espesor de recapeo con concreto asfáltico.....	178
5.	ANÁLISIS DE RESULTADOS	179
5.1.	Ensayos realizados a la base y subbase	179
5.1.1.	Análisis granulométrico con tamices y lavado previo (ASTM 6913–04)	180
5.1.2.	Equivalente de arena (AASHTO T 176)	183

5.1.3.	Ensayo de compactación Proctor modificado (AASHTO T 180).....	185
5.1.4.	Ensayo de razón soporte California (CBR) (AASHTO T 193).....	186
5.1.5.	Ensayo de límites de Atterberg (AASHTO T 89 Y T 90).....	187
5.2.	Ensayos realizados a la carpeta de mezcla asfáltica.....	188
5.2.1.	Ensayo de estabilidad y flujo Marshall (ASTM D 1559).....	188
5.2.2.	Gravedad específica Bulk de briquetas (ASTM D 1188).....	189
5.2.3.	Gravedad específica teórica máxima <i>rice</i> (ASTM D 2041).....	190
5.2.4.	Porcentaje de ligante asfáltico efectivo para ensayos de control de calidad.	191
5.2.5.	Porcentaje de vacíos de aire en mezclas bituminosas, densas y abiertas.....	192
5.2.6.	Análisis granulométrico para pavimento de concreto asfáltico (ASTM D 3515).....	193
5.3.	Deflexiones obtenidas a través de la viga Benkelman.....	194
CONCLUSIONES		197
RECOMENDACIONES		201
BIBLIOGRAFÍA.....		203
APÉNDICES		205
ANEXOS		213

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Organización académica de la Universidad de San Carlos de Guatemala	7
2.	Inscripción total por año	16
3.	Tasas de crecimiento poblacional ciclos académicos (1950 – 2016)....	18
4.	Cantidad de parqueos en la USAC	20
5.	Sentido avenida Petapa – Universidad.....	21
6.	Sentido Universidad -Periférico	22
7.	Velocidades permitidas en el campus central de la USAC	23
8.	Acceso Petapa – Universidad	24
9.	Acceso Periférico – Universidad.....	25
10.	Unidad de muestreo para caminos a nivel de red.....	30
11.	Unidad de muestreo para caminos concesionados	30
12.	Tipos de vehículos	32
13.	Tamaño de las partículas de un suelo, a través de tamizado	36
14.	Ejemplo de curva de compactación de la cual se obtiene humedad óptimal..	42
15.	Secciones de equipo de CBR.....	45
16.	copa de Casagrande	53
17.	Detalle del talón del aparato de Casagrande al ser calibrado.....	53
18.	Ranurado para ensayo de límite líquido	54
19.	Placa de vidrio esmerilizado de 20 x 20 cm.....	57
20.	Muestra de asfalto seco saturada	64
21.	Prensa Marshall	71

22.	Centrifugadora o extractora de bitúmen.....	73
23.	viga Benkelman	75
24.	DeflectómetroLacroix.....	76
25.	Equipo Dynaflect	76
26.	Equipo Kuad.....	77
27.	Esquema de la viga Benkelman.....	78
28.	Configuración geométrica del sistema de carga en ensayos con la viga Benkelman	82
29.	Esquematzación del proceso de medición con la viga Benkelman.....	83
30.	Factor de ajuste de temperaturas para deflexiones con la viga Benkelman.....	85
31.	Carta de análisis de tránsito del Instituto Norteamericano del Asfalto..	89
32.	Deflexión de diseño de acuerdo al número de diseño de tráfico (DTN).....	91
33.	Espesor de recapeo con concreto asfáltico requerido para reducir la deflexión del pavimento.	92
34.	Extracción de una calicata en un pavimento	93
35.	Ejemplo de una calicata terminada	94
36.	Extractor de núcleos utilizada en el bulevar universitario	96
37.	Relleno de los hoyos producidos por la extracción	96
38.	Categoría de mantenimiento de pavimentos.....	99
39.	Pavimentación con fresadora y pavimentadora	110
40.	Proceso de reciclaje de pavimentos	112
41.	Localización de las muestras extraídas	119
42.	Extracción de calicatas al lado del pavimento de la Universidad de San Carlos de Guatemala.....	120
43.	Extracción de núcleos del pavimento de la Universidad de San Carlos de Guatemala.....	120

44.	Briqueta núm. 2 extraída del pavimento de la Universidad de San Carlos de Guatemala	121
45.	Subbase del pozo 1	122
46.	Base del pozo 1	122
47.	Base del pozo 2	123
48.	Base del pozo 3	124
49.	Sección transversal del pavimento universitario	125
50.	Bulevar universitario en CALUSAC	126
51.	Bulevar universitario en el Polideportivo Usac.....	127
52.	Bache localizado en el pavimento universitario	128
53.	Grieta de borde localizado en el perímetro universitario	129
54.	Grieta longitudinal en el perímetro universitario	130
55.	Tipos de vehículos que transitan por el bulevar universitario	131
56.	Gráfica de granulometría ensayada para subbase pozo 1 ubicado frente al CII (estación 3 + 000)	143
57.	Gráfica de granulometría ensayada de la subbase del pozo 2 ubicado a inmediaciones del edificio S-11 (estación 0 + 500).....	144
58.	Gráfica de granulometría ensayada de la subbase del pozo 3 ubicada cerca del estadio Revolución (estación 1 + 000).....	145
59.	Gráfica de granulometría ensayada para la base del pozo 1 ubicado frente al CII (estación 3 + 000).....	146
60.	Gráfica de granulometría ensayada para la base del pozo 2 ubicado a inmediaciones del edificio S-11 (estación 0 + 500).....	147
61.	Gráfica de granulometría ensayada para la base del pozo 3 ubicado cerca del estadio Revolución (estación 1 + 000).....	148
62.	Gráfica de densidad seca – humedad relativa de la subbase del pozo 1 ubicado frente al CII (estación 3 + 000)	151

63.	Gráfica de densidad seca – humedad relativa de la subbase del pozo 2 ubicado a inmediaciones del edificio S–11 (estación 0 + 500).....	152
64.	Gráfica de densidad seca – humedad relativa de la subbase del pozo 3 ubicado cerca del estadio Revolución (estación 1 + 000).....	153
65.	Gráfica de densidad seca – humedad relativa de la base del pozo 1 ubicado frente al CII (estación 3 + 000)	154
66.	Gráfica de densidad seca – humedad relativa de la base del pozo 2 ubicado a inmediaciones del edificio S–11 (estación 0 + 500)	155
67.	Gráfica de densidad seca – humedad relativa de la base del pozo 3 ubicado cerca del estadio Revolución (estación 1 + 000)	156
68.	Gráfica de porcentaje de CBR – porcentaje de compactación para la subbase del pozo 1 ubicado frente al CII (estación 3 + 000)	157
69.	Gráfica de porcentaje de CBR – porcentaje de compactación para la subbase del pozo 2 ubicado a inmediaciones del edificio S–11 (estación 0 + 500).....	158
70.	Gráfica de porcentaje de CBR – porcentaje de compactación para la subbase del pozo 3 ubicado cerca del estadio Revolución (estación 1 + 000).....	159
71.	Gráfica de porcentaje de C.B.R. – porcentaje de compactación para la base del pozo 1 ubicado frente al CII (estación 3 + 000).....	160
72.	Gráfica de porcentaje de CBR – porcentaje de compactación para la base del pozo 2 ubicado a inmediaciones del edificio S–11 (estación 0 + 500).....	161
73.	Gráfica de porcentaje de CBR – porcentaje de compactación para la base del pozo 3 ubicado frente al estadio Revolución (estación 1 + 000).....	162
74.	Gráfica de granulometría ensayada probeta 1 con límites extraídos de la sección 401 del Libro Azul y de norma (ASTM C 33)	171

75.	Gráfica de granulometría ensayada probeta 2 con límites extraídos de la sección 401 del Libro Azul y de norma (ASTM C 33).....	172
76.	Gráfica de granulometría ensayada probeta 3 con límites extraídos de la sección 401 del Libro Azul y de norma (ASTM C 33).....	173
77.	Perfil longitudinal del pavimento universitario	176
78.	Gráfica de análisis granulométrico de la subbase del pozo 1 con límites extraídos de la sección 304 del Libro Azul y norma (ASTM C 33).....	180
79.	Gráfica de análisis granulométrico de la base del pozo 1 con límites extraídos de la sección 304 del Libro Azul	181
80.	Gráfica de análisis granulométrico de la base del pozo 2 con límites extraídos de la sección 304 del Libro Azul	182
81.	Gráfica de análisis granulométrico de la base del pozo 3 con límites extraídos de la sección 304 del Libro Azul	183
82.	Gráfica de granulometría de la probeta 1 con límites extraídos de la sección 401 del Libro Azul y de norma (ASTM C 33)	194

TABLAS

I.	Desarrollo histórico de la Universidad de San Carlos de Guatemala en cinco etapas	2
II.	Inscripción total por unidad académica (1950 – 1960)	10
III.	Inscripción total por unidad académica (1960 – 1970)	11
IV.	Inscripción total por unidad académica (1970 – 1980)	12
V.	Inscripción total por unidad académica (1980 – 1990)	13
VI.	Inscripción total por unidad académica (1990 – 2000)	14
VII.	Inscripción total por unidad académica (2000 – 2010)	15
VIII.	Tasas de crecimiento de la población estudiantil (1950 – 2015).....	17
IX.	Nomenclatura del tipo de vehículos.....	32

X.	Tamaño de la muestra de prueba	36
XI.	Factores para cálculo de límite líquido por un punto	56
XII.	Graduación de agregados para pavimentos de concreto asfáltico	63
XIII.	Localización del punto de ensayo	81
XIV.	Coeficiente para período crítico	85
XV.	Porcentaje de tránsito total de vehículos pesados en dos direcciones que debe considerarse en el carril de diseño	87
XVI.	Rangos estimados en porcentaje de pesos brutos vehiculares promedio	87
XVII.	Factores de corrección del NTI, para obtener el NTD	90
XVIII.	Tipología de los deterioros en pavimentos y posibles causas	101
XIX.	Posibles tratamientos de mantenimiento preventivo para cada tipo de deterioro.	102
XX.	Espesores y alturas de las briquetas extraídas	121
XXI.	Datos de los pozos extraídos	132
XXII.	Lectura de arena y arcilla de los pozos	133
XXIII.	Humedad promedio y PUS de los pozos	134
XXIV.	Humedad y densidad de las muestras	135
XXV.	Deflexiones obtenidas utilizando la viga Benkelman	141
XXVI.	Análisis con tamices de subbase pozo 1 ubicado frente al CII (estación 3 + 000)	142
XXVII.	Análisis con tamices de la subbase del pozo 2 ubicado a inmediaciones del edificio S-11 (estación 0 + 500)	143
XXVIII.	Análisis de tamices de la subbase del pozo 3 ubicado cerca del estadio Revolución (estación 1 + 000)	144
XXIX.	Análisis con tamices de la base del pozo 1 ubicado frente al CII (estación 3 + 000)	145
XXX.	Análisis con tamices de la base del pozo 2 ubicado a inmediaciones del edificio S-11 (estación 0 + 500)	146

XXXI.	Análisis con tamices de la base del pozo 3 ubicado cerca del estadio Revolución (estación 1 + 000)	147
XXXII.	Capacidad de soporte para la subbase del pozo 1 ubicado frente al CII (estación 3 + 000)	156
XXXIII.	Capacidad de soporte para la subbase del pozo 2 ubicado a inmediaciones del edificio S-11 (estación 0 + 500)	157
XXXIV.	Capacidad de soporte para la subbase del pozo 3 ubicado cerca del estadio Revolución (estación 1 + 000)	158
XXXV.	Capacidad de soporte para la base del pozo 1 ubicado frente al CII (estación 3 + 000)	159
XXXVI.	Capacidad de soporte para la base del pozo 2 ubicado a inmediaciones del edificio S-11 (estación 0 + 500)	160
XXXVII.	Capacidad de soporte para la base del pozo 3 ubicado frente al estadio Revolución (estación 1 + 000)	161
XXXVIII.	Graduación de agregados para pavimento de concreto asfáltico (ASTM D 3515)	170
XXXIX.	Resultados de la granulometría ensayada probeta 1	171
XL.	Resultados de la granulometría ensayada probeta 2	172
XLI.	Resultados de la granulometría ensayada probeta 3	173
XLII.	Equivalente de arena de los tres pozos	184
XLIII.	Densidad seca máxima y humedad óptima de las muestras de suelo	185
XLIV.	Porcentaje de CBR a 95 % de compactación	186
XLV.	Valores de estabilidad y flujo de las briquetas ensayadas	188
XLVI.	Gravedad específica Bulk de los núcleos ensayados	189
XLVII.	Gravedad específica teórica máxima <i>rice</i> de los núcleos ensayados	190
XLVIII.	Porcentaje de bitumen de las probetas ensayadas	191
XLIX.	Porcentaje de vacíos de las probetas ensayadas	192

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
Pbe	Contenido de asfalto efectivo.
g	Gramo.
Gmb	Gravedad específica Bulk de briquetas.
Gmm	Gravedad específica teórica máxima <i>rice</i> .
h	Hora.
Kg	Kilogramo: 1 000 gramos.
Kg/cm ²	Kilogramo por centímetro cuadrado.
Km	Kilómetro: 1 000 metros.
Km/h	Kilómetros por hora.
kN	Kilonewton
Kpa	Kilopascal
Lb	Libra: 0,4536 kilogramos.
A	Masa del espécimen de mezcla asfáltica.
B	Masa del espécimen de mezcla asfáltica saturado y con superficie seca.
C	Masa del espécimen de mezcla asfáltica sumergido en agua.
E	Masa del picnómetro con la muestra y lleno de agua.
D	Masa del picnómetro lleno de agua.
m	Metro.
m/s	Metros por segundo.
mm	Milímetro.
min	Minuto.

NTI	Número de tráfico inicial.
Ppc	Peso promedio de carga de camiones pesados.
Va	Porcentaje de vacíos de aire.
in	Pulgada.
s	Segundo.
T	Tonelada métrica: 2 2046 lb.

GLOSARIO

AASHTO	American Association of State Highways and Transportation Officials.
Aglomerante	Material que en estado pastoso y con consistencia variable, es capaz de unir fragmentos de una o varias sustancias y dar cohesión al conjunto.
Agregado pétreo	Agregado proveniente de la trituración de roca, de piedra o de un peñasco.
ASTM	American Society of Testing Materials.
Bache	Pequeño desnivel en el suelo o en el pavimento, producido por la pérdida o hundimiento de la capa superficial o carpeta de rodadura.
Base granular	Es la capa formada por la combinación de piedra o grava con arena y suelo, en su estado natural, clasificados o con trituración parcial.
Beaker	Vasos de precipitados de vidrio, comúnmente utilizado en laboratorio para preparar o calentar sustancias y traspasar líquidos.

Calicata	Excavaciones de profundidad pequeña a media, realizadas normalmente con pala, con la función de facilitar el reconocimiento geotécnico de un terreno.
Centrifugadora	Máquina que aprovecha la fuerza centrífuga para secar ciertas sustancias o para separar los componentes de una masa o mezcla.
Compactación	Todo proceso que aumente el peso volumétrico de un material granular.
Contenido de asfalto	Cantidad de asfalto que se adiciona a la mezcla de agregados pétreos para obtener las cualidades deseadas de la mezcla.
Deformímetro	Instrumento que mide desplazamientos lineales.
Densidad	Relación que existe entre la masa y el volumen que ocupa una sustancia.
DTN	Número de diseño de tráfico
Estabilidad	Capacidad de la mezcla asfáltica para resistir desplazamiento y deformación bajo la aplicación de carga.
Exudación	Presencia de una película de material bituminoso en la superficie del pavimento, la cual forma una

superficie brillante, cristalina y reflectora, ocasionada por el exceso de asfalto en la mezcla.

Fisura longitudinal	Discontinuidades en la carpeta asfáltica, en la misma dirección del tránsito, debido a la existencia de esfuerzos a tensión en algunas de las capas de la estructura.
Fluencia	Deformación en centésimas de pulgada de la briqueta, bajo la carga de estabilidad Marshall.
Granulometría	Distribución de los diferentes tamaños de las partículas de un agregado.
Grieta de borde	Grietas con tendencia longitudinal ubicadas cerca del borde de la calzada. Se presenta por ausencia de hombro, o por la diferencia de nivel entre el hombro y la calzada.
Limo	Suelo de grano fino con poca o ninguna plasticidad. Su diámetro es de 0,0005 mm a 0,005 mm. Su permeabilidad es baja y su compresibilidad es alta.
Libro Azul	Las especificaciones generales para la construcción de carreteras y puentes, es el compendio que norma en forma general, las relaciones entre la Dirección General de Caminos y los contratistas, para todas sus obras.

Picnómetro	Recipiente de pequeñas dimensiones que se usa para determinar la densidad de un sólido o de un líquido.
TPDA	Tránsito promedio diario anual.
Tamiz	Conjunto de mallas que tiene aberturas progresivamente pequeñas, por donde pasa el suelo.
Viga Benkelman	Instrumento completamente mecánico y de diseño simple, que funciona según el principio de la palanca para medir las deflexiones del pavimento.

RESUMEN

La evaluación de las estructuras de pavimentos flexibles es un tema de estudio e investigación, como consecuencia de los diversos resultados obtenidos en la construcción, y particularmente, en la recuperación de la estructura de las vías vehiculares pavimentadas. El presente trabajo de investigación tuvo como objetivo principal realizar una evaluación funcional, estructural y deflectometría del pavimento asfáltico en el perímetro de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Para definir un diagnóstico del pavimento fue necesario realizar calicatas para extraer muestras de suelo de la base y subbase, así como la extracción de núcleos de asfalto para realizarles las pruebas de control de calidad, con el fin de comparar los resultados técnicos con los requerimientos que dicta el Libro Azul. Adicionalmente se midieron las deflexiones del pavimento con la Viga Benkelman para conocer el estado de la carretera y la necesidad de colocar un refuerzo al pavimento.

El marco teórico de este trabajo consistió en realizar una investigación histórica respecto a la construcción de la carretera en la universidad, crecimiento poblacional, y factores claves que pueden afectar el estado del pavimento universitario. Así mismo, se describe la metodología de los ensayos realizados a las muestras extraídas, y se explica el procedimiento para utilizar la viga Benkelman. Finalmente, se describen las medidas de reparación que existen de los pavimentos flexibles acorde a un mantenimiento preventivo o correctivo.

OBJETIVOS

General

Realizar una evaluación funcional, estructural y deflectometría del pavimento asfáltico en el perímetro de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Específicos

1. Realizar una investigación histórica respecto a la construcción de la carretera en la universidad, el crecimiento poblacional y factores clave que pueden afectar el estado del pavimento asfáltico.
2. Determinar la calidad de la carpeta de rodadura existente, así como de la base y subbase del pavimento, a través de las propiedades mecánicas, y características físicas, por medio de los resultados obtenidos de los respectivos ensayos.
3. Determinar la deflexión representativa del pavimento por medio de los resultados obtenidos en el ensayo de viga Benkelman.
4. Proponer una medida de reparación al pavimento como parte de un adecuado mantenimiento de la carretera.

INTRODUCCIÓN

Uno de los daños superficiales que contribuyen al deterioro en el tiempo de las mezclas asfálticas es el proceso de envejecimiento. La evaluación del estado actual de una carretera es útil no solo para determinar las características propias de la mezcla asfáltica que fue colocada, y los factores externos que pudieron dañarla, sino también para determinar la necesidad de colocación de refuerzos en ciertos sectores, y así alargar la vida útil de la carretera.

La realización de este trabajo se debe al interés que se tiene en evaluar el estado actual de la carretera que rodea el perímetro de la Universidad de San Carlos de Guatemala. Este campus, localizado en zona 12, consta de dos entradas. La primera se localiza en el Anillo Periférico y la segunda en la avenida Petapa. A través de estos dos ingresos, el tránsito promedio diario, suele ser bastante congestionado, lo cual aumenta la probabilidad de ocasionar un daño considerable en el pavimento.

La evaluación del pavimento asfáltico en la carretera de la Universidad de San Carlos de Guatemala, será realizada a través de una serie de ensayos de laboratorio y de campo que establecerán parámetros indicadores de envejecimiento de tipo físico y mecánico. Estos resultados serán comparados con los requerimientos de las Especificaciones generales para la construcción de carreteras y puentes de la Dirección General de Caminos. Finalmente, se propondrá una medida de reparación al pavimento como parte de un adecuado mantenimiento de la carretera.

1. RESEÑA HISTÓRICA DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

La Universidad de San Carlos de Guatemala, fundada en 1676, es la universidad más grande y antigua de Guatemala, siendo además la única estatal y la más prestigiosa institución de educación superior en Centro América hasta 1954. En su época inicial se abrieron cátedras tales como teología, escolástica, leyes y medicina. En 1769 se crearon cursos de física y geometría que abrieron campo a la enseñanza de ciencias exactas y a la apertura de carreras técnicas.

El desarrollo histórico de la universidad puede dividirse en cinco etapas:

- Real y Pontificia Universidad de San Carlos de Borromeo (1676 – 1892): para la sociedad española de la Ciudad de Guatemala, la instauración de la universidad fue un acontecimiento memorable. Fue establecida por la corona española, aprobada por la Santa Sede y dirigida por órdenes regulares de la iglesia católica. Luego de la independencia de Guatemala en 1821 se llamó únicamente Pontificia Universidad.
- Academia de Ciencias:(1834 – 1840): se crea durante el mandato del Dr. Don Mariano Gálvez, como sucesora de la Universidad de San Carlos. En esta institución se implanta la enseñanza del álgebra, trigonometría y física, otorgando los primeros títulos de agrimensores en el país.
- Nacional y Pontificia Universidad de San Carlos de Borromeo: (1840 – 1875) deja de funcionar la Academia de Ciencias para volver a transformarse en la Universidad. Se realiza bajo el mandato de Rafael Carrera y se publican los estatutos para una nueva organización.

- Universidad Nacional de Guatemala: (1875 – 1944) institución laica positivista dividida en las escuelas de derecho y notariado, medicina y farmacia. Brevemente se llamó Universidad “Estrada Cabrera”.
- Universidad de San Carlos de Guatemala:(1944 – presente) institución laica del estado con orientación social, instituida luego de la revolución de 1944.

1.1. **Cronología del desarrollo de la Universidad de San Carlos de Guatemala.**

La Universidad de San Carlos de Guatemala es la única universidad estatal de Guatemala, la cual, a través de la historia, ha impulsado iniciativas por el progreso del país. Esta ha sufrido varios cambios desde su fundación hasta la actualidad, sin embargo, mantiene como principio primordial difundir el conocimiento a nivel superior con una consciencia moral y ética, con el objetivo de mejorar el nivel intelectual de la población y, por ende, su calidad de vida. En la siguiente tabla se muestran los cambios que ha tenido la universidad a lo largo de su historia.

Tabla I. **Desarrollo histórico de la Universidad de San Carlos de Guatemala en cinco etapas**

Real y Pontificia Universidad de San Carlos de Borromeo	
1676	Es fundada la universidad por real cédula de Carlos II, siendo la cuarta universidad fundada en América
1686	Asume el cargo de primer rector el doctor Jose de Baños y Sotomayor
1687	La universidad recibe la aprobación papal por bula
1717	Se presenta el primer candidato de doctor en medicina Vicente Ferrer Gonzales
1769	Se crean los cursos de física y geometría, lo cual marco el inicio de la enseñanza de ciencias exactas.

Continuación de la tabla I.

1776	Se traslada la universidad, de la Antigua Guatemala, a la Nueva Guatemala de la Asunción
Academia de Ciencias	
1834	Bajo el mandato del Dr. Mariano Galvez, se crea la Academia de Ciencias, implantando la enseñanza de álgebra, trigonometría, geometría y física y graduando los primeros agrimensores.
Nacional y Pontificia Universidad de San Carlos de Borromeo	
1840	Bajo el gobierno del Gral. Rafael Carrera, la Academia de Ciencias vuelve a transformarse en universidad teológica.
1851	La universidad pasa a estar bajo cuidado de los jesuitas.
1852	Dado el concordato con la Santa Sede, la carrera clerical resulta ser la más conveniente. El resto de estudiantes se dividen entre Derecho y Medicina.
1873	Se fundó la Escuela Politécnica para formar ingenieros militares, topógrafos, telégrafos y oficiales del ejército.
Universidad Nacional de Guatemala	
1875	Bajo el gobierno de Justo Rufino Barrios, se suprime la Pontificia Universidad de San Carlos, y se crea la Universidad Nacional de Guatemala, que quedó bajo el poder absoluto del estado. Funcionan las facultades de Jurisprudencia, Medicina, Farmacia y Ciencias Políticas y sociales
1877	Se fundó la Universidad de Occidente, que contó con la facultad de Notariado y Derecho
1879	Se crean las facultades de Ingeniería, Filosofía y Literatura
1895	Se inicia nuevamente los estudios de ingeniería en la Escuela Politécnica
1908	Se suprime la Escuela Politécnica, debido a la inestabilidad de los estudios de ingeniería
1918	La universidad pasa a llamarse Universidad "Estrada Cabrera"
1920	Se disuelve la Universidad "Estrada Cabrera" tras el derrocamiento del presidente
1920	Se inició la Extensión Universitaria, la Asociación de Estudiantes Universitarios, la Asociación del Derecho y la Juventud Médica
1930	Se reestructuraron los estudios estableciéndose la carrera de Ingeniería Civil
1931	Durante del gobierno de Jorge Ubico, se rechaza la petición de que la Universidad Nacional evolucione de acuerdo a las demandas de la época. Todo esto mediante la disposición de que el presidente de la República fuera quien nombrara al rector, decano y juntas directivas.

Continuación de la tabla I.

Universidad de San Carlos de Guatemala	
1944	Se otorga la autonomía universitaria definitiva a la universidad, y esta pasa a llamarse Universidad de San Carlos de Guatemala. Se abren las facultades de humanidades, Agronomía, Arquitectura y Ciencias Económicas.
1945	Se promulga la primera ley orgánica de la universidad.
1947	La facultad de ingeniería es trasladada a un local más amplio debido al incremento progresivo de la población estudiantil.
1959	La facultad de ingeniería se traslada a sus instalaciones actuales en la Ciudad Universitaria, zona 12.
1976	Se conmemoran 300 años de haber sido emitida la Real Cédula que emitió su fundación.

Fuente: elaboración propia.

1.2. Misión, visión y fines de la universidad.

La misión y visión de la universidad forman parte importante de los fundamentos para el plan estratégico USAC – 2022. Esta es una herramienta que permite a las unidades académicas orientar su quehacer en beneficio de la universidad y de la sociedad guatemalteca. Este plan genera comunicación entre los integrantes de la universidad.

1.2.1. Misión

“En su carácter de única universidad estatal le corresponde con exclusividad dirigir, organizar y desarrollar la educación superior del estado y la educación estatal así como la difusión de la cultura en todas sus manifestaciones. Promoverá por todos los medios a su alcance la investigación en todas las esferas del saber humano y cooperará al estudio y solución de los problemas nacionales”¹.

¹ LEPE MONTERROSO, Luis Felipe. *Manual del estudiante*. p. 198.

Por medio de la constitución política de Guatemala se regula lo relacionado a la autonomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala, resaltando que es una institución autónoma con personería jurídica que, por disponibilidad del estado, le corresponde la responsabilidad de atender lo relativo a la educación superior estatal.

1.2.2. Visión

“La Universidad de San Carlos de Guatemala es la institución de educación superior estatal, autónoma, con cultura democrática, con enfoque multi e intercultural, vinculada y comprometida con el desarrollo científico, social, humanista y ambiental, con una gestión actualizada, dinámica, efectiva y con recursos óptimamente utilizados, para alcanzar sus fines y objetivos, formadora de profesionales con principios éticos y excelencia académica”².

Esta visión que fue ampliada por la Comisión Específica para la formulación del Plan Estratégico USAC 2022 basado en la aprobación de la visión de la USAC por el Consejo Superior Universitario con el fin de que todas las unidades que conforman la universidad aspiren a alcanzarla por medio del adecuado cumplimiento de sus objetivos.

² Consejo Superior Universitario. *Plan estratégico: USAC 2022*. p. 52.

1.2.3. Fin fundamental como institución superior docente del estado

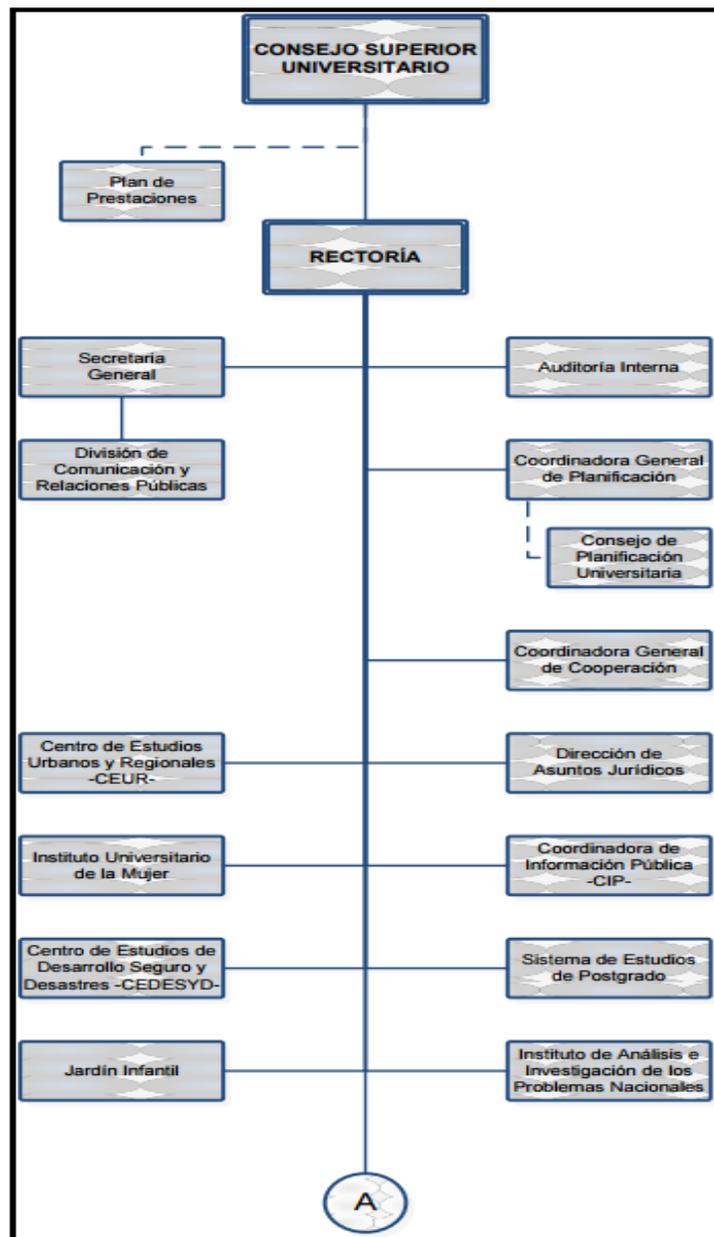
“La ley orgánica de la USAC, contemplada en el decreto 325 del congreso de la república menciona que el fin fundamental de la universidad es elevar el nivel espiritual de los habitantes de la república, conservando, promoviendo y difundiendo la cultura y el saber científico, además deberá colaborar en el estudio de los problemas nacionales, sin perder para ello su carácter de centro autónomo de investigación y cultura, pudiendo solicitar la colaboración y cooperación del estado y éste deberá dársela en la medida de sus posibilidades para el mejoramiento de su personal docente”.³

1.3. Organización académica de la universidad

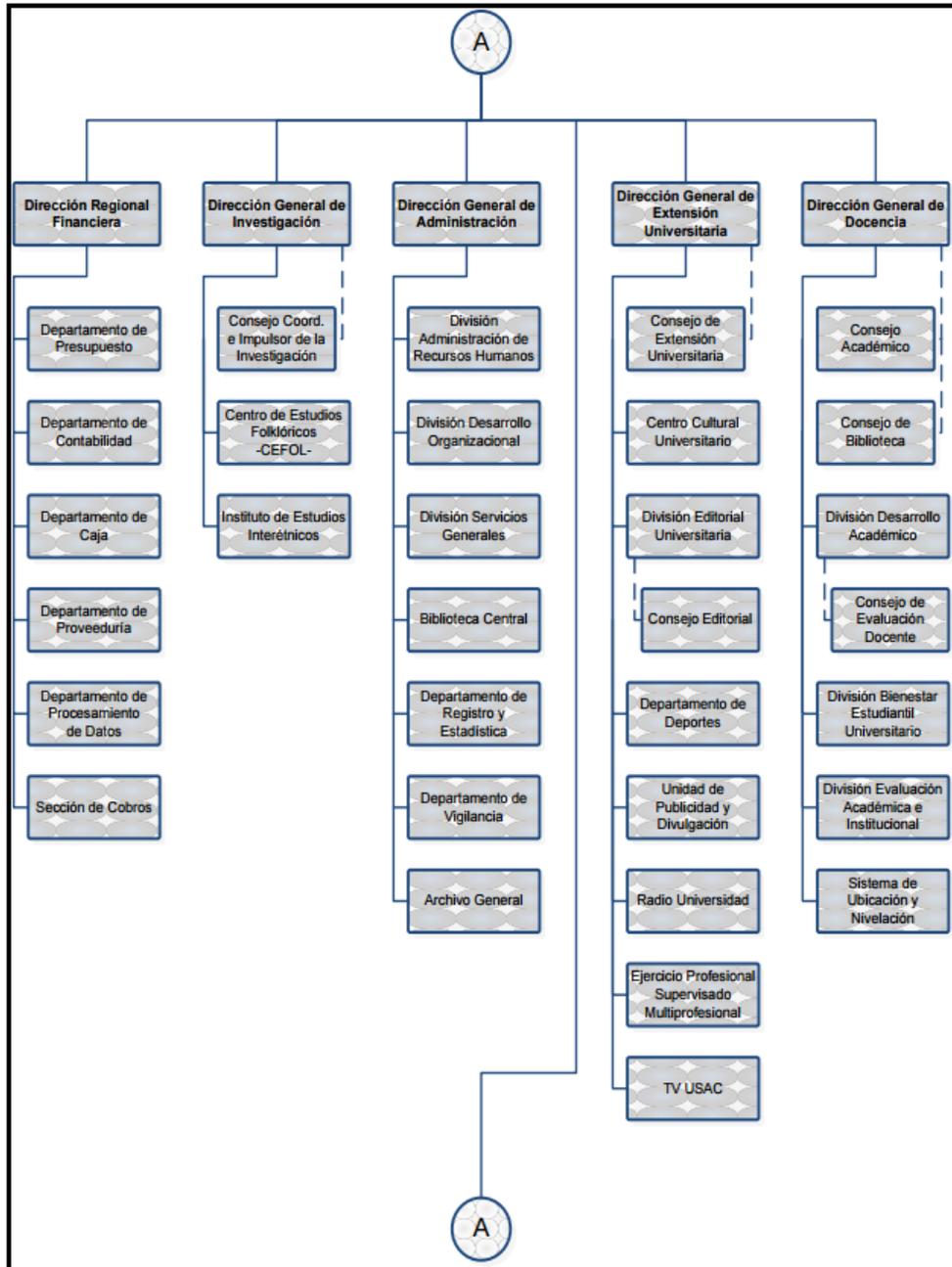
En la siguiente figura se detallan las divisiones y coordinaciones encargadas de asuntos internos como la planificación y auditoría y de los asuntos externos como las relaciones públicas y cooperación internacional. A toda esta organización la rige el Consejo Superior Universitario el cual está compuesto por el rector, los decanos de cada facultad, un representante de cada colegio de profesionales, un catedrático y un estudiante proveniente de su respectiva facultad.

³ Catálogo De Estudios, Usac. *La universidad y sus fines*. p. 16.

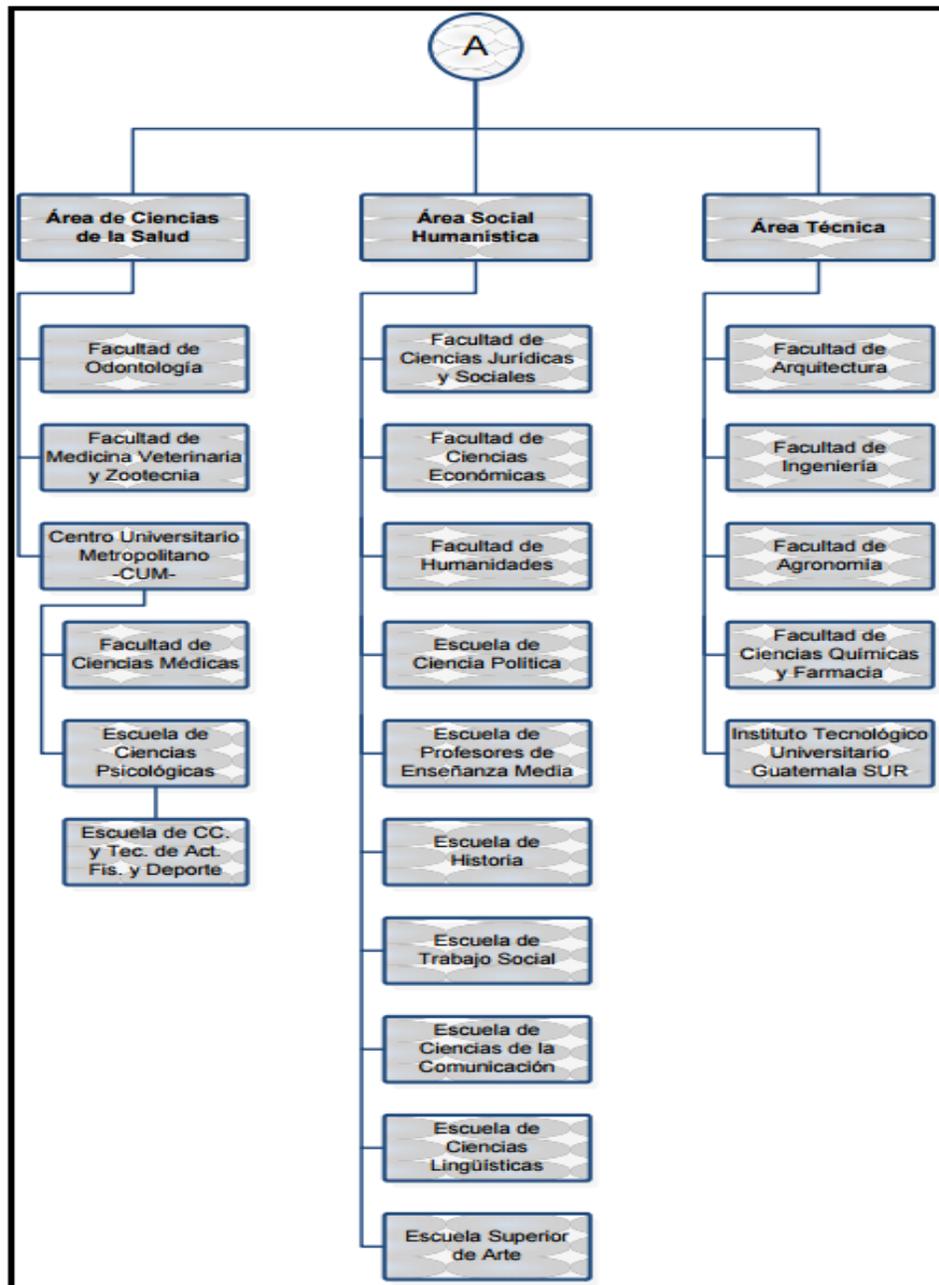
Figura 1. Organización académica de la Universidad de San Carlos de Guatemala



Continuación figura 1.



Continuación figura 1.



Fuente: Universidad de San Carlos de Guatemala. *Organización académica de la USAC.*
www.usac.edu.gt/acercade.php. Consulta: 5 de octubre de 2016.

1.4. Población estudiantil

Los estudiantes de la Universidad de San Carlos de Guatemala constituyen la mayoría de la población estudiantil de educación superior en el país. Dicho sector estudiantil se localiza en las sedes de la ciudad capital y en los centros regionales. Sin embargo, para el presente estudio solo se tomó en cuenta la población estudiantil que realizó sus estudios en la Ciudad Universitaria zona 12 y que, por consiguiente, tuvieron acceso al pavimento asfáltico del perímetro de la universidad. Es de añadir, que esta parte de la población representa un 70 % de los estudiantes inscritos en esta universidad.

1.4.1. Estudiantes inscritos en la Universidad de San Carlos de Guatemala (1950–2016)

Tabla II. Inscripción total por unidad académica (1950–1960)

Unidad académica	1950	1951	1952	1953	1954	1955	1956	1957	1958	1959	1960
Estudios generales	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Agronomía	43	50	64	121	83	88	91	91	104	112	131
Arquitectura	-	-	-	-	-	-	-	-	-	185	209
Ciencias económicas	229	458	503	459	503	413	493	589	615	620	774
Ciencias jurídicas y sociales	537	643	751	758	843	807	875	833	1 080	1 119	1 259
Medicina	604	697	725	740	776	765	860	910	914	832	769
Ciencias Químicas y Farmacia	125	121	118	118	145	145	166	214	214	237	262
Humanidades	329	245	224	304	230	200	310	380	490	538	318
Ingeniería	-	-	-	-	-	-	-	-	-	840	896
Odontología	68	90	97	115	130	132	162	176	173	172	213
Medicina veterinaria y Zootecnia	-	-	-	-	-	-	-	27	58	58	89
Total	2 051	2 444	2 646	2 765	2 858	2 709	3 138	3 487	3 879	4 963	5 229

Fuente: División de Registro y Estadística, Sección Estadística, Universidad de San Carlos de Guatemala.

Tabla III. **Inscripción total por unidad académica (1960–1970)**

Unidad académica	1960	1961	1962	1963	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970
Estudios generales	-	-	-	-	879	2 376	3 042	4 177	4 236	-	-
Agronomía	131	131	142	181	114	104	98	95	89	425	467
Arquitectura	209	226	240	242	212	197	194	189	188	504	550
Ciencias económicas	774	827	1 030	977	1 223	1 077	960	954	920	2 405	2 694
Ciencias jurídicas y sociales	1 259	1 203	1 312	1 448	1 540	1 307	1 224	1 154	1 083	1 848	2 040
Medicina	769	783	689	781	660	547	539	567	583	1 684	1 783
Ciencias Químicas y Farmacia	262	308	378	343	193	153	176	114	127	313	316
Humanidades	318	411	402	481	622	481	466	515	626	972	1 154
Ingeniería	896	1 007	1 036	987	875	749	706	767	751	1 712	1 857
Odontología	213	478	206	244	171	148	149	177	190	553	559
Medicina veterinaria y Zootecnia	89	89	120	122	102	88	80	83	98	281	298
Total	5 229	5 447	5 854	6 183	7 014	7 673	8 171	9 388	9 593	11 319	12 373

Fuente: División de Registro y Estadística, Sección Estadística, Universidad de San Carlos de Guatemala.

En la tabla II se puede observar la ausencia de la población estudiantil perteneciente a la facultad de ingeniería en el conteo de estudiantes inscritos en la Universidad de San Carlos de Guatemala. Esto se debe a que en 1947 la superación de la facultad trajo un incremento progresivo de la población estudiantil, por lo que fue necesario su traslado de la Ciudad Universitaria a un local más amplio ubicado en la zona 1. Este edificio fue ocupado hasta 1959, por lo que, a partir de ese año, se empieza a tomar en cuenta su población universitaria para el presente estudio

Tabla IV. Inscripción total por unidad académica (1970–1980)

Unidad académica	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980
Agronomía	467	557	590	786	870	1 058	1 372	1 551	1 893	1 981	1 943
Arquitectura	550	671	805	939	833	969	1 140	1 334	1 681	1 865	1 982
Ciencias económicas	2 694	3 056	3 282	3 872	4 281	4 939	5 621	6 513	7 591	8 481	9 132
Ciencias jurídicas y sociales	2 040	2 349	2 620	2 901	3 336	3 663	3 821	4 231	4 613	4 843	5 032
Medicina	1 783	1 830	2 195	2 666	3 220	3 780	4 199	4 603	4 524	4 483	4 290
Ciencias Químicas y Farmacia	316	357	420	553	632	772	873	985	1 106	1 189	1 241
Humanidades	1 154	1 339	1 506	1 768	1 809	1 091	1 007	1 007	1 037	1 038	1 062
Ingeniería	1 857	2 089	2 303	2 477	2 640	2 925	3 144	3 366	3 570	3 956	4 393
Odontología	559	548	582	647	674	694	765	812	762	745	762
Medicina veterinaria y Zootecnia	298	339	370	431	464	537	564	607	719	751	793
Ciencias psicológicas	-	-	-	-	-	824	850	869	1034	1119	1159
Historia	-	-	-	-	-	151	179	199	219	216	300
Trabajo social	-	-	-	-	-	91	246	418	550	790	826
Ciencias de la comunicación	-	-	-	-	-	-	84	91	109	108	149
Ciencia Política	-	-	-	-	-	75	75	97	82	213	248
Total	12 373	13 957	15 657	17 987	20 037	21 570	23 940	26 683	29 490	31 778	33 312

Fuente: División de Registro y Estadística, Sección Estadística, Universidad de San Carlos de Guatemala.

La década de 1960 se caracterizó por el notable incremento de la población debido a la creación de escuelas no facultativas como Historia, Trabajo social, Ciencia de la comunicación, y Política. Estas escuelas, junto con la Facultad de Psicología comenzaron a funcionar en 1975. El resto de escuelas no facultativas fueron creadas en la década del 2000.

Tabla V. Inscripción total por unidad académica (1980–1990)

Unidad académica	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990
Agronomía	1943	1824	1801	1864	1791	1651	1631	1605	1654	1637	1534
Arquitectura	1982	1891	1792	1847	1804	1749	1697	1771	1935	2162	2293
Ciencias económicas	9132	8363	9006	11320	12202	12696	12639	12935	13621	14324	14359
Ciencias jurídicas y sociales	5032	4283	3993	4900	5374	5809	6907	7369	8175	8973	8752
Medicina	4290	4079	3964	3918	3856	3706	3776	3761	3703	3755	3655
Ciencias Químicas y Farmacia	1241	1115	1097	1226	1250	1289	1279	1315	1350	1403	1331
Humanidades	1062	904	1114	1294	1434	2038	2381	1886	2638	2893	3046
Ingeniería	4393	4242	4486	5468	5762	6057	6397	6668	7205	7888	8101
Odontología	762	757	698	753	800	807	818	861	883	922	981
Medicina veterinaria y Zootecnia	793	766	750	788	810	827	776	777	775	793	802
Ciencias psicológicas	1159	1081	1173	1587	1678	1629	1787	1811	2012	2138	2295
Historia	300	323	337	489	523	525	605	606	684	635	623
Trabajo social	826	732	649	750	752	1083	1269	1179	1101	1169	1034
Ciencias de la comunicación	149	162	205	375	451	579	783	939	1144	1384	1542
Ciencia Política	248	189	168	251	350	371	545	703	803	857	905
Total	33312	30711	31233	36830	38887	40816	43290	44186	47683	50933	51253

Fuente: División de Registro y Estadística, Sección Estadística, Universidad de San Carlos de Guatemala.

Las décadas de 1980 y 1990 fueron las últimas en recibir a la población estudiantil sin la necesidad de ninguna prueba de admisión que evaluara sus conocimientos previos. En 1999 el Consejo Superior Universitario decide establecer pruebas de ubicación y cursos de nivelación las cuales alcanzaron aplicación general en 2001. Estas décadas también serán las últimas en que la facultad de Medicina y Psicología se localicen en la Ciudad Universitaria, pues en 2001 fueron trasladadas al Centro Universitario Metropolitano, razón por la cual se dejó de tomar en cuenta esta población para el presente estudio.

Tabla VI. Inscripción total por unidad académica (1990–2000)

Unidad académica	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
Agronomía	1534	1545	1480	1474	1466	1434	1435	1401	1375	1389	1274
Arquitectura	2293	2614	2866	2800	3431	3710	3821	3906	4347	5064	4798
Ciencias económicas	14359	14968	15733	16039	17232	18251	18590	18715	19278	21074	21749
Ciencias jurídicas y sociales	8752	9203	9807	9871	10530	11250	11922	11915	12914	14706	15627
Medicina	3655	3559	3247	3055	2969	2872	3014	3144	3289	3490	3619
Ciencias Químicas y Farmacia	1331	1371	1444	1402	1540	1486	1513	1543	1652	1841	1752
Humanidades	3046	2962	3025	2992	3278	3378	3361	3389	4074	2052	2597
Ingeniería	8101	8684	9491	10204	11092	11594	12216	12328	12694	13521	13870
Odontología	981	1058	1109	1168	1263	1404	1460	1529	1504	1481	1473
Medicina veterinaria y Zootecnia	802	799	791	771	787	776	797	797	787	783	760
Ciencias psicológicas	2295	2462	2720	2829	3259	3297	3424	3320	3291	3804	3187
Historia	623	646	685	659	681	782	831	837	922	931	1003
Trabajo social	1034	905	900	730	715	611	584	698	667	693	638
Ciencias de la comunicación	1542	1996	1977	2295	2624	3192	3524	3544	4052	4434	5299
Ciencia Política	905	971	942	879	951	960	1067	1064	1058	1327	1552
EFPEM	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2517	2454
Centro de Estudios del Mar y Acuicultura	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	104
Total	51253	53743	56217	57168	61818	64997	67559	68130	71904	79107	81756

Fuente: División de Registro y Estadística, Sección Estadística, Universidad de San Carlos de Guatemala.

Tabla VII. Inscripción total por unidad académica (2000–2010)

Unidad académica	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Agronomía	1274	1259	1235	1193	1268	1045	1114	1136	1210	1266	1357
Arquitectura	4798	4968	5397	5429	5395	5190	4950	4683	4501	4082	3969
Ciencias económicas	21749	20705	20405	20951	21706	18704	18992	19253	20727	21637	22375
Ciencias jurídicas y sociales	15627	15714	16175	16114	18748	16036	15665	15337	16523	15885	16180
Medicina	3619	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Escuela de Enfermería, Guatemala	-	-	-	-	281	280	-	-	-	-	-
Ciencias Químicas y Farmacia	1752	1734	1852	1938	1996	2219	2289	2346	2438	2487	2423
Humanidades	2597	3235	3904	4319	4800	4790	7125	8395	9897	12212	16090
Ingeniería	13870	13861	13635	13343	13642	13041	12690	12790	12707	12468	12680
Odontología	1473	1435	1420	1342	1301	1309	1228	1220	1179	1188	1217
Medicina veterinaria y Zootecnia	760	798	863	900	874	900	916	991	1080	1051	1083
Ciencias psicológicas	3187	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Convenio Ectafide – Confede, Guatemala	-	-	-	-	79	93	-	-	-	-	-
Historia	1003	1041	1073	1106	1123	1067	994	981	991	980	972
Trabajo social	638	593	550	709	729	705	718	789	933	1103	1005
Ciencias de la comunicación	5299	4835	5082	5292	5694	5124	4959	5191	5075	4944	4847
Ciencia Política	1552	1455	1619	1655	1657	1510	1519	1457	1577	1610	1694
EPPEM	2454	2271	2186	2280	2344	2405	2514	2661	3004	3281	3632
Escuela de Ciencias Lingüísticas							21	95	96	156	213
Escuela Superior de Arte	-	-	-	-	-	-	-	-	110	271	232

Fuente: División de Registro y Estadística, Sección Estadística, Universidad de San Carlos de Guatemala.

Figura 2. **Inscripción total por año**



Fuente: elaboración propia.

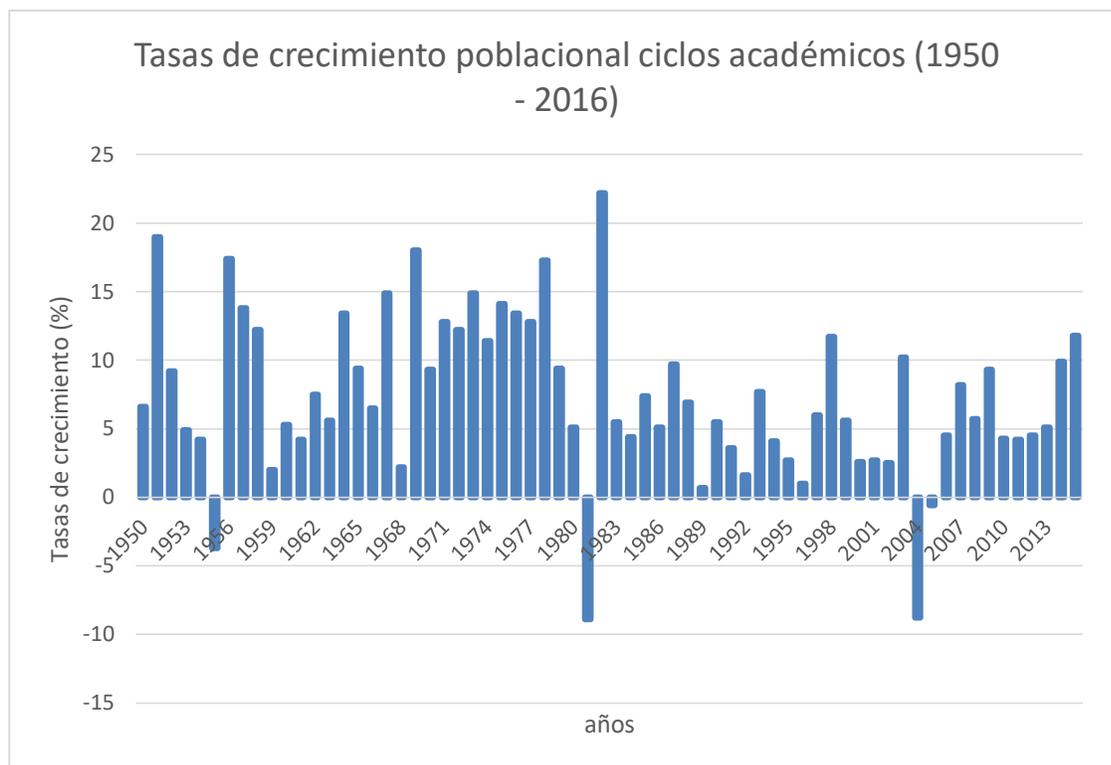
En la gráfica mostrada se puede apreciar que el desarrollo de la población estudiantil inscrita en cada facultad o escuela no facultativa presenta un crecimiento muy marcado y continuo en casi todos los años, excepto en el período del 2000 al 2005. Esto pudo deberse a varios factores como el traslado de la facultad de Medicina y Psicología al Centro Universitario Metropolitano. Este cambio represento una disminución poblacional en la Ciudad Universitaria de aproximadamente 6,7 %. Adicionalmente, debe tomarse en consideración que en 1999 se comenzaron a realizar las pruebas de ubicación de primer ingreso, lo cual pudo afectar el número de estudiantes en esta universidad.

Tabla VIII. **Tasas de crecimiento de la población estudiantil (1950–2015)**

Años	Tasas de crecimiento	Años	Tasas de crecimiento	Años	Tasas de crecimiento
1950	6,6	1972	12,2	1994	4,1
1951	19	1973	14,9	1995	2,7
1952	9,2	1974	11,4	1996	1
1953	4,9	1975	14,1	1997	6
1954	4,2	1976	13,4	1998	11,7
1955	-3,7	1977	12,8	1999	5,6
1956	17,4	1978	17,3	2000	2,6
1957	13,8	1979	9,4	2001	2,7
1958	12,2	1980	5,1	2002	2,5
1959	2	1981	-8,9	2003	10,2
1960	5,3	1982	22,2	2004	-8,8
1961	4,2	1983	5,5	2005	-0,6
1962	7,5	1984	4,4	2006	4,5
1963	5,6	1985	7,4	2007	8,2
1964	13,4	1986	5,1	2008	5,7
1965	9,4	1987	9,7	2009	9,3
1966	6,5	1988	6,9	2010	4,3
1967	14,9	1989	0,7	2011	4,2
1968	2,2	1990	5,5	2012	4,5
1969	18	1991	3,6	2013	5,1
1970	9,3	1992	1,6	2014	9,9
1971	12,8	1993	7,7	2015	11,8

Fuente: División de Registro y Estadística, Sección Estadística, Universidad de San Carlos de Guatemala.

Figura 3. **Tasas de crecimiento poblacional ciclos académicos (1950-2016)**



Fuente: elaboración propia.

La tasa de crecimiento poblacional universitaria registrada para el 2015 se encuentra en un 11,5 % llegando a una cantidad actual de 101 023 estudiantes pertenecientes a la Ciudad Universitaria z. 12. Esta tasa de crecimiento se considera promedio en comparación a otros años, pues en 1982 se registró una tasa del 22 % siendo la más alta registrada en este trabajo. Así mismo la gráfica muestra varios años con una tasa de crecimiento negativo en 1955, 1981 y 2004. Esto se debe a que la población de esos años fue significativamente menor a la del año siguiente.

1.5. Análisis del tráfico de vehículos en la Universidad de San Carlos de Guatemala

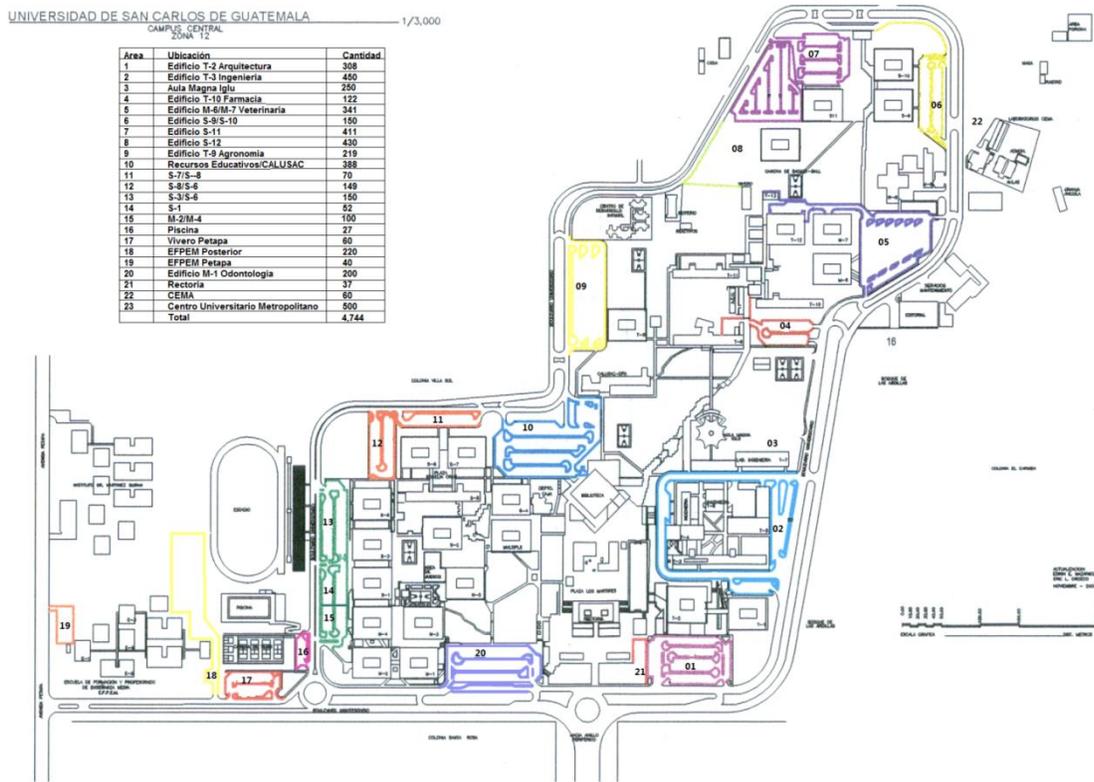
Conforme se conoce el crecimiento demográfico a nivel nacional, la presencia de estudiantes dentro de esta universidad también ha aumentado, y con ello, el porcentaje de personas que utilizan vehículos para trasladarse a la USAC. Cuando la Ciudad Universitaria fue construida, se diseñó para que albergara 4 500 vehículos. Sin embargo, en la actualidad se estima el ingreso de 25 000 vehículos a las instalaciones, entre estudiantes, trabajadores y visitantes.

La demanda de vehículos en la universidad genera que los laterales del periférico universitario sean utilizados para estacionar un aproximado de 3 000 vehículos según la unidad de parqueos. Adicionalmente, existe el problema de la permanencia fija de algunos carriles reversibles, los cuales deben ser utilizados solamente en horarios pico.

La jefatura de la unidad de parqueos de la universidad indica que aproximadamente el 25 % de los estudiantes ingresan en vehículo propio, el 61,6 % en transporte público urbano, el 11,3 % en extraurbano y solamente el 1,8 % de estudiantes se movilizan a pie.

Según el registro con que cuenta la unidad de parqueos, en el campus central se tienen 22 parqueos en diferentes puntos con un total de 4 245 espacios. El más grande es el parqueo del edificio T-3 de ingeniería que cuenta con 450 espacios, seguido del parqueo S-12 con 430 lugares y el S-11 con 411. Estas son unas de las facultades con mayor número de estudiantes que asisten diariamente a clases en diferentes jornadas.

Figura 4. Cantidad de parquesos en la USAC



Fuente: Unidad de Parquesos USAC.

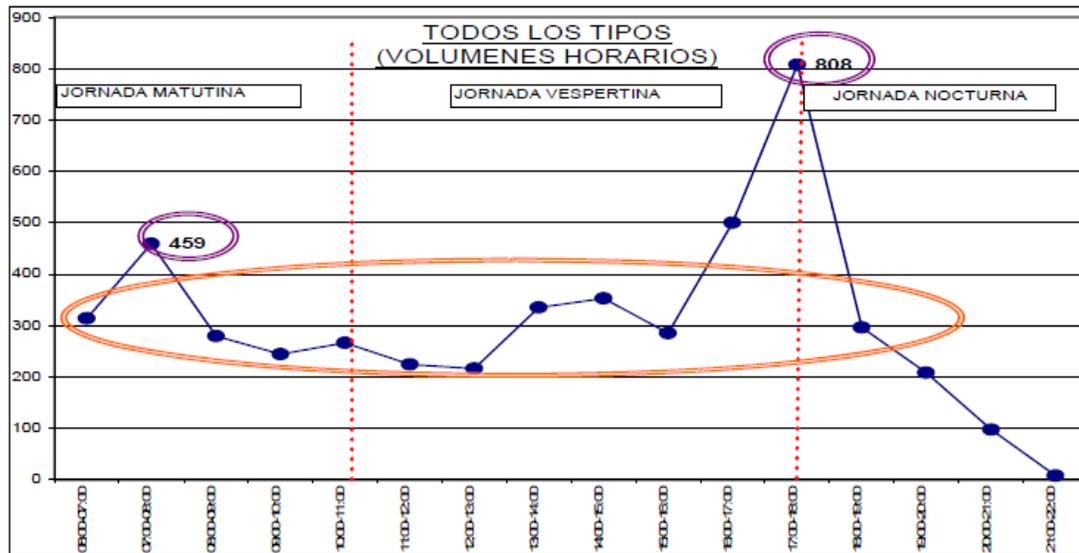
1.5.1. Horas pico en la universidad

Dentro del campus universitario se registran horas pico, estas inician cuando los alumnos entran a las jornadas vespertinas de las diferentes unidades académicas y se encuentran con la salida de trabajadores y estudiantes entre las 15:30 y 16:30 horas. Adicionalmente, el mayor número de personas que estudia en el campus central lo hace en la jornada nocturna, por el hecho de ser trabajadores.

Las instalaciones son abiertas a las 5 horas, desde ese momento inicia el ingreso de vehículos, que se prolonga hasta las 22 horas, cuando se cierran las

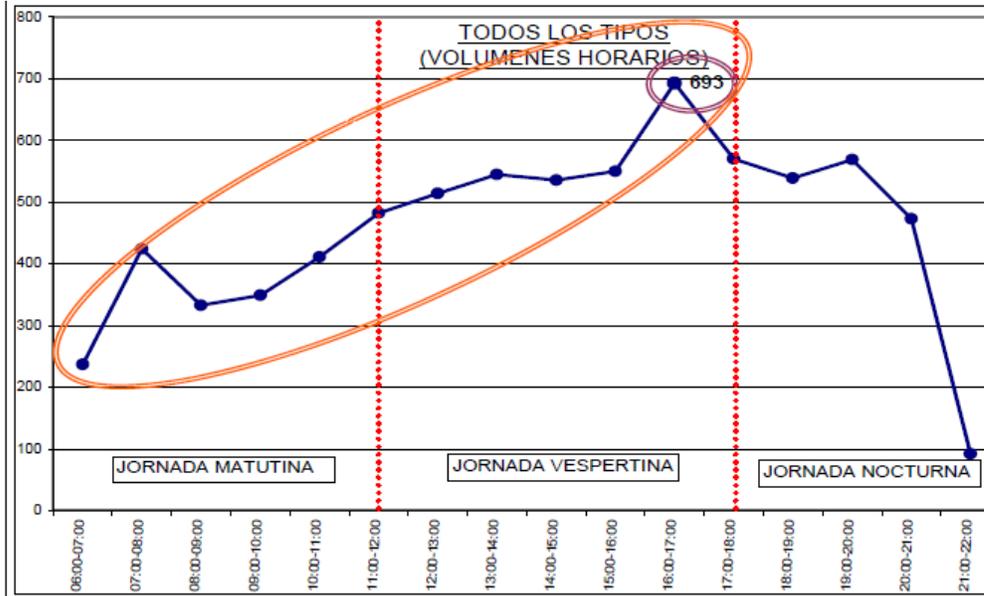
puertas de los accesos. Durante la jornada matutina, la afluencia vehicular es más baja, pero debido al aumento de vehículos, los parqueos de las distintas facultades se ven saturados, lo cual provoca que se estacionen los vehículos en los carriles internos y externos.

Figura 5. **Sentido avenida Petapa–Universidad**



Fuente: GÁLVEZ, José Figueroa. *Vialidad y estacionamientos en la Ciudad Universitaria de San Carlos de Guatemala*. p. 24.

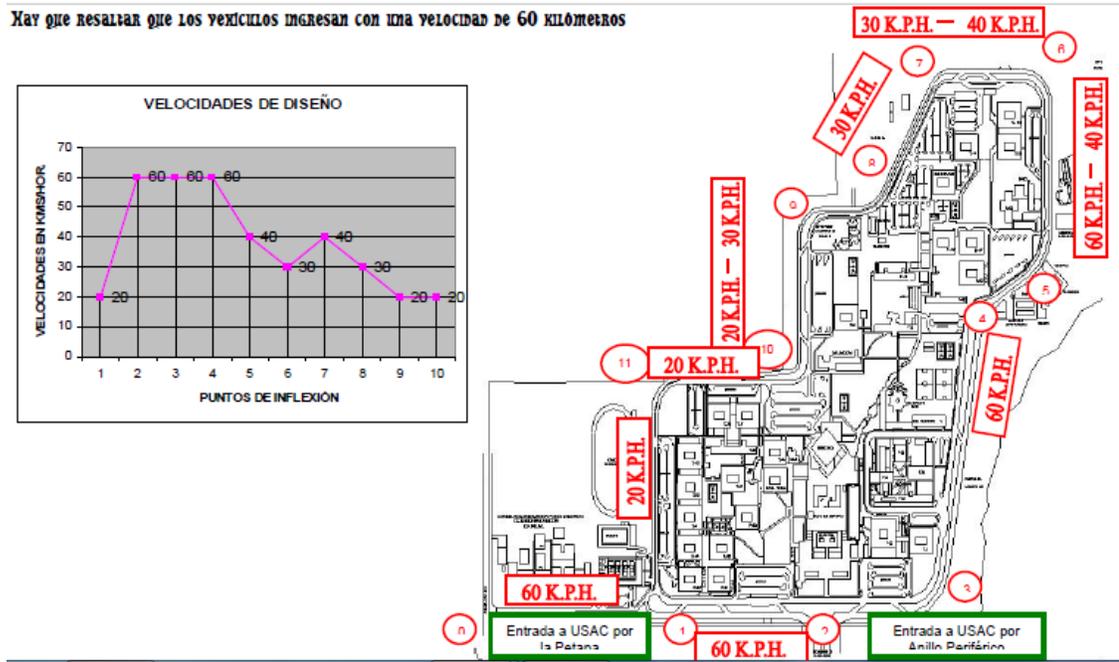
Figura 6. Sentido Universidad-periférico



Fuente: GÁLVEZ, José Figueroa. *Vialidad y estacionamientos en la Ciudad Universitaria de San Carlos de Guatemala*. p. 24.

De acuerdo con las condiciones actuales de diseño del perímetro de la universidad, para que los vehículos circulen con seguridad, las velocidades permitidas se muestran en la siguiente figura. La velocidad promedio dentro de la viabilidad del campus central de la USAC, es de 46,66 km/ h. Sin embargo, los carriles reversibles y el exceso de tráfico han provocado que en horas pico, los carros se queden parados por un largo lapso.

Figura 7. Velocidades permitidas en el campus central de la USAC



Fuente: GÁLVEZ, José Figueroa. *Vialidad y estacionamientos en la Ciudad Universitaria de San Carlos de Guatemala*. p. 22.

1.5.2. Accesos y sistema de circulación

El campus universitario cuenta únicamente con dos accesos, el primero por la avenida Petapa, a inmediaciones de la 32 calle de la zona 12, y el segundo por el enlace con el anillo Periférico que se inicia en la 29 calle de la misma zona.

El acceso periférico–universidad se compone de un tramo de aproximadamente 320 metros de distancia, con un ancho aproximado de 19,80 metros y dos pistas separadas por un bordillo variable de 0,25 metros de ancho. Al final del tramo de acceso, la pista izquierda sirve de salida de la universidad y se conecta con una rampa que permite el acceso al anillo periférico.

Figura 8. **Acceso Petapa–Universidad**



Fuente: acceso a la universidad por la avenida Petapa.

El acceso Petapa–Universidad está constituido por una intersección tipo “T” a nivel, entre la pista derecha de la avenida Petapa y el bulevar Universitario; tiene una isla que canaliza el tránsito que ingresa a la universidad desde la avenida Petapa y también el que sale hacia la misma dirección. En esta intersección no existen cruces a la izquierda y no hay carriles de desaceleración y aceleración para salir y entrar al tránsito de la avenida Petapa en dirección sur.

Figura 9. **Acceso Periférico – Universidad**



Fuente: acceso a la Universidad por el Anillo Periférico.

El actual sistema de circulación en el perímetro universitario fue modificado para funcionar en un solo sentido en el carril interno y externo, obligando a los usuarios a efectuar recorridos más largos de los necesarios tanto en la entrada como en la salida del campus. Esta situación incrementa los costos de gasolina y causa pérdida de tiempo en los usuarios. El sentido de circulación cambia de dirección según los horarios de mayor demanda vehicular.

Según la señalización del boulevard universitario, el cambio de circulación debe darse a partir de las 19:30 horas, sin embargo, está comprobado que este cambio se realiza a partir de las 18:30, provocando desorden, mayor tráfico, siendo motivo potencial de accidentes.

2. NORMAS DE ENSAYOS UTILIZADAS PARA LA EVALUACIÓN FÍSICA, MECÁNICA Y DEFLECTOMETRÍA DEL PAVIMENTO

La búsqueda de un transporte eficiente de estudiantes y catedráticos en la universidad es un fuerte motivo para impulsar a llevar un mejor control de calidad sobre los materiales con los que fue construido el pavimento en el perímetro universitario. La determinación de las propiedades y desempeño de los materiales se logra a partir de un conjunto de ensayos o pruebas establecidas precisamente para comprobar que dichos materiales funcionen correctamente de acuerdo a rangos, límites y/o valores estándares para condiciones similares o equivalentes.

2.1. Análisis de deterioros asociados con carga

En este análisis se puede mencionar el levantamiento de deterioros, que incluye información del pavimento en cuanto a la magnitud de los deterioros, área afectada o longitud, y severidad de los daños en la carpeta asfáltica. También es necesario realizar los ensayos a la base, subbase y subrasante para determinar las condiciones del mismo, y conocer si cumplen con los estándares de las normas internacionales AASHTO, y ASTM.

2.1.1. Inspección visual

El objetivo de la inspección en caminos pavimentados es recoger en terreno el valor de ciertos parámetros observables y medibles de una carretera. Estos parámetros que representan las características y el nivel de deterioro, son

posteriormente utilizados para realizar análisis y evaluación del estado del pavimento, planes de mantenimiento, uso en modelos de comportamiento, evaluación económica, entre otros.

Para los pavimentos flexibles, se consideran medir las siguientes variables:

- Ancho de pista
- Grietas
- Pérdida de áridos
- Exudación
- Ahuellamiento
- Baches abiertos
- Ancho de berna
- Rompimiento de borde

2.1.1.1. Metodología para la inspección visual en pavimentos flexibles

La actividad de inventario de daños para pavimentos flexibles, debería comprender como mínimo los siguientes pasos:

- Diligenciar el encabezado en cada formato vial para evaluar el tramo, se debe tener identificado el sector del corredor en el cual se está, identificación de la calle, entre otros.
- Identificar y numerar cada uno de los deterioros presentes en el tramo con el objetivo de referenciar cada patología.
- Se determina el nivel de severidad y se estima la extensión de los deterioros encontrados.
- Se toma un registro fotográfico de los deterioros hallados, indicando el sector al que corresponde.

- Se relaciona, revisa y procesa los registros diligenciados de la inspección visual.
- Se emite un concepto respecto al tramo evaluado, reportando el área afectada por cada deterioro y por cada nivel de severidad. Se elaboran gráficas comparativas de daños por tramo para identificar las zonas de mayor deterioro.

2.1.1.2. Unidades y zonas de muestreo

Sería ideal registrar cada variable de forma continua en cada camino, pero esto es altamente dificultoso debido a la gran cantidad de tiempo, personal y material que se requeriría para la toma de datos y procesamiento; por lo tanto se opta por dividir el camino en zonas de muestreo y en estas determinar áreas más pequeñas denominadas unidades de muestreo (UM), cuya longitud y ubicación se ha determinado de forma estadística con el fin de obtener la mayor representatividad posible de los datos.

Para caminos a nivel de red se define la unidad de muestreo como un área rectangular de ancho igual al ancho de una pista y largo de 10 m. En cada kilómetro inspeccionado es necesario medir 4 unidades de muestreo, la primera al inicio del kilómetro y las siguientes cada 250 m. Es decir, es necesario completar una muestra de 40 m de largo por kilómetro.

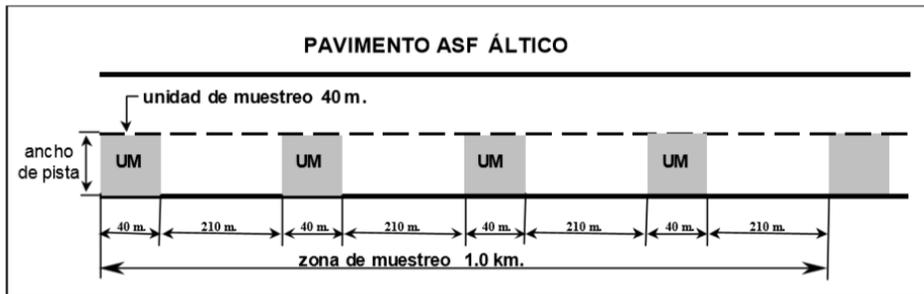
Figura 10. **Unidad de muestreo para caminos a nivel de red.**



Fuente: Ministerio de Obras Públicas. *Instructivo de inspección visual de caminos pavimentados*. p. 4.

Para caminos concesionados se define la unidad como un área rectangular de ancho igual al ancho de una pista y de largo 40 m, por lo que es necesario completar una muestra de 160 m de largo por kilómetro.

Figura 11. **Unidad de muestreo para caminos concesionados**



Fuente: Ministerio de Obras Públicas. *Instructivo de inspección visual de caminos pavimentados*. p. 4.

2.1.2. Tráfico promedio diario anual

Los pavimentos se construyen en función de resistir el efecto del daño que produce el paso de un eje con una carga tipo durante los años de su vida útil. Un tránsito mixto está compuesto de vehículos de diferente peso y número de

ejes distinguiéndose livianos y pesados, los que para efectos de cálculo se les transforma en un número de ejes equivalentes a los que se denomina ESAL.

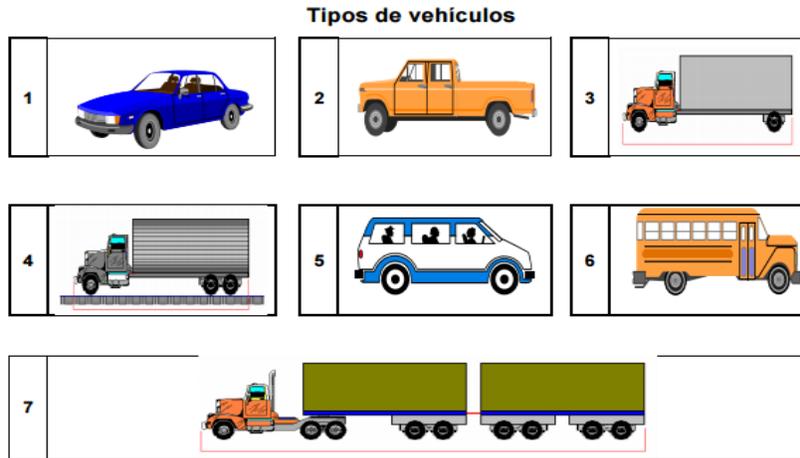
El tráfico es uno de los parámetros más importantes para el diseño de pavimentos. Para obtener este dato es necesario determinar el número de repeticiones de cada tipo de eje durante el período de diseño, a partir de un tráfico inicial medido en el campo a través de aforos. El número y composición de los ejes se determina a partir de la siguiente información.

Con el objeto de obtener una muestra representativa del tráfico, en las estaciones donde se realizan los aforos, se debe proceder a hacer conteos visuales por 24 horas durante 7 días, en cada una de las estaciones escogidas dentro de los tramos en donde se realizará el conteo vehicular. Para efectos de mayor representatividad, los conteos vehiculares deberán realizarse en días en que transita el mayor número de vehículos que utilizan el tramo en el que se realizará el aforo. Los datos obtenidos a través de este conteo se utilizan para determinar el tránsito promedio diario anual (TPDA).

2.1.2.1. Tipos de vehículos

El Departamento de Ingeniería de Tránsito de la Dirección General de Caminos clasifica 7 tipos de vehículos distinguiendo los livianos de los pesados. Esta clasificación se presenta a continuación:

Figura 12. Tipos de vehículos



Fuente: Dirección General de Caminos. *Reglamento para el control de pesos y dimensiones de vehículos automotores de carga y sus combinaciones.* p.14.

Tabla IX. Nomenclatura del tipo de vehículos

Nomenclatura de 1994 en adelante	
1 Automóviles, paneles y jeeps	5 microbuses
2 Pick ups	6 buses
3 Camiones medianos de dos ejes	7 Vehículos de 4 o más ejes
4 Vehículos de tres ejes	Vehículos pesados

Fuente: Dirección General de Caminos. *Reglamento para el control de pesos y dimensiones de vehículos automotores de carga y sus combinaciones.* p.14.

2.1.2.2. Cálculo del tráfico promedio diario anual

Esta se basa en la siguiente ecuación:

$$TPDA = T_p + TD + Td + TG$$

Donde:

T_p = Tráfico proyectado

TD = Tráfico desarrollado

Td = Tráfico desviado

TG = Tráfico generado

Para una carretera que va a ser mejorada, el tráfico actual está compuesto por:

- Tráfico existente: es aquel que se usa en la carretera antes del mejoramiento y que se obtiene a través de los estudios de tráfico. Esto se obtiene a través de la fórmula:

$$TA = \frac{\text{total de vehiculos}}{\text{tiempo}}$$

- Tráfico desviado: es aquel atraído desde otras carreteras o medios de transporte, una vez que entre en servicio la vía mejorada. Esto se obtiene a través de la fórmula:

$$Td = 0.20 * (Tp + TD)$$

- Tráfico proyectado: el pronóstico del volumen y composición del tráfico basado en el tráfico actual. Esto se obtiene a través de la fórmula:

$$Tp = TA * (1 + i)^n$$

- Tráfico desarrollado: se produce por incorporación de nuevas áreas a la explotación o por incremento de la producción de las tierras localizadas dentro del área de influencia de la carretera. Esto se obtiene a través de la fórmula:

$$TD = TA * (1 + i)^{n-3}$$

- Tráfico generado: está constituido por aquel número de viajes que se efectuarían solo si las mejoras propuestas ocurren. Esto se obtiene a través de la fórmula:

$$TG = 0,25 * (Tp + TD)$$

2.2. Ensayos destructivos

La ejecución de estos ensayos requiere alterar el pavimento en algún punto. Entre los ensayos destructivos más utilizados para la evaluación de la capacidad de soporte existente, se encuentran los siguientes:

- Excavación de calicatas para determinar propiedades de los materiales de capas: este procedimiento corresponde al procedimiento tradicional de recolectar información de diseño y tiene como objetivo la determinación de distintas propiedades de los materiales de las capas que conforman el pavimento para el diseño, y/o evaluación estructural. Entre los parámetros a considerar se encuentran: espesores de capas, CBR de las capas granulares, clasificación, densidades y humedades. Como complemento de este procedimiento, se aconseja realizar una inspección visual de la superficie, de modo que se puedan detectar posibles fallas que puedan determinar un menor aporte estructural a las capas de rodado.
- Extracción de testigos: mediante una extractora de testigos, se obtiene una probeta cilíndrica de las capas superficiales del pavimento. En general, solo es aplicable a la extracción de las capas del asfalto y hormigón. Permite medir los espesores y propiedades mecánicas de resistencia de capas cementadas.
- Placa de carga: el ensayo de placa de carga sirve para la evaluación de la capacidad portante del material de subrasante, bases y en algunos casos del pavimento completo utilizando placas de diámetros relativamente grandes. De este ensayo se determina un módulo de reacción (K). Para aplicar este método en pavimentos existentes, se requiere efectuar calicatas de gran superficie, lo cual resulta poco práctico y costoso. Este ensayo ha quedado paulatinamente en desuso.

- Penetrómetro dinámico de cono: dispositivo que permite realizar de un modo expedito, una auscultación *in situ* de las capas de suelo de la subrasante y bases granulares. El principio se basa en la acción de una base dinámica que cae desde una altura preestablecida, lo que produce la penetración de una sonda en forma de cono. Como resultado del ensayo se encuentra la penetración de la sonda para un determinado número de golpes, el cual está relacionado con las propiedades de CBR.

2.2.1. Ensayos realizados a la base, subbase y subrasante

Para la evaluación de la base, subbase y subrasante del pavimento asfáltico en el perímetro de la Universidad de San Carlos de Guatemala, se procederá a la extracción del material mediante la excavación de calicatas y se realizarán los siguientes ensayos:

- Granulometría por tamizado y lavado previo (ASTM D 6913-04)
- Ensayo de compactación Proctor Modificado (AASHTO T 180)
- Capacidad de soporte de suelo compactado CBR (AASHTO T 193)
- Límites de Atterberg (AASHTO T 89 y T 90)
- Equivalente de arena (AASHTO T 176)

2.2.1.1. Granulometría por tamizado y lavado previo (ASTM D 6913-04)

La granulometría es la distribución de los tamaños de las partículas de un suelo, por medio de tamices de abertura cuadrada progresivamente decreciente. El agregado debe tener una graduación dada de acuerdo con su tamaño y dentro de los límites fijados por las Especificaciones Generales para Construcción de Carreteras y Puentes. Los resultados de este ensayo son

representados en forma gráfica por medio de una curva de distribución granulométrica, determinando de este modo la cantidad en porcentaje de gravas, arenas y finos presentes en la muestra de suelo.

Tabla X. **Tamaño de la muestra de prueba**

Tamaño máximo nominal (mm)	Tamaño mínimo de la muestra de prueba (kg)
9.5	1
12.5	2
19	5
25	10
37.5	15
50	20
63	35
75	60
90	100
100	150
125	300

Fuente: elaboración propia.

Figura 13. **Tamaño de las partículas de un suelo, a través de tamizado**



Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos USAC.

2.2.1.1.1. Equipo requerido

- Balanza de torsión. Capacidad de 1 kg o 0,1g de precisión.
- Juego de mallas o tamices No. ½, ¾, 3/8, 4, 8, 16, 30, 50, 100 y 200 charola de fondo y tapa.
- Charola de lámina galvanizada.
- 500 g de arena cuarteada.
- Brochuelo de cerda y cepillo de alambre.
- Agitador mecánico de mallas.
- Brocha pequeña.
- Horno.
- Agente humectante.

2.2.1.1.2. Procedimiento de ensayo

- Secar una muestra de arena a una temperatura de 110 ± 5 °C.
- Pesar una cantidad de arena seca de acuerdo a la tabla III.
- La muestra se debe colocar en la malla núm. 4, cuidando que el fondo se encuentre ensamblado con la malla. Tapar la malla y sacudir normalmente por espacio de 3 a 5 minutos.
- Superponer las mallas que restan de mayor a menor diámetro de abertura. Verter la muestra que paso por la malla núm. 4 a la malla superior.
- Colocar el juego de mallas en el vibrador mecánico por espacio de 10 a 15 minutos.
- Colocar las porciones retenidas en cada malla en charolas y pesar dichas cantidades retenidas.
- Registrar los datos en la tabla de resultados.

- Calcular el porcentaje de error de la prueba y verificar que no sea mayor de 2 %.

2.2.1.1.3. Metodología de cálculo

- Calcular el porcentaje de cada tamiz dividiendo el peso retenido en cada uno de ellos por el peso de la muestra original obtenido en el paso uno.
- Calcular el porcentaje que pasa comenzando por 100 % y sustraer el porcentaje retenido en cada tamiz como un proceso acumulado.
- Trazar una curva granulométrica, colocando en el eje de las abscisas en escala semilogarítmica el diámetro en milímetros y en el eje de las ordenadas en escala aritmética el porcentaje que pasa.
- Si menos del 12 % del material pasa a través del tamiz núm. 200 es necesario calcular el C_u , y el C_c , pero si más del 12 % del material pasa a través del tamiz núm. 200 es necesario hacer un análisis por sedimentación sobre el suelo y guardar los datos del mismo para la curva granulométrica.
- El coeficiente de uniformidad se define como:

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

- El coeficiente de curvatura se define como:

$$C_c = \frac{D_{30}^2}{D_{60}D_{10}}$$

2.2.1.2. Ensayo de compactación Proctor Modificado (AASHTO T - 180)

Este ensayo abarca los procedimientos de compactación para determinar la relación entre el contenido de agua y peso unitario seco de los suelos compactados en un molde de 4 o 6 pulgadas de diámetro con un pisón de 5,5 lb

que cae de una altura de 12 pulgadas, produciendo una energía de compactación de 12400 lb – pie/ pie³ Este ensayo se aplica solo para suelos que tienen 30 % o menos en peso de sus partículas retenidas en el tamiz de ¾”.

2.2.1.2.1. Equipo requerido

- Molde de 4 pulgadas.
- Molde de 6 pulgadas.
- Pisón o martillo de caída libre de 12 ± 0,005 pulg.
- Extractor de muestras.
- Balanza con precisión de 0,1 g.
- Horno de secado de 110 ± 5 °C.
- Regla metálica rígida de una longitud conveniente no menor de 10 pulgadas.
- Herramientas de mezcla.
- Ensamblaje del molde, debe ser cilíndrico y hecho de materiales rígidos.

Método A

- Molde de 4 pulg de diámetro.
- Material que pasa por el tamiz núm. 4.
- Tres capas y 25 golpes por capas.
- Se utiliza cuando el 20 % o menos del peso del material es retenido en el tamiz núm. 4.

Método B

- Molde de 4 pulg. de diámetro.
- Material que pasa por el tamiz de 3/8 de pulg.
- Tres capas y 25 golpes por capa.
- Se utiliza cuando el 20 % del peso del material es retenido en el tamiz número 4 y 20 % o menos del peso del material es retenido en el tamiz 3/8.

Método C

- Molde de 6 pulg.de diámetro.
- Material que pasa por el tamiz de $\frac{3}{4}$ de pulg.
- Tres capas, y 56 golpes por capa.
- Se utiliza cuando más del 20 % en peso del material se retiene en el tamiz $\frac{3}{8}$ y menos del 30 % en peso es retenido en el tamiz $\frac{3}{4}$ pulg.

2.2.1.2.2. Procedimiento de ensayo

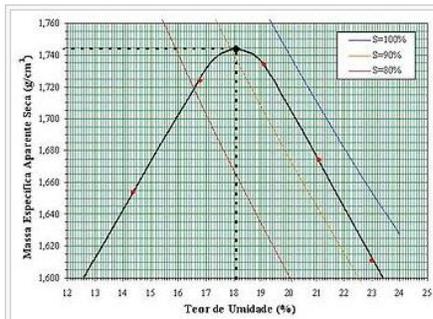
- Sin secado previo de la muestra, pasarla a través del tamiz número 4 o $\frac{3}{4}$ pulg dependiendo del método utilizado.
- Preparar mínimo cuatro especímenes con contenidos de agua, de modo que estos tengan un contenido de agua lo más cercano a lo óptimo estimado.
- Si la muestra está demasiado húmeda, reducir el contenido de agua por secado al aire hasta que el material sea friable.
- Usar aproximadamente 5 lb del suelo tamizado para cada espécimen a ser compactado cuando se emplee el método A o B. Cuando se emplee el método C usar 13 lb.
- Determinar la masa del molde y el plato base.
- Ensamblar y asegurar el molde y el collar al plato base.
- Compactar el espécimen en tres capas. Cada capa debe tener el mismo espesor.
- Compactar cada capa con 25 golpes para el molde de 4 pulgadas o 56 golpes para el molde de 6 pulgadas.
- Después de la compactación de la última capa, remover el collar y plato base del molde.

- Enrasar el espécimen compactado, por medio de una regla recta a través de la parte superior e inferior del molde para formar una superficie plana en la parte superior e inferior del molde.
- Determinar y registrar la masa del espécimen y molde con aproximación al grano.
- Remover el material del molde. Obtener un espécimen para determinar el contenido de agua. Obtener una porción cortando axialmente por el centro del espécimen compactado y removiendo 500 g de material.
- Comparar los pesos unitarios húmedos para asegurar que el patrón deseado del patrón de datos en cada lado del óptimo contenido de humedad, sea alcanzado en la curva de compactación para cada peso unitario seco y plotear el peso unitario húmedo contenido de agua en cada espécimen compactado. Si el patrón deseado no es obtenido, serán necesarios compactar especímenes adicionales.

2.2.1.2.3. Metodología de cálculo

- Calcular el peso unitario seco y contenido de agua para cada espécimen compactado.
- Plotear los valores y dibujar la curva de compactación, como una curva suave a través de los puntos.

Figura 14. **Ejemplo de curva de compactación de la cual se obtiene humedad óptima**



Fuente: DAS, Braja M. *Principio de ingeniería cimentaciones*. p. 54.

- Con base en la curva de compactación determinar el óptimo contenido de agua y el peso unitario seco máximo.
- Calcular la densidad húmeda de la siguiente forma:

$$\rho_m = \frac{M_t - M_d}{1000 * V}$$

Donde:

M_t = masa del espécimen húmedo y molde

M_d = masa del molde de compactación

V = volumen del molde de compactación

- Calcular la densidad seca de la siguiente forma:

$$\rho_d = \frac{\rho_m}{1 + \frac{W}{100}}$$

Donde:

ρ_m = densidad húmeda del espécimen compactado

W = contenido de agua

- Calcular el peso específico de la siguiente forma:

$$\gamma_d = 62,43\rho_d \text{ en lb/ft}^3$$

$$\gamma d = 9,807 \text{ en } \text{Kn}/\text{m}^3$$

- En el cálculo de los puntos para el ploteo de la curva de 100 % de saturación o curva de relación de vacío cero del peso unitario seco, seleccionar los valores del contenido de agua a la condición de 100 % de saturación como sigue:

$$W_{sat} = \frac{(\gamma_w)(G_s) - \gamma d}{(\gamma d)(G_s)} * 100$$

Donde:

W_{sat} = Contenido de agua para saturación completa

γ_w = Peso unitario del agua

γd = Peso unitario seco del suelo

G_s = Gravedad específica del suelo

2.2.1.3. Capacidad de soporte de suelo compactado (CBR) (AASHTO T 193)

La finalidad de este ensayo, es determinar la capacidad de soporte (CBR) de suelos y agregados; compactados en el laboratorio, con una humedad óptima y niveles de compactación variables. Es un método desarrollado por la división de carreteras del Estado de California (EE.UU.) y sirve para evaluar la calidad relativa del suelo con base en su resistencia medida a través de un ensayo de placa escala para subrasante, subbase y base de pavimentos.

El ensayo se realiza normalmente sobre suelo preparado en el laboratorio en condiciones determinadas de humedad y densidad; pero también puede operarse de forma análoga sobre muestras inalteradas tomadas del terreno. El

porcentaje CBR, está definido como la fuerza requerida para que un pistón normalizado penetre a una profundidad determinada, expresada en porcentaje de fuerza necesaria para que el pistón penetre a esa misma profundidad y con velocidad, en una probeta normalizada constituida por una muestra patrón del material chancado. El CBR es uno de los ensayos más extendidos en el mundo debido a su bajo costo de ejecución y a que está asociado a un número de correlaciones y métodos semi-empíricos de diseño de pavimentos.

2.2.1.3.1. Equipo requerido

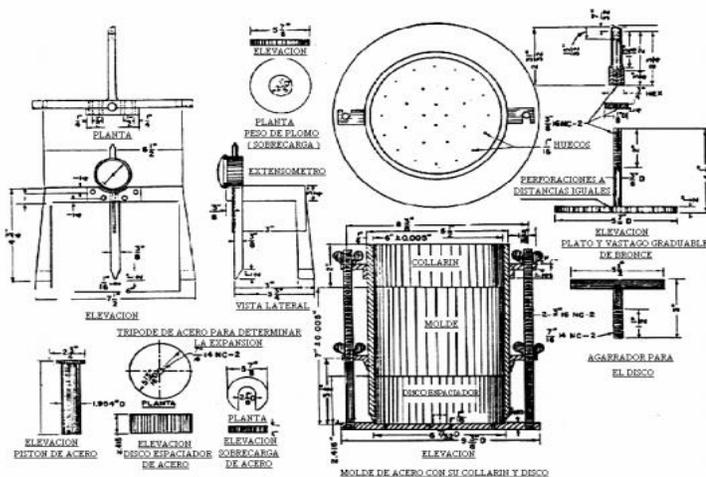
- Prensa similar a las usadas en ensayos de compresión, utilizada para forzar la penetración de un espécimen. La capacidad debe ser de 44,5 KN y su precisión mínima en la medida debe ser de 44 N.
- Molde de metal cilíndrico de 152,4 mm \pm 0,66 mm de diámetro interior y de 0,46 mm de altura.
- Disco espaciador de metal de forma circular de 150,8 mm de diámetro exterior y 61,37 mm \pm 0,127 mm de espesor.
- Pisón de compactación.
- Aparato medidor de expansión compuesto por
 - Una placa de metal perforada por cada molde de 149,4 mm de diámetro cuyas perforaciones no excedan de 1,6 mm de diámetro.
 - Un trípode cuyas patas puedan apoyarse en el borde del molde, que lleve montado en el centro un dial.
 - Uno o dos pesas anulares de metal con una masa de 4,54 \pm 0,02 Kg y pesas ranuradas de metal de masa de 2,27 \pm 0,02 kg.
- Pistón de penetración metálico de sección circular de 49,63 \pm 0,13 mm de diámetro.
- Dos diales con recorrido mínimo de 25 mm.
- Una poza con capacidad suficiente para sumergir los moldes en agua.

- Estufa capaz de mantener una temperatura de 110 ± 5 °C.
- Balanzas, una de 20 kg de capacidad y otra de 1000 g con sensibilidades de 1 g y 0,1 g respectivamente.
- Tamices núm. 4, $\frac{3}{4}$ " , 2".
- Misceláneos de uso general.

2.2.1.3.2. Procedimiento de ensayo

- Se prepara la muestra e tamaño igual o superior a 56 kg. Esta muestra deberá secarse al aire o en un horno a temperatura menor de 60 °C hasta que se vuelva desmenuzable.
- La muestra se pasa por el tamiz $\frac{3}{4}$ " descartando el material retenido.

Figura 15. Secciones de equipo de CBR



Fuente: VALLE RODAS R. *Secciones equipo CBR*. p. 28.

- Se selecciona una porción representativa de 35 kg para realizar el ensayo de compactación Proctor. El resto de la muestra se divide en tres porciones de unos 7 kg cada una.
- Se compactan de tres a cinco probetas, cada porción de suelo se debe mezclar con cierta cantidad de agua para obtener la humedad óptima necesaria para curar el suelo.
- Una vez pesado el molde y verificado su volumen se coloca el disco espaciador sobre la placa base, se fija el molde con el collarín sobre la placa y se coloca un disco de papel filtro sobre el disco espaciador. Dentro del molde se compacta mediante 5 capas cada una de las porciones del suelo húmedo, utilizando para cada porción una energía de compactación distinta, de manera que la densidad a la cual se desee determinar el CBR quede comprendida entre las densidades de dos probetas. Se compactará con 56, 25 y 10 golpes, respectivamente.
- Al comienzo y al final de la compactación deberá tomarse dos muestras representativas del suelo para calcular el contenido de humedad. En caso que las muestras no sean sumergidas, la humedad se determina concluida su penetración.
- Finalizada la compactación, se retira el collarín y se enrasa el suelo al nivel del borde del molde, rellenando los huecos dejados por la eliminación del material grueso con material de menor tamaño. Se retira la placa base perforada, el disco espaciador y se pesa el molde con el suelo compactado.
- Sobre la placa base perforada, se coloca un disco de papel filtro grueso y sobre este se coloca la placa metálica perforada provista de un vástago regulable. Sobre esta placa se colocarán las sobrecargas, cuyo número deberá estar especificado o de lo contrario se usará una sobrecarga mínima de 4,54 kg, equivalente al peso de un pavimento de concreto de 5 pulgadas de espesor.

- Se coloca todo el conjunto cuidadosamente dentro del estanque sin agua, sobre pequeños bloques metálicos o de otro material con el objeto de permitir el libre acceso del agua por debajo de la muestra. Se monta el trípode y se instala el comparador de dial de tal modo que su punta palpable quede tocando el vástago.
- Se llena el estanque con agua, y se registra la lectura inicial del comparador de dial. El tiempo de inmersión dependerá del tipo de saturación. Para un ensayo con saturación normal se deja el molde sumergido durante 96 horas, en cambio para un ensayo de saturación completa se dejará el tiempo necesario hasta que no haya más hinchamiento, lo que se comprueba cuando dos lecturas de dial efectuadas con 24 horas de intervalo difieren en menos de 0,03 mm. Durante todo el tiempo de inmersión el nivel de agua se debe mantener constante.
- Registrada la lectura final del comparador de dial, se retira el trípode y se saca el molde del agua, para dejarlo drenar durante 15 minutos. Finalmente, se retiran las sobrecargas, los discos de papel filtros y las placas perforadas para determinar el peso del molde, más el suelo compactado y saturado.
- Se lleva la probeta a la máquina de ensayo y se colocan sobre ella, una cantidad tal de cargas para reproducir una sobrecarga igual a la que supuestamente ejercerá el material de base y pavimento del camino proyectado. En caso de que la probeta haya sido sumergida, la carga será igual a la aplicada durante a inmersión.
- Se apoya el pistón de penetración con una carga lo más pequeña posible y se colocan los diales de lectura de tensión y deformación en cero. Esta carga inicial, se necesita para asegurar un apoyo satisfactorio del pistón, pero debe considerarse como carga cero para la relación carga–

penetración. La velocidad de carga aplicada para el pistón de penetración será de 1,25 mm / min.

- Se anotan las lecturas de cargas, en los siguientes niveles de penetración: 0,65, 1,25, 1,90, 2,50, 3,10, 3,75, 4,40, 5, 7,50, 10 y 12,5 mm.
- Finalmente, se retira el total de la muestra del suelo del molde y se determina el contenido de humedad de la capa superior, con una muestra de 25 mm de espesor. Si se desea determinar la humedad promedio, se deberá extraer una muestra que abarque el total de la altura del molde.

2.2.1.3.3. Metodología de cálculo

- Calcular la densidad inicial de la muestra, antes de ser sumergida mediante la siguiente expresión:

$$\gamma_i = \frac{(W1 - Mm)}{Vm}$$

Donde:

W1 = Peso del molde más el suelo compactado

Mm = peso del molde

Vm = Capacidad volumétrica del molde

- Calcular la densidad saturada de la muestra, luego de ser sumergida mediante la siguiente expresión:

$$\gamma_s = \frac{(W2 - Mn)}{Vm}$$

Donde:

W2= Peso del molde y suelo compactado y saturado.

- Calcular la expansión de la muestra, como porcentaje de la altura inicial, mediante la siguiente expresión:

$$\%E = \frac{E}{116,4} * 100$$

Donde:

E = expansión en mm.

116.4 = Altura de la probeta en mm.

- Obtener la curva de tensión contra deformación, graficando en la ordenada, las tensiones de penetración en Mpa, y en la abscisa la penetración en milímetros.
- Usando los valores de tensión tomados de las curvas tensión contra penetración, se calcula el CBR para 2,5 mm y 5 mm de penetración, dividiendo las tensiones normales por 6,9 Mpa y 10,3 Mpa respectivamente multiplicándolas por 100. Se calcula también el CBR para la carga máxima si la penetración es menos de 5 mm, interpolando la tensión normal.
- Usando los datos obtenidos anteriormente de las tres probetas, se dibuja la curva CBR contra densidad seca. Con ella se puede determinar el CBR correspondiente a una densidad seca preestablecida.

2.2.1.4. Límites de Atterberg (AASHTO T – 89 y T - 90)

Los límites de Atterberg o límites de consistencia se basan en el concepto de que los suelos finos pueden encontrarse en diferentes estados, dependiendo del contenido de agua. De este modo, un suelo se puede encontrar en estado sólido, semi-sólido, plástico, semi-líquido y líquido; cambiando gradualmente al agregarle agua. De acuerdo con lo anterior se consideran tres límites o estados de consistencia: el límite de contracción (LC), que es la frontera convencional entre el estado sólido y semi-sólido; el límite plástico (LP), que es la frontera

entre los estados semi-sólido y plástico; y el límite líquido (LL); que es la frontera entre los estados plástico y semilíquido.

Este método de ensayo es utilizado como una parte integral de sistemas de ingeniería para caracterizar las fracciones de grano fino de los suelos. El límite líquido, plástico e índice de plasticidad de suelos son utilizados también para correlacionar con el comportamiento ingenieril, tal como compresibilidad, permeabilidad, compactibilidad, contracción – expansión y resistencia al corte. Para realizar los límites de Atterberg se trabaja con todo el material menor que la malla núm. 40. Esto quiere decir que no solo se trabaja con la parte final del suelo, sino que se incluye igualmente la fracción de arena fina.

2.2.1.4.1. Descripción del ensayo para el límite líquido

Este ensayo es conocido como Método Mecánico o copa de Casagrande. Consiste en una copa semiesférica de bronce con radio interior de 54 milímetros, espesor de 2 milímetros y peso de 200,2 gramos, incluyendo el soporte, el cual gira respecto a un eje fijo que a su vez está unido a una base de hule duro. Arthur Casagrande determinó que el límite líquido estaba definido como la resistencia al corte en un determinado contenido de humedad, estimando esta resistencia entre 1,7 a 2,3 Kpa.

El esfuerzo cortante inducido por la copa de Casagrande por golpe es aproximadamente de $1\text{g}/\text{cm}^2$ y lo que busca el ensayo es encontrar la humedad a la que un surco de dos milímetros de ancho hecho en la muestra se cierra a lo largo de 13 milímetros, con 25 golpes a una velocidad de aproximadamente 120 revoluciones por minuto.

El procedimiento de un límite líquido de un punto es frecuentemente utilizado con propósitos de clasificación de rutina. Cuando una mayor precisión es requerida, como cuando se utiliza para la aceptación de un material o para correlación con datos de otros ensayos.

2.2.1.4.2. Equipo requerido

- Máquina de Casagrande.
- Acanalador.
- Balanza de sensibilidad de 0,1 g
- Varios: espátula de acero flexible, cápsulas de porcelana, placa de vidrio, horno regulable a 110° C.

2.2.1.4.3. Procedimiento de ensayo

- Se puede preparar la muestra de ensayo por medio de dos métodos:
 - secándolo al sol para luego molerlo y pasarlo por el tamiz núm. 40 hasta conseguir de 150 a 200 gramos de suelo, mezclarlo con agua destilada para llevarlo a la humedad necesaria con la que cerraría el surco en la copa de Casagrande con unos 25 a 35 golpes y dejar reposar esta muestra durante 24 horas para homogeneizar la humedad de la muestra.
 - El segundo método se suele utilizar cuando las partículas del suelo son demasiado gruesas, no se debería de lavar más de una libra de material por vez, se procede al lavado de la muestra con la menor cantidad de agua posible, mientras se pasa a través del tamiz núm. 40 y se recupera el líquido para luego secarlo hasta que la muestra llegue a la humedad expuesta en el primer método,

ya sea dejándolo al aire libre o con aire caliente, utilizando un secador. Luego se mezcla la muestra y se deja reposar 24 horas.

- Se debe colocar la copa de Casagrande en una superficie firme y horizontal, verificando que la altura de la caída sea la correcta. Para verificar esto, se coloca un calibrador de un centímetro entre la copa del aparato y su base, para que, al girar la perilla en el sentido opuesto, se escuche un ligero campanileo, pero sin levantar la copa.
- Para ensayar el material, se coloca la muestra previamente humedecida, en un contenedor que facilite su mezclado y homogeneizado, para esto se utiliza una espátula y una capsula. El mezclado se utiliza con cada nuevo contenido de humedad hasta que la muestra logre un color uniforme.
- Colocar la mezcla homogeneizada en la copa de Casagrande extendiéndola en una espátula flexible y evitando que se formen burbujas de aire dentro de la muestra o en el contacto con la copa, luego se nivela de modo que la superficie quede horizontal respecto al punto más bajo de la corona. Esto representa aproximadamente 16 cm^3 de material. Se separa la mezcla con un ranurador, buscando que sea por el eje simétrico de la copa y se verifican la cantidad de golpes necesarios para que el surco creado se cierre en una longitud de 13 cm. El cierre debe ser simétrico y parejo, de lo contrario, esto indicaría una mala homogenización de la muestra.

Figura 16. **copa de Casagrande**



Fuente: Laboratorio de Suelos, Universidad de San Carlos de Guatemala.

Figura 17. **Detalle del talón del aparato de Casagrande al ser calibrado**



Fuente: Laboratorio de Suelos, Universidad de San Carlos de Guatemala.

Figura 18. **Ranurado para ensayo de límite líquido**



Fuente: Laboratorio de Suelos, Universidad de San Carlos de Guatemala.

- El resultado se puede encontrar de dos formas:
 - Realizar al menos tres pruebas que queden de preferencia distribuidas de manera equitativa entre los 10 y 50 golpes,
 - Prueba de un solo punto que quede lo más cercano posible a los 25 golpes, lo que podría ser entre 20 y 30 golpes.
- Si el surco se cierra con una diferencia no mayor a dos golpes, se puede usar la primera humedad, sino se debe mezclar de nuevo el material.
- Luego de cada ensayo, se anotan el número de golpes necesarios para cerrar el surco a lo largo de 13 milímetros y se toma una muestra para pedir humedad. Estas muestras deben pesarse de inmediato para tener mejores resultados. Dejar secar al horno hasta obtener un peso constante. Se recomienda 24 horas para arcillas altamente plásticas, y menos para arcillas poco plásticas o limos.

2.2.1.4.4. Metodología de cálculo

- El cálculo de humedad se realiza a partir de la siguiente ecuación:

$$w = \frac{Wbh - Wbs}{Wbs - Tc}$$

Donde:

W = Contenido de humedad

W_{BH} = Peso bruto húmedo (tara + material)

W_{BS} = Peso bruto seco (tara + material seco)

T_C = Tara del contenedor

- Para realizar los cálculos se utilizan básicamente dos métodos, pudiendo depender de la cantidad de muestra que se tiene disponible para el ensayo;
 - Si se realizaron de 3 a 5 pruebas con distintas humedades, se deben dibujar los resultados en una gráfica de humedad contra golpes. Se colocan los golpes en el eje de las abscisas con una escala logarítmica de base 10 y la humedad en el eje de las ordenadas con una base aritmética. Se traza una línea en la gráfica y se encuentra linealmente la humedad correspondiente a 25 golpes.
 - En el caso de hacer el ensayo por el método de un solo punto, se debe calcular la humedad de los 25 golpes utilizando las siguientes fórmulas:

$$LL = w * \left(\frac{Ng}{25}\right)^{0,121}$$

$$LL = K * Ng$$

Donde:

N_G = El número de golpes necesarios para cerrar el surco de la copa de Casagrande a lo largo de 13 mm.

W_N = El contenido de humedad.

K = Factor de cálculo para límite líquido.

Tabla XI. **Factores para cálculo de límite líquido por un punto**

N_G (Número de golpes)	K (factor límite de líquido)
20	0.974
21	0.979
22	0.985
23	0.990
24	0.995
25	1.000
26	1.005
27	1.009
28	1.014
29	1.018
30	1.022

Fuente: elaboración propia.

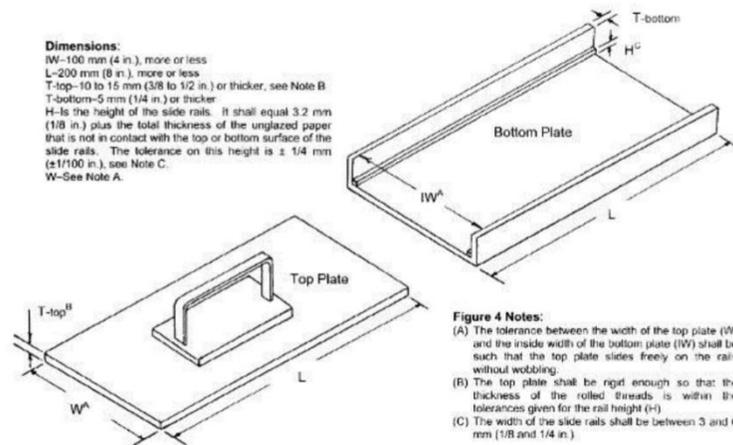
2.2.1.4.5. Descripción del ensayo para límite plástico

El límite plástico es una medida de la cohesión del suelo, y marca la humedad en que las partículas del suelo pierden su maleabilidad, esta cohesión debe ser lo suficientemente baja como para permitir el movimiento entre partículas, y lo suficientemente alta como para permitir que mantenga su nueva forma; por lo tanto, el límite plástico es una medida de contenido de humedad del suelo en el que debiera tener cierta resistencia al corte y una cantidad de agua suficiente para mojar todas superficies de las partículas del suelo y los pequeños poros.

2.2.1.4.6. Equipo requerido

- Placa de vidrio para suelo de por lo menos 30 cm² y 1 cm de espesor.
- Placa de vidrio esmerilizado de 20 x 20 cm (opcional).
- Espátula de 3/4" de ancho y 10 a 13 cm de largo.
- Tamiz núm. 8, 40 y 10.
- Botellas de agua o recipiente similar para agregar controladas cantidades de agua en el suelo.
- Horno de secado capaz de mantener una temperatura constante de 110 ± 5 °C.
- Cazuela de lavado de fondo plano, de por lo menos 7,6 cm de profundidad.

Figura 19. Placa de vidrio esmerilizado de 20 x 20 cm



Fuente: HERNÁNDEZ CANALES, Juan Carlos. *Características físicas y propiedades mecánicas de los suelos y sus métodos de medición.* p. 63.

2.2.1.4.7. Procedimiento de ensayo

- Seleccionar una porción de 20 gramos o más de tierra del material preparado para la prueba del límite líquido. Reducir el contenido de agua del suelo hasta llegar a una consistencia en la que se puede rodar sin pegarse a las manos. El proceso de secado se puede acelerar mediante la exposición del suelo a la corriente de aire de un ventilador eléctrico o con papel de filtro.
- A partir de esta muestra, seleccionar una porción de 1,5 a 2 g y formar una masa elipsoidal.
- Hacer la masa del suelo por medio de los siguientes métodos:
 - Enrollar la masa en la palma de la mano o los dedos con suficiente presión justo para rodar la masa en un hilo de diámetro uniforme en toda su longitud. El hilo se debe deformar más en cada movimiento a fin de que su diámetro llegue a 1/8 de pulgada, sin tomar más de dos minutos. La cantidad de amasado o la presión del dedo requerida variará mucho de acuerdo al suelo que se está utilizando. La presión requerida típicamente aumenta con el incremento de la plasticidad. Los suelos frágiles de baja plasticidad se enrollan mejor en el borde exterior de la palma de la mano o en la base del pulgar.
 - Colocar papel sin esmalte, tanto en la parte superior como en la inferior de la placa de vidrio esmerilizado. Colocar la masa del suelo en la parte inferior de la placa, en el punto medio entre los carriles de desplazamiento. Colocar la parte superior de la placa en contacto con la masa del suelo y aplicar una fuerza hacia abajo y ligeramente hacia atrás y adelante, de modo que la placa superior entre en contacto con los rieles laterales.

- Cuando el diámetro de los cilindros, se convierte en 3,2 mm, romper el hilo en varios pedazos. Apretar el material, amasar entre el pulgar y el dedo índice de cada mano y volver a realizar una masa elipsoidal de 3,2 mm de diámetro. Realizar este procedimiento hasta que el hilo se deshaga bajo la presión necesaria para que el material ya no pueda ser amasado en un cilindro de 1 mm de diámetro.
- Recoger las porciones de los cilindros que se deshicieron y colocarlo en un recipiente que debe ser cubierto inmediatamente.
- Seleccionar otra porción de 1,5 g a 2 g de suelo y repetir el mismo procedimiento anterior hasta que hallan dos recipientes por lo menos 6 g de suelo.
- Colocar el recipiente en el horno para determinar el contenido de agua del suelo.

2.2.1.4.8. Metodología de cálculo

- Calcular el límite plástico correspondiente a un porcentaje de humedad por medio de la siguiente fórmula:

$$L.P. = \frac{Pnh - Pns}{Pns} * 100$$

- Calcular el índice de plasticidad de la siguiente manera:

$$PI = ll - LP$$

LL = Límite líquido

LP = Límite plástico

2.2.1.5. Equivalente de arena (AASHTO T 176)

Es la medida de la cantidad de limos o arcillas contaminantes presentes en agregados finos o arenas, y es expresado como un valor porcentual. El

propósito de este ensayo es servir como una prueba rápida de campo, que permita evaluar las características de los agregados a utilizar. Este indica la proporción relativa de polvo fino o materiales arcillosos perjudiciales contenidos en el agregado empleado en la mezcla asfáltica para pavimentación. Este ensayo se aplica a la fracción que pasa por la malla núm. 4.

2.2.1.5.1. Equipo requerido

- Cilindro graduado de plástico con diámetro interior de $31,75 \pm 0,381$ mm y altura de 431,8 mm aproximadamente, graduado en espacios de 2,54 mm desde el fondo hasta una altura de 381 mm.
- Tapón macizo de caucho.
- Tubo irrigador.
- Tubo flexible de plástico.
- Un botellón de 3,785 L.
- Dispositivo para tomar lecturas.
- Recipiente metálico.
- Embudo de boca ancha.
- Cronómetro.
- Tamiz núm. 4.
- Solución (cloruro de calcio).
- Agregado fino.

2.2.1.5.2. Procedimiento de ensayo

- Pasar el material por el tamiz núm. 4 y agregar en la probeta el material seleccionado.
- Agregar en la probeta el cloruro de calcio hasta la marca de 10 cm.
- Colocar la solución nuevamente hasta la marca de 38 cm.

- Agitar la probeta con el contenido durante un minuto procurando hacer en este tiempo 90 movimientos, generando en la muestra una turbulencia en toda la mezcla. Después de esto, se deja en reposo el tubo durante unos 20 minutos para que vaya reaccionando la solución y la muestra de arena.
- Después de este tiempo se lee directamente en la probeta la altura a la que se encuentran los finos. A este valor se le llama “lectura de arcilla”.
- Introducir el pisón lentamente para evitar turbulencias y dar un pequeño giro sin aplicar presiones y tomar la altura a la que se encuentra la arena.

2.2.1.5.3. Metodología de cálculo

- Calcule el equivalente de arena con la fórmula siguiente, aproximando al 1%

$$EA = \frac{\text{Lectura de arena}}{\text{Lectura de arcilla}} * 100$$

2.2.2. Ensayos realizados a la carpeta de mezcla asfáltica

El objetivo principal del diseño de mezclas asfálticas de pavimentación, consiste en determinar una combinación y graduación económica de asfalto y agregados (dentro de los límites de las especificaciones del proyecto) que produzcan una mezcla con:

- Suficiente asfalto para proporcionar un pavimento durable.
- Buena estabilidad para satisfacer las demandas de tránsito sin producir deformaciones o desplazamientos.
- Suficiente trabajabilidad para evitar la segregación al momento de colocación.

- Un contenido de vacíos lo suficientemente alto, para permitir una ligera cantidad de compactación adicional bajo las cargas producidas por el paso de vehículos sin que se produzca exudación.

El diseño de mezcla adecuado, es generalmente el más económico y cumple satisfactoriamente los criterios mencionados anteriormente. Para conocer la calidad de una carpeta de mezcla asfáltica ya colocada, se llevan a cabo diferentes pruebas que dan a conocer, tanto sus características volumétricas como mecánicas.

2.2.2.1. Análisis granulométrico para pavimento de concreto asfáltico (ASTM D3515)

El objeto de este ensayo es identificar las proporciones de partículas de tamaño diferente en las muestras del agregado. Es importante conocer esta información de un pavimento ya existente, porque indica si la mezcla tiene las características deseadas en base a que las especificaciones de la mezcla deben estipular las proporciones necesarias de partículas de agregado de tamaño diferente.

2.2.2.1.1. Equipo requerido

- Batería de tamices según el tipo de agregado.
- Espátula.
- Taras.
- Horno.
- Balanza.

Tabla XII. **Graduación de agregados para pavimentos de concreto asfáltico**

Tamaño del tamiz	Porcentaje de masa que pasa el tamiz designado (AASHTO T 27 y T 11)					
	Graduación designada y tamaño máximo nominal					
	A (50,8 mm)	B (38,1 mm)	C (25,4 mm)	D (19 mm)	E (12,5 mm)	F (9,5 mm)
	2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"
63,00 mm	100					
50,00 mm	90 -- 100	100				
38,10 mm	___	90 -- 100	100			
25,00 mm	60 -- 80	___	90 -- 100	100		
19,00 mm	___	56 -- 80	___	90 -- 100	100	
12,50 mm	35 -- 65	___	56 -- 80	___	90 -- 100	100
9,50 mm	___	___	___	56 -- 80	___	90 -- 100
4,75 mm	17 -- 47	23 -- 53	29 -- 59	35 -- 65	44 -- 74	55 -- 85
2,36 mm	10 -- 36	15 -- 41	19 -- 45	23 -- 49	28 -- 58	32 -- 67
0,30 mm	3 -- 15	4 -- 16	5 -- 17	5 -- 19	5 -- 21	7 -- 23
0,075 mm	0 -- 5	0 -- 6	1 -- 7	2 -- 8	2 -- 10	2 -- 10

Fuente: Dirección General de Caminos. *Especificaciones generales para la construcción de carreteras y puentes*. p. 298.

2.2.2.1.2. Procedimiento de ensayo

- Colocar la muestra de asfalto lavada al horno a una temperatura de 60 °C.

Figura 20. **Muestra de asfalto seco saturada**



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería, Facultad de Ingeniería, Usac.

- Secar y pesar cada muestra de agregado.
- Lavar la muestra utilizando un tamiz núm. 200 para remover cualquier partícula mineral que se encuentre en el agregado.
- Secar las muestras lavadas, siguiendo el procedimiento de calentado y pesado.
- Registrar el peso seco de cada muestra. Para determinar la cantidad de polvo mineral en el agregado, se compararán los pesos antes y después del lavado.

2.2.2.1.3. Metodología de cálculo

- Se realiza el mismo procedimiento descrito anteriormente para la granulometría de la base, subbase y subrasante. En general, se hace el cálculo con base en los pesos retenidos acumulados, para determinar el porcentaje que pasa en cada tamiz.

2.2.2.2. Gravedad específica Bulk de briquetas (ASTM D 1188)

La gravedad específica Bulk de especímenes compactados de mezclas bituminosas, se determina utilizando muestras que contengan espacios vacíos o interconectados o que absorban más del 2 % de agua por volumen.

2.2.2.2.1. Equipo requerido

- Baño de agua para inmersión de muestras en el agua.
- Balanza con una aproximación del 0,01g.
- Parafina.
- Espuma de poliuretano.
- Cilindro de calibración de un diámetro aproximado de 100 mm por 60 mm.

2.2.2.2.2. Procedimiento de ensayo

- Se recomienda que el diámetro del espécimen cilíndrico sea al menos igual a cuatro veces el tamaño máximo del agregado.
- Se recomienda que el espesor de los especímenes sea al menos una vez y media el tamaño máximo del agregado.
- La extracción de los especímenes tomados del pavimento construido deberá hacerse con taladro saca-núcleos, o mediante otros métodos apropiados.
- Poner a secar la muestra formada a través del método Marshall, extraerla de la probeta y determinar su masa.
- Determinar la masa sumergida del testigo.

- Determinar la masa seca saturada, sumergiéndola en agua, aproximadamente 5 minutos.
- Tomar alturas y diámetros del testigo.

2.2.2.2.3. Metodología de cálculo

- La gravedad específica Bulk de briquetas puede determinarse utilizando la siguiente fórmula:

$$G_{mb} = \frac{A}{B - C}$$

Donde:

G_{MB} = Gravedad específica Bulk de briquetas.

A = Masa seca del espécimen.

B = Masa seca saturada del espécimen.

C = Masa del espécimen sumergido.

2.2.2.3. Gravedad específica máxima teórica (ASTM D 2041)

La gravedad específica máxima teórica y densidad de mezclas bituminosas de pavimentación son propiedades fundamentales cuyos valores están influenciados por la composición de la mezcla en términos de tipo y montos de agregados y materiales bituminosos.

Estos valores son usados para calcular el porcentaje de vacíos con aire, en una mezcla de pavimento asfáltico en caliente, y de esta forma calcular la cantidad de asfalto absorbido por los poros internos del agregado. Los resultados son valores importantes para el proceso de compactación.

2.2.2.3.1. Equipo requerido

- Tazón de vacío de metal o plástico con un diámetro de 180 a 260 mm y una altura de al menos 160 mm.
- Frasco de vacío para pesado en aire con una capacidad de aproximadamente 4000 ml sellada con tapón de hule.
- Balanza con aproximación de 0,1 g.
- Bomba de vacío o aspirador de agua.
- Manómetro de presión residual o un calibrado medidor de presión absoluta.
- Manómetro o medidor de vacío.
- Termómetros con escala máxima de error de 0,5 °C.
- Baño de agua capaz de mantener la temperatura constante entre 20 y 30 °C.
- Válvula de sangrado.
- Aparato de agitación mecánica.
- Horno capaz de mantener la temperatura a 110 ± 5 °C.

2.2.2.3.2. Procedimiento de ensayo

- Se separan las partículas de la muestra a mano, teniendo cuidado de no fracturar los minerales.
- Las muestras preparadas en el laboratorio se deben secar y curar al horno a 135 ± 5 °C por un mínimo de dos horas. Las muestras que no han sido preparadas en laboratorio se dejan secar hasta tener masa constante a una temperatura de 105 ± 5 °C.
- Se enfría la muestra hasta la temperatura ambiente, y se coloca en un recipiente o picnómetro. Se pesa y se determina la masa neta, luego se agrega suficiente agua para cubrir la muestra.

- Se debe remover el aire atrapado en la muestra aplicando incrementos graduales de vacío hasta que la presión residual del manómetro indique $3,7 \pm 0,3$ Kpa. Se debe mantener esta presión residual por un período de 15 ± 2 min. Durante el período de aplicación de vacío el recipiente se debe agitar continuamente.
- Al final del período de aplicación del vacío se suelta el vacío incrementando la presión a una velocidad no mayor de 8 Kpa por segundo y se procede a determinar lo siguiente:
 - Se suspende el recipiente y su contenido dentro del baño de agua y se determina su masa después de una inmersión de 10 ± 1 °C.
 - Se llena el picnómetro con agua y se pone en baño de agua a una temperatura de 25 ± 5 °C. Se determina la masa del recipiente y su contenido completamente lleno.

2.2.2.3.3. Metodología de cálculo

- Calcular la gravedad específica máxima de la prueba como sigue:
 - Determinación usada por tazones bajo agua:

$$G = \frac{A}{A - (C - B)}$$

Donde:

G = gravedad específica máxima de la mezcla

A = masa de la muestra seca en aire (g)

B = masa del tazón debajo del agua (g)

C = masa del tazón y muestra debajo del agua (g)

- Determinación de tazón al aire

$$G = \frac{A}{A + D - E}$$

Donde:

G = gravedad específica máxima de la mezcla

A = masa de la muestra seca en aire (g)

D = masa de tapa y tazón con agua a 25°C (g)

E = masa de tapa, tazón, muestra y agua a 25 °C (g)

2.2.2.4. Porcentaje de vacíos de aire en mezclas bituminosas densas y abiertas

El objetivo es determinar, a través de la gravedad específica máxima teórica y la gravedad específica Bulk de briquetas, el volumen de los pequeños espacios de aire que se encuentran entre las partículas de agregado, cubiertas por asfalto en una mezcla asfáltica compactada.

2.2.2.4.1. Metodología de cálculo

- El porcentaje de vacíos de aire se calcula con la siguiente fórmula:

$$Va = 100 * \left(\frac{Gmm - Gmb}{Gmm} \right)$$

Donde:

Va = Porcentaje de vacíos de aire en la mezcla asfáltica compactada

Gmm = Gravedad específica máxima teórica de la mezcla

Gmb = Gravedad específica Bulk de la mezcla

2.2.2.5. Estabilidad y flujo Marshall (ASTM D 1559)

El ensayo de estabilidad está dirigido a medir la resistencia a la deformación de la mezcla. La fluencia mide la deformación, bajo carga que ocurre en la mezcla.

2.2.2.5.1. Equipo requerido

- Extractor de probetas en forma de disco con diámetro de 100 mm y 12,7 mm de espesor.
- Sujetador para el molde que consiste en un dispositivo con resorte de tensión diseñado para centrar rígidamente el molde de compactación sobre el pedestal.
- Mordazas y medidor de deformaciones. Las mordazas consisten en dos segmentos cilíndricos con un radio interior de 50,8 mm. El medidor de deformación consiste en un deformímetro de lectura final fija con divisiones en 0,25 mm. El medidor debe estar apoyado sobre la mordaza superior y su vástago en una palanca ajustable acoplada a la mordaza inferior.
- Prensa para la rotura de las probetas, puede ser mecánica o hidráulica capaz de mantenerse a una velocidad constante de 50,8 mm por minuto. Su capacidad de carga mínima debe ser de 40 Kn
- Medidor de estabilidad que consiste en un anillo dinamométrico acoplado a la prensa de 22,2 Kn
- Tanque para agua de 152,4 mm de profundidad mínima y manteniendo la temperatura a 60 ± 1 °C.
- Termómetros blindados de 9,9 a 204 °C para determinar las temperaturas del asfalto, agregado y mezclas con sensibilidad de 2,8 °C
- Balanzas de 5 kg de capacidad con sensibilidad de 1 g y otra de 2 kg de capacidad sensible a 0,1 g para probetas.

Figura 21. **Prensa Marshall**



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería, Facultad de Ingeniería, Usac.

2.2.2.5.2. Procedimiento de ensayo

- Las probetas son calentadas en el baño de agua a 60 °C. Esta temperatura representa la temperatura más caliente que un pavimento en servicio va a experimentar.
- La probeta es removida del baño, secada y llevada al aparato Marshall. El aparato consiste en un dispositivo que aplica carga a la probeta y de unos medidores de carga y deformación.
- La carga del ensayo es aplicada a la probeta a una velocidad constante de 51mm por minuto hasta que la muestra falle. La falla se define como la carga máxima que la briqueta puede resistir.
- La carga de falla se registra como el valor de estabilidad de Marshall y la lectura del medidor de fluencia se registra como la fluencia o deformación.

2.2.2.5.3. Metodología de cálculo

Para conocer la estabilidad Marshall, se toma el dato que marca el dial al momento de la falla. Para el flujo Marshall se toma el dato de deformación que marca el dial al momento de la falla.

2.2.2.6. Porcentaje de ligante asfáltico efectivo para ensayos de control de calidad

El objetivo de la prueba es determinar, por medio de ensayos de gravedad específica máxima teórica y gravedad específica Bulk de briquetas, el contenido de asfalto que determina el desempeño de una mezcla asfáltica. El rol del ligante asfáltico es mantener los agregados con suficiente cohesión para resistir desprendimientos y desplazamientos. La durabilidad del ligante está vinculada con la oxidación y el mantenimiento de su poder cohesivo. El empleo del ligante en exceso restringe los vacíos y tiende a provocar un escurrimiento del ligante durante el transporte.

2.2.2.6.1. Equipo requerido

- Espátula.
- 1 galón de gasolina.
- Extractora de bitumen o centrifugadora.
- *Beaker*.
- Tara.
- 4 *beakers* de tamaño mediano para verificar el cambio de color en el lavado de la mezcla asfáltica.

2.2.2.6.2. Procedimiento de ensayo

- Se toma una muestra de mezcla compactada, se deshace y se coloca en la pesa 1 000g de la mezcla a temperatura ambiente.
- Se arma el equipo de la centrifugadora o extractora de bitumen.

Figura 22. Centrifugadora o extractora de bitumen



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería, Facultad de Ingeniería, Usac.

- Se coloca 1 000g de mezcla asfáltica deshecha.
- Se coloca un filtro.
- Se le agregan 450 ml de gasolina, se enciende la máquina estableciendo una velocidad media para la extracción.
- Al momento que el asfalto lavado sale de la extractora, se coloca un *beaker* de tamaño mediano y se toma una muestra de asfalto lavado.
- Se repiten los pasos anteriores hasta que el asfalto tenga un color claro.
- Se toma la muestra de agregado lavado, se coloca en el horno junto con el filtro para ser secado previo a la granulometría.

2.2.2.6.3. Metodología de cálculo

- Se determina a través de la siguiente ecuación:

$$Pbe = Pb - \frac{Pba}{100} * 100$$

Donde:

Pbe = Contenido de asfalto efectivo, expresado en el porcentaje del peso total de la mezcla.

Pb = contenido de asfalto expresado en el porcentaje del peso total de la mezcla.

Pba = asfalto absorbido expresado en el porcentaje de la masa del agregado.

Ps = contenido de agregado, expresado en el porcentaje total de la masa de la mezcla.

2.3. Ensayos no destructivos

Para complementar los ensayos destructivos descritos anteriormente, se realizará en este estudio un análisis “no destructivo” que consta en la interpretación de las deflexiones medidas en la superficie de un pavimento. Las deflexiones en la superficie de un pavimento reflejan una respuesta global del sistema pavimento–subrasante bajo una carga dada. Su medición es simple, rápida, económica y “no destructiva”, es decir no se altera el equilibrio ni la integridad del sistema.

Para realizar las medidas de deflexión se deben producir deformaciones elásticas en el pavimento mediante dispositivos especiales, las cuales actúan bajo una sollicitación estática o dinámica. Estas deflexiones desaparecen una vez que deja de actuar el dispositivo de medición. Existen varios equipos capaces de medir deflexiones, destacándose entre los más importantes los siguientes:

Viga Benkelman: es el dispositivo más antiguo desarrollado, el cual ha sido tradicionalmente usado para medir deflexiones. Consiste en una estructura con tres puntos de apoyo, de los cuales dos se apoyan en el pavimento en forma de viga simple y un tercero que pivotea en torno a esta bajo la acción de una carga normalizada, con lo cual se registra la deformación relativa entre estos puntos.

Figura 23. **Viga Benkelman**



Fuente: THENOUZ, Guillermo. *Evaluación técnica del pavimento y comparación de métodos de diseño de capas de refuerzo asfáltico*. p.81 .

Equipo estático semicontinuo: consiste en utilizar una viga de deflexión similar a la viga Benkelman pero montada en el chasis de un vehículo especialmente adaptado para tales fines. Un ejemplo de este equipo es el deflectómetro Lacroix.

Figura 24. **DeflectómetroLacroix**



Fuente: THENOUZ, Guillermo. *Evaluación técnica del pavimento y comparación de métodos de diseño de capas de refuerzo asfáltico*. p. 81.

Equipo dinámico de aplicación de carga: este dispositivo opera bajo el principio de fuerzas vibratorias, la cual es aplicada en el pavimento por medio de ruedas metálicas. Las magnitudes de estas deformaciones son captadas por medio de cinco geófonos colocados en el centro del eje de las dos ruedas y espaciados a intervalos de 30 cm desde el punto de aplicación. Ejemplos de este equipo son Dynaflect y Road Rater.

Figura 25. **Equipo Dynaflect**



Fuente: THENOUZ, Guillermo. *Evaluación técnica del pavimento y comparación de métodos de diseño de capas de refuerzo asfáltico*. p. 82.

Equipo de impacto: el principio de operación es similar al equipo dinámico de aplicación de carga, con la diferencia de que la sollicitación se produce mediante el impacto producido por la caída libre de un peso sobre unos mecanismos con amortiguadores, los que se apoyan en una placa de goma sobre el pavimento. Es conocido generalmente como *falling weight* deflectómetro y ejemplos de este equipo son Dynatest o Kuab.

Figura 26. **Equipo Kuab**



Fuente: THENOUZ, Guillermo. *Evaluación técnica del pavimento y comparación de métodos de diseño de capas de refuerzo asfáltico*. p. 82.

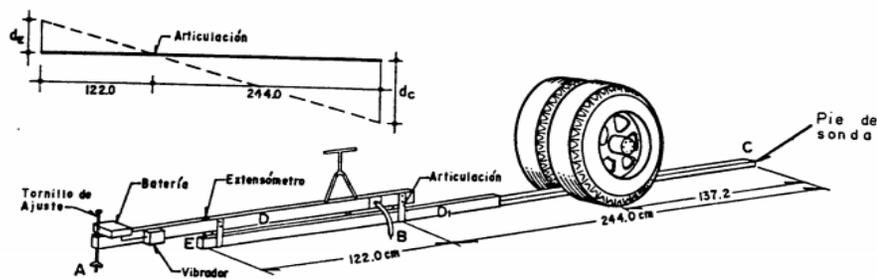
2.4. Medida de la deflexión de un pavimento empleando la viga Benkelman (AASHTO T 256)

La viga Benkelman es una palanca multiplicadora que tiene en el extremo final un comparador con el que se mide la deflexión producida en el extremo inicial situado entre las dos ruedas gemelas de un eje tipo. La medición de la deflexión con este equipo es puntual y manual, debiendo cerrar el tráfico. No es práctico realizar mediciones de deflexiones a menos de 25 metros con este equipo.

2.4.1. Partes de la viga Benkelman

De acuerdo con el Instituto Norteamericano del Asfalto, debe hacerse un estudio cada 5 km de carretera; los subtramos con viga Benkelman deben tener una calificación I.S.A. menor de 3 y una longitud de 500 m para tomar deflexiones a cada 20 m. A continuación, se presenta un dibujo de la viga Benkelman y las partes que la forman.

Figura 27. Esquema de la Viga Benkelman



ESQUEMA DE LA VIGA BENKELMAN.

Fuente: BENITEZ CEJUDO, Victor Manuel. *Estudio y proyecto para refuerzo de la estructura del pavimento de la carretera Tepic – Mazatlán*. p. 32.

Según se esquematiza la viga Benkelman consta esencialmente de dos partes:

- Un cuerpo de sostén que se sitúa directamente sobre el terreno mediante tres apoyos. (dos delanteros fijos “A” y uno trasero regulable “B”).
- Un brazo móvil acoplado al cuerpo fijo mediante una articulación de giro o pivote “C”, uno de cuyos extremos se apoya sobre el terreno (punto

“D”) y el otro se encuentra en contacto sensible con el vástago de un extensómetro de movimiento vertical (punto “E”).

La viga Benkelman comprende los siguientes elementos:

- Bastidor–viga: con tres pies de apoyo sobre el suelo, sirve de sustentación a la palanca de medida y de soporte al comprador o dial medidor.
- Palanca de medida: de 3,6 m de longitud que se puede desmontar en tres partes durante el transporte. Se suspende al bastidor con un eje que la divide en dos partes con relación 2:1.
- Suspensión: un eje, punto de apoyo de la palanca, suspendido en dos rodamientos a bolas, estancos al polvo y solidarios al bastidor.
- Puntos de apoyo: son tres pies solidarios al bastidor, con regulación de su altura mediante tornillo; los dos anteriores están situados simétricamente con respecto al eje longitudinal de la viga a 170 mm del mismo y separados del posterior, situado en el extremo del bastidor, 1 208 mm.
- Pasador: sujeto al bastidor por una cadenilla, sirve para bloquear la palanca, dejándola fija al bastidor.
- Nivel: para nivelar transversalmente la viga, y por tanto poner horizontal el eje de rotación de la palanca, por medio de los tornillos de los apoyos anteriores.
- Deformímetro: aparato con limbo dividido en 0,01 mm y con un recorrido igual o superior a 10 mm. Se fija al bastidor con un soporte solidario de este, de modo que su vástago prolongado apoya en el extremo de la palanca de medida.
- Palpador: pieza metálica que reposa sobre el suelo en el punto de medida.

- Nudos: para unir los tramos en que se puede dividir la palanca de medida.

2.4.2. Equipo requerido

El equipo mínimo para la realización de ensayos de medición de deflexiones es el siguiente:

- Deflectómetro viga Benkelman con relación de brazos 1:2.
- Extensómetro con dial indicador de divisiones cada 0,01 mm.
- Camión cargado con eje trasero de 1 8000 libras igualmente distribuidas en un par de llantas dobles infladas a una presión de 75 a 85 psi.
- Vehículo auxiliar para transportar al personal y equipo misceláneo.
- Balanza portátil para pesaje del camión, con capacidad de 10 toneladas.
- Accesorios de medición y varios (cinta métrica de 3m, plumones de punta gruesa, plomada, destornillador, alicates, hojas de campo, lápices, señales de seguridad, termómetro, cincel, martillo, varilla de metal o madera de 2 m, alambre de amarre, entre otros.).

2.4.3. Procedimiento de ensayo

El punto del pavimento a ser ensayado deberá ser marcado convenientemente con una línea transversal al camino. Sobre dicha línea será localizado el punto de ensayo a una distancia prefijada del borde. Se recomienda usar las siguientes distancias

Tabla XIII. **Localización del punto de ensayo**

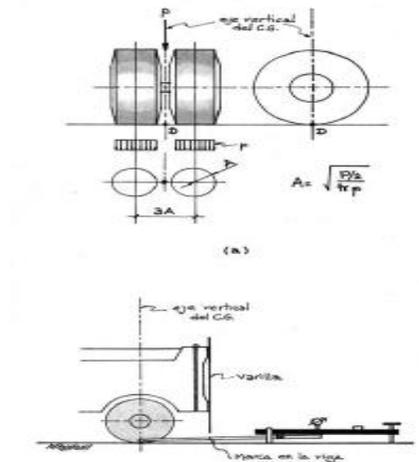
Ancho del carril	Distancia del punto de ensayo desde el borde del pavimento
2,70 m	0,45 m
3,00 m	0,60 m
3,30 m	0,75 m
3,60 m o mas	0,90 m

Fuente: elaboración propia.

La rueda dual externa del camión se deberá colocar sobre el punto seleccionado; para la correcta ubicación de la misma, se deberá colocar en la parte trasera externa del camión una guía vertical en correspondencia con el eje de carga. Desplazando suavemente el camión, se hace coincidir la guía vertical con la guía horizontal de modo que simultáneamente el punto quede entre ambas llantas de la rueda dual.

Se coloca la viga entre las ruedas del eje posterior del camión de tal manera que el extremo de prueba esté a 1,37 m hacia adelante y perpendicular al eje trasero.

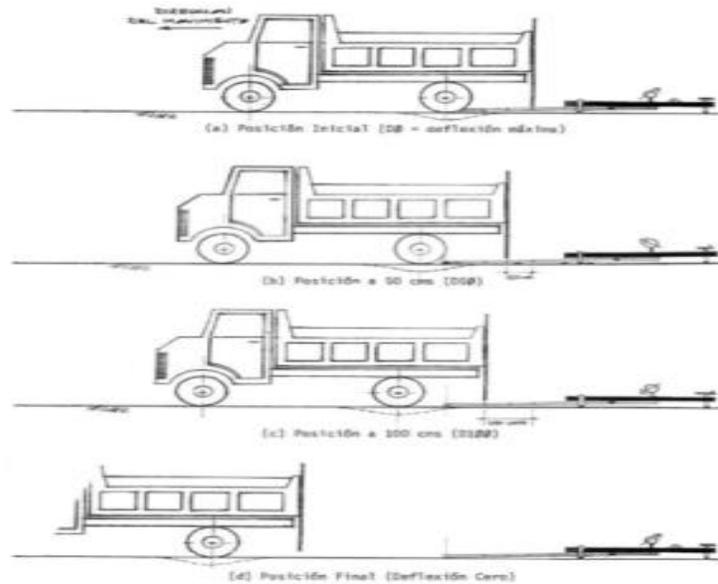
Figura 28. **Configuración geométrica del sistema de carga en ensayos con la viga Benkelman**



Fuente: HOFFMAN, Mario. *Estudios de evaluación estructural de pavimentos basados en la interpretación de curvas de deflexiones*. p. 18.

- Se libera el seguro del brazo y se ajusta la base de la viga por medio del tornillo trasero, de manera que el brazo de medición quede en contacto con los diales.
- Se ajusta el dial del deformímetro para que quede en 0,00 mm.
- Como norma se realiza la primera marca adicional a una distancia tal que la deflexión que se obtenga en ese punto sea la mitad de la deflexión máxima. La segunda marca adicional se realiza al doble de la distancia de la primera marca adicional. Estas dos distancias se determinaran a través de tanteos, antes de comenzar la recolección masiva de datos.
- Se hace avanzar suave y lentamente el camión hasta una distancia de 8 m y se anota la lectura máxima del dial con una aproximación de 0,025 mm o más.

Figura 29. **Esquematación del proceso de medición con la Viga Benkelman**



Fuente: HOFFMAN, Mario. *Estudios de evaluación estructural de pavimentos basados en la interpretación de curvas de deflexiones*. p. 19.

- Después que la aguja del dial se haya estabilizado, se registra la lectura final (Df) con una aproximación de 0,025 mm o mejor.

2.4.4. Metodología de cálculo

- La deflexión del pavimento es $2 (D_i - D_f)$ donde:
 - D_i = Deflexión máxima
 - D_f = lectura final

2.4.4.1. Procedimiento para obtener la deflexión representativa

Cuando se completan las pruebas de deflexión en un sector de carretera pavimentada, la recopilación de datos obtenidos en las pruebas, se utiliza para determinar la deflexión representativa de dicho sector. Cada sector consta de 500 metros de longitud y constituye una muestra estadística de 10 medidas de deflexión con una distancia máxima de 50 metros. La deflexión representativa se obtiene a través de esta fórmula:

$$(X - 2S)Fc$$

Donde:

X = El promedio de los valores individuales de las pruebas de deflexión

S = desviación estándar

F = factor de ajuste por temperatura

C = factor de ajuste por período crítico

- La desviación estándar es calculada para 10 o más valores tomados en el tramo de carretera que se va a evaluar, y se calcula con la fórmula:

$$S = \sqrt{\frac{n(\sum X^2) - (\sum X)^2}{n(n-1)}}$$

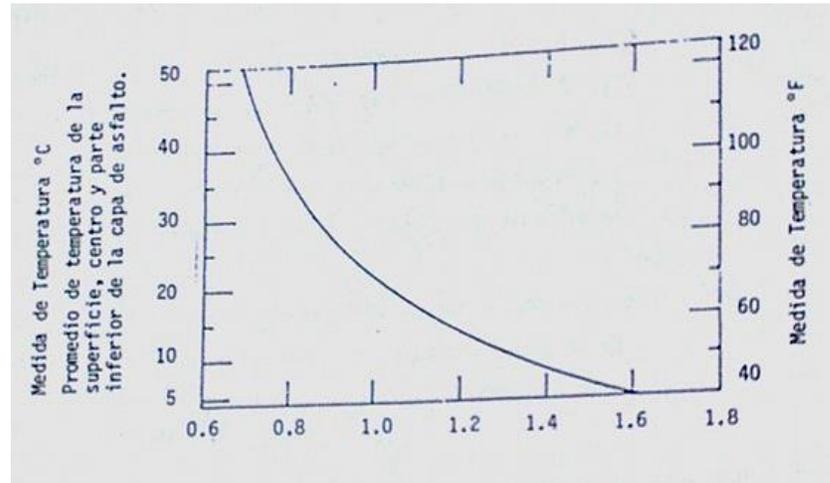
Donde:

N = número de pruebas en el tramo o sección de carreteras

X = valor individual de cada prueba

- El factor de ajuste por temperatura se puede determinar utilizando la siguiente gráfica.

Figura 30. **Factor de ajuste de temperaturas para deflexiones con la viga Benkelman**



Fuente: GALINDO GÓMEZ, Oscar Gabriel. *La viga Benkelman*. p. 31.

El factor de ajuste por período crítico es utilizado porque en algunos climas, cierto período del año es más crítico para el pavimento flexible que otro. Para determinar su valor debe tomarse en cuenta la estación en que fueron hechas las medidas de deflexión y así obtener el coeficiente correspondiente.

Tabla XIV. **Coficiente para período crítico**

Naturaleza del suelo subrasante	Período de lluvias	Período intermedio	Período seco
Suelos arenosos y permeables	1,0	1,0 – 1,1	1,1 – 1,3
Suelos Arcillosos e impermeables	1,0	1,3 – 1,5	1,5 – 1,8

Fuente: GALINDO GÓMEZ, Oscar Gabriel. *La viga Benkelman*. p. 36.

2.4.4.2. Perfil longitudinal

Las deflexiones puntuales de la rueda exterior se representan en una escala apropiada como perfil longitudinal de deflexión. Por medio del enlace de estos puntos, resulta una línea cuyo transcurso facilita la evaluación del estado de la resistencia y de la regularidad del trayecto examinado y permite reconocer los cambios en la resistencia de la estructura del pavimento y de la subrasante. La unión de las deflexiones puntuales de la rueda interior por medio de una línea a trazos, permite comprobar su variación respecto de la deflexión exterior.

2.4.4.3. Cálculo del número de diseño de tráfico (DTN)

El número de diseño de tráfico es el promedio diario de cargas equivalentes de 8,2 T, dispuestas en un eje sencillo, que se esperan durante el período de diseño de la obra, normalmente fijado en 20 años por el Instituto Norteamericano del Asfalto. La metodología del instituto proporciona el espesor necesario del recubrimiento, sobre un material determinado, en términos de un espesor de concreto asfáltico. Este dato se obtiene utilizando un monograma de espesores de carpeta asfáltica, en donde se usa el valor índice de la resistencia del material y el DTN aplicable al caso. El número de diseño de tráfico se obtiene de la siguiente manera:

- Se establece el número medio diario de vehículos durante un año. Este número se denomina, tránsito promedio diario anual (TPDA).
- Cálculo del número promedio diario de vehículos pesados en el carril de diseño en una dirección que se obtiene con la fórmula:

$$N = TPDA * \frac{A}{100} * \frac{B}{100}$$

Donde:

A = Porcentaje de camiones pesados en dos direcciones.

B = Porcentaje de camiones pesados en el carril de diseño. Se obtiene a través de la siguiente tabla:

Tabla XV. **Porcentaje de tránsito total de vehículos pesados en dos direcciones que debe considerarse en el carril de diseño**

No. Total de carriles en la carretera	porcentaje de camiones a considerar en el carril de diseño
2	50
4	45 (oscila entre 35 y 48)
6 o más	40 (oscila entre 25 y 48)

Fuente: GALINDO GÓMEZ, Oscar Gabriel. *La viga Benkelman*. p. 38.

- Cálculo del peso promedio de los vehículos pesados usando la siguiente tabla

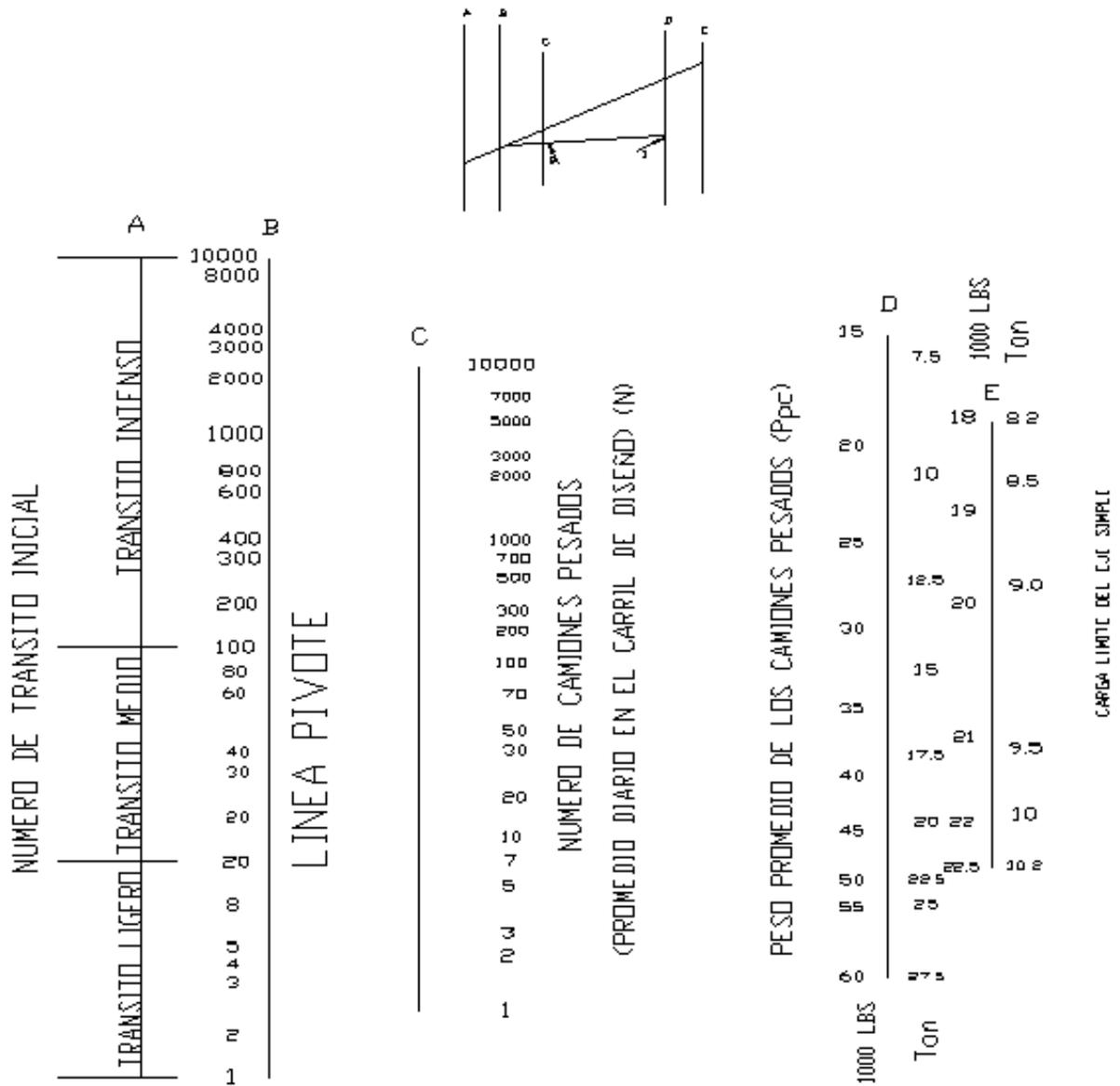
Tabla XVI. **Rangos estimados en porcentaje de pesos brutos vehiculares promedio**

Descripción del tipo de carretera	Peso bruto promedio (1000 lb)
Calles	15 – 25
CA	35 – 45
RN	30 – 40
RD	20 – 30
Otras	15 – 25

Fuente: GALINDO GÓMEZ, Oscar Gabriel. *La viga Benkelman*. p. 75.

- Cálculo del número de tránsito inicial (NTI) haciendo uso del monograma.
El procedimiento para utilizarlo es el siguiente:
 - Fijarse en la escala D en el peso promedio de la carga de los camiones pesados (Ppc).
 - Unir ese punto con el número de camiones pesados en el carril de diseño (N), sobre el eje (C) la línea anterior deberá prolongarse hasta cortar el eje (B).
 - Fijarse ahora en el eje (E) el límite de carga legal para eje sencillo (9,02 Ton); ese punto debe unirse con el anterior encontrado sobre el eje (B).
 - Prolongar la línea anterior hasta el eje (A) sobre el cual podrá leerse el (NTI).

Figura 31. Carta de análisis de tránsito del Instituto Norteamericano del Asfalto



Fuente: GALINDO GÓMEZ, Oscar Gabriel. *La viga Benkelman*. p. 80.

- Cálculo del número de diseño de tráfico (DTN) utilizando el período de diseño del pavimento que usualmente será de 10 años, y la tasa de crecimiento anual de tránsito, que puede buscarse en la tabla de factores de corrección del NTI. El factor deberá aplicarse al NTI, de manera que el producto de las cantidades es el número de diseño de tráfico (DTN).

Tabla XVII. **Factores de corrección del NTI, para obtener el NTD**

Período de diseño en años	Tasa de crecimiento anual en Porcentaje (%)					
	0	2	4	6	8	10
n	0	2	4	6	8	10
1	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
2	0,1	0,1	0,1	0,10	0,10	0,10
4	0,2	0,21	0,21	0,22	0,22	0,23
6	0,3	0,32	0,33	0,35	0,37	0,39
8	0,4	0,43	0,46	0,50	0,53	0,57
10	0,5	0,55	0,60	0,66	0,72	0,80
12	0,6	0,67	0,75	0,84	0,95	1,07
14	0,7	0,80	0,92	1,05	1,21	1,40
16	0,8	0,93	1,09	1,28	1,52	1,80
18	0,9	1,07	1,28	1,55	1,87	2,28
20	1,00	1,21	1,49	1,84	2,29	2,86
25	1,25	1,60	2,08	2,74	3,66	4,92
30	1,50	2,03	2,80	3,95	5,66	8,22
35	1,75	2,50	3,68	5,57	8,62	13,55

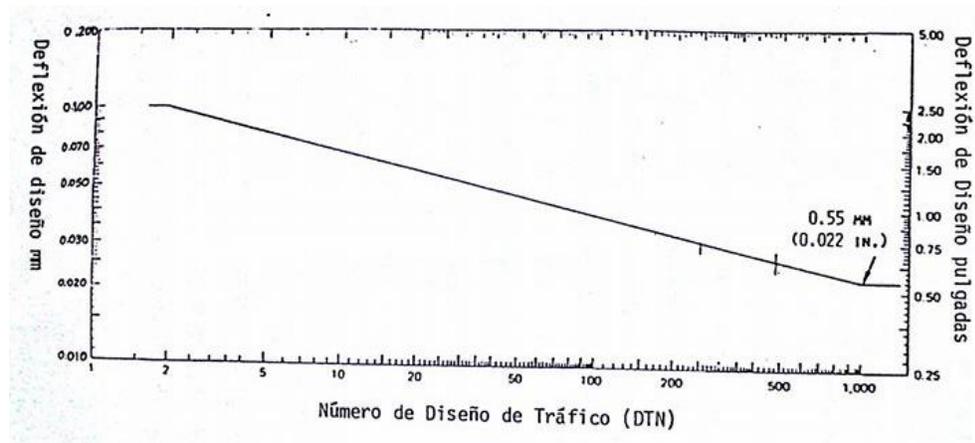
Fuente: GALINDO GÓMEZ, Oscar Gabriel. *La viga Benkelman*. p. 88.

2.4.4.4. Cálculo de la deflexión admisible y espesor de recapeo con concreto asfáltico

- Si se desea conocer la deflexión de diseño en la carpeta asfáltica, se debe conocer el número de diseño de tráfico (DTN) y utilizando la

siguiente gráfica, entrar en la parte inferior con el DTN del proyecto, en el lado izquierdo de la gráfica se tiene la deflexión de diseño en pulgadas.

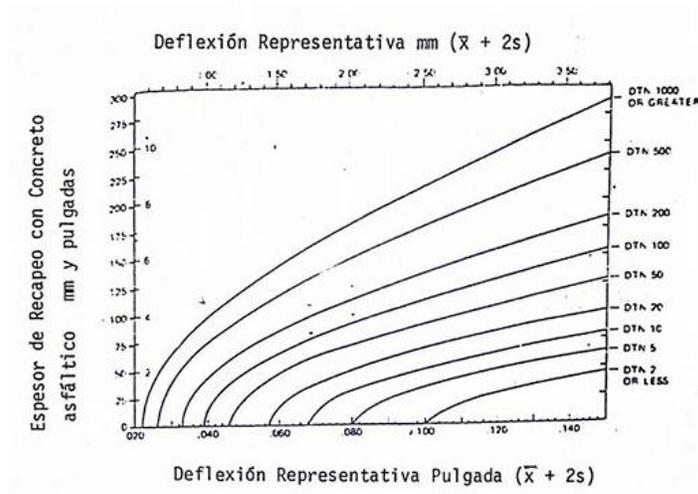
Figura 32. **Deflexión de diseño de acuerdo al número de diseño de tráfico (DTN)**



Fuente: GALINDO GÓMEZ, Oscar Gabriel. *La viga Benkelman*. p. 38.

Si se desea conocer el espesor de recapeo se entra al gráfico con la deflexión representativa y se sube verticalmente hasta llegar a la curva del DTN y desde ese punto se traza una línea horizontal hasta encontrar el espesor de la capa de refuerzo.

Figura 33. **Espesor de recapeo con concreto asfáltico requerido para reducir la deflexión del pavimento**



Fuente: GALINDO GÓMEZ, Oscar Gabriel. *La viga Benkelman*. p. 39.

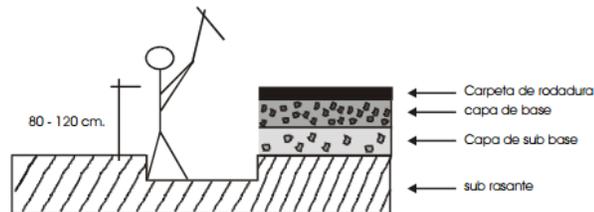
2.5. Toma de muestras

La obtención de muestras de los materiales de las distintas capas de la estructura del pavimento se realiza en base a la extracción de calicatas con una profundidad entre 80 a 120 cm. Esta profundidad puede variar cuando existen rellenos dentro del pavimento por el diseño geométrico, por lo que es indispensable realizar la excavación hasta llegar al material subrasante del lugar. De esta forma, se pueden realizar los ensayos pertinentes para cada capa estructural del pavimento.

Se recomienda extraer 1 a 2 calicatas por cada kilómetro, con el fin de obtener la mayor cantidad de muestras de material que integra la estructura de pavimento existente a lo largo del tramo carretero y construir un perfil

estratigráfico que defina las partes del tramo que poseen materiales con propiedades físico – mecánicas no favorables a la estructura existente.

Figura 34. **Extracción de una calicata en un pavimento**



Fuente: MORALES ROSALES, Carlos Arnolfo. *Control de calidad en la evaluación de pavimentos existentes.*, p. 50.

2.5.1. Procedimiento para extracción de muestras

- Se excava una profundidad equivalente al espesor de la carpeta, se retira ese material y se limpia correctamente los restos de carpeta de rodadura que están sobre la capa de base, luego se sigue excavando aproximadamente 10 cm. Hasta ese momento se empieza a retirar material de la base y se mide el espesor de la misma. El proceso se repite para la subbase hasta llegar a la subrasante.
- Se retira el material sobrante de las capas que estaban sobre la sub rasante y se excava una profundidad tal que sea suficiente el material muestreado para realizar los ensayos respectivos.

Figura 35. **Ejemplo de una calicata terminada**



Fuente: pavimento universitario USAC.

2.5.2. Procedimiento para extracción de núcleos de asfalto

Para proceder correctamente con la extracción de núcleos de asfalto, se utiliza una extractora de núcleos, la cual está diseñada para cortar el pavimento una profundidad equivalente al espesor de la carpeta asfáltica. Posteriormente, se retira la broca del pavimento para retirar el núcleo de asfalto y se eliminan los restos de base que tenga la muestra utilizando una sierra eléctrica. Para rellenar los hoyos en el pavimento, se utiliza una mezcla asfáltica en frío con emulsión, la cual se va colocando en dos capas, compactando cada capa para acomodar las partículas del agregado y reducir asentamientos.

2.5.3. Factores que influyen en la calidad de confección de muestras

La veracidad de los resultados obtenidos de los ensayos de laboratorio, depende en gran medida de la calidad del resultado final de la muestra que se va a ensayar. Por consiguiente, debe tomarse en cuenta los siguientes factores para una correcta extracción de muestras.

- Control de temperaturas constantes para todas las muestras de un determinado diseño durante todos los procesos que conlleva.
- Colocación de la muestra asfáltica en el molde de muestra, evitando segregar los agregados finos y los agregados gruesos.
- Limpieza de los moldes donde se confeccionó las muestras y demás utensilios utilizados.

2.5.4. Metodología estadística de muestreo

Un punto de muestreo es la ubicación espacial geo–referenciada del lugar donde se va a coleccionar las muestras, sean estas superficiales o de profundidad. Según la Guía para Muestreos de Fondos del Ministerio de Ambiente de la república de Perú se considera un mínimo de tres puntos de muestreos en áreas homogéneas con características orográficas, geológicas, climáticas y de vegetación similares. En áreas de estudio heterogéneas con las características mencionadas, se deben duplicar el número de puntos de muestreo. Adicionalmente, otras fuentes indican que la cantidad de calicatas extraídas son de 1 a 2 por cada kilómetro dependiendo del valor del tráfico promedio diario anual.

Figura 36. **Extractora de núcleos utilizada en el bulevar universitario**



Fuente: CII, Facultad de Ingeniería, USAC.

Figura 37. **Relleno de los hoyos producidos por la extracción**



Fuente: pavimento universitario USAC.

3. MANTENIMIENTO DEL PAVIMENTO ASFÁLTICO

Las carreteras requieren de intervenciones, tanto por la obsolescencia propia de los materiales que las conforman, como por fallas, generalmente puntuales, que pueden tener su origen ya sea en situaciones especiales no detectadas en el diseño o en problemas derivados de la construcción. Debe tenerse presente que parte importante de la obra de una carretera corresponden a suelos, los cuales si no son colocados y compactados correctamente durante la construcción, pueden presentar diversas fallas en el pavimento asfáltico. Así mismo, sus condiciones y propiedades pueden cambiar al variar las condiciones ambientales y por otros factores que no pueden ser controlados ni previstos.

Los trabajos realizados para proporcionar un mantenimiento adecuado del pavimento se deben realizar en diferentes períodos y en diversas partes de la carretera, como el derecho de vía, hombros, drenajes, cunetas, taludes y otros, con el fin de que se conserven en buenas condiciones para prestar el servicio para el cual fueron diseñados. El mantenimiento vial permite conservar el pavimento más allá de su período de diseño, lo que significa a largo tiempo un ahorro de recursos económicos.

3.1. Sistema de administración de pavimentos

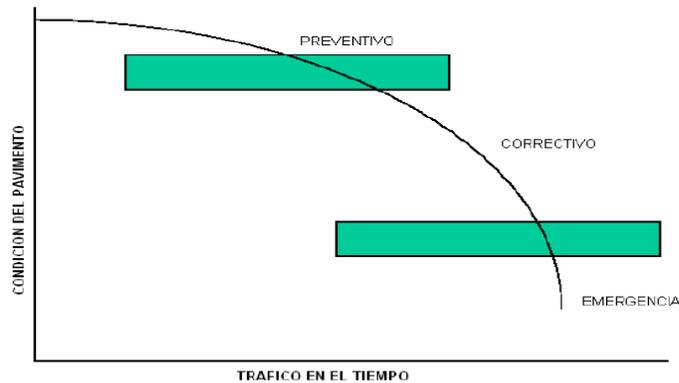
Los sistemas de administración de pavimentos generalmente incluyen modelos para determinar el tipo de mantenimiento adecuado a colocarse en la carretera. El tratamiento más efectivo se determinará en base al tipo de pavimento, su condición y otros factores importantes. Así mismo, es importante

analizar factores como el costo del tratamiento y viabilidad del mismo. Debe tomarse en cuenta, que el mantenimiento debe realizarse en el momento adecuado para que el pavimento funcione según se diseñó y la inversión económica se haga de forma efectiva.

Actualmente existen dos tipos de mantenimiento: correctivo y el preventivo. El mantenimiento preventivo se realiza para detener deterioros menores y reducir la necesidad de recurrir a un mantenimiento correctivo. Se realiza antes de que el pavimento presente una fatiga significativa y fallas a nivel estructural. El mantenimiento correctivo se realiza cuando la carretera presente deficiencias tales como pérdida de fricción, ahuellamiento, agrietamiento generalizado, etc. Los sistemas de tratamiento correctivo pueden ir desde una rehabilitación hasta la reconstrucción del mismo.

Ambos tipos de mantenimiento son necesarios en un completo programa de preservación de pavimentos. Sin embargo, siempre se trata de poner mayor énfasis en el mantenimiento preventivo, para poder evitar que el pavimento alcance la condición en la que se requiere de un mantenimiento correctivo, lo cual representaría un costo demasiado elevado.

Figura 38. **Categoría de mantenimiento de pavimentos**



Fuente: TEREZÓN, Sugely. *Programa de mantenimiento basado en la técnica de pavimentos perpetuos para la gestión municipal*. p. 65.

Las evaluaciones estructurales y técnicas se realizan a todos los caminos del sistema. La evaluación física puede realizarse a través de una inspección visual para identificar daños superficiales en la carpeta asfáltica, tales como roderas, piel de cocodrilo, entre otros. Las condiciones de la superficie son usualmente evaluadas a través de una inspección de campo, que incluya diversas pruebas de laboratorio. Los cambios estructurales pueden identificarse utilizando los resultados de la evaluación de las condiciones de la superficie, o realizando un estudio por deflectometría en el pavimento.

La administración de pavimentos generalmente se desarrolla a dos niveles: el nivel de red y el nivel de proyecto. La diferencia entre los niveles generalmente se encuentra en la cantidad de pavimentos que se considere, y en el propósito de la decisión. A nivel de red, las agencias incluyen los pavimentos de toda la red bajo su jurisdicción. Por otro lado, la cantidad de pavimentos que se considera a nivel de proyecto se reduce en un tramo o

sección sencilla de gestionar, la cual a veces corresponde a una sección original de construcción.

3.2. Tratamiento de mantenimiento preventivo

La detección y reparación oportuna de pequeños defectos en la carretera es el trabajo más importante realizado por el personal de mantenimiento. Esto se debe a que las fisuras y deformaciones iniciales, pueden convertirse en daños muy severos, si no son reparados en su debido tiempo. Por esta razón, es necesario realizar inspecciones rutinarias por personas capacitadas.

Dentro del mantenimiento preventivo se realizan acciones aplicadas localmente dentro de las cuales se pueden mencionar:

- Sellado de grietas
- Riegos asfálticos
- Microcarpeta
- Lechada asfáltica
- Bacheo superficial
- Recapeo en frío o caliente
- Fresado

Si se detecta un fuerte deterioro del pavimento, debe hacerse una investigación detallada para detectar si son fallas estructurales o funcionales. Si este fuera el caso, sería necesario realizar pozos de inspección a lo largo del área dañada para determinar el tipo de reparación requerida.

Tabla XVIII. **Tipología de los deterioros en pavimentos y posibles causas**

Tipo de deterioro o defecto		Afecta a la capacidad		Causa	
		Estructural	Funcional	Asociada a cargas	No asociada a cargas
Agrietamiento	Por fatiga	X			
	En bloque	X		X	X
	Juntas y bordes	X			X
	Deslizamiento	X			
	Reflexión	X		X	X
	Transversales	X		X	X
Deformaciones	Ahuellamiento				
	Corrugaciones		X	X	X
Desintegración	Baches		X		
	Perdida de agregado	X	X	X	X
	Perdida de ligante		X		X
Perdida de fricción	Pulimento del agregado		X	X	
	Exudación		X		

Fuente: TEREZÓN, Sugey. *Programa de mantenimiento basado en la técnica de pavimentos perpetuos para la gestión municipal*. p. 91.

La falla funcional corresponde a un defecto en la superficie de rodamiento del pavimento, lo cual afecta el cómodo movimiento de los vehículos, sin imposibilitar su uso. Por otro lado, la falla estructural es una deficiencia del pavimento que provoca la reducción de la capacidad de carga del mismo, la falla se mantiene en una etapa avanzada en una destrucción generalizada del pavimento.

En la tabla XIX se muestran los posibles tratamientos a realizarse para cada tipo de deficiencia. Sin embargo, si el pavimento llegara a presentar fallas de tipo estructural, entonces se debe proceder a tomar acciones de mantenimiento de tipo correctivo y no preventivo.

Tabla XIX. **Posibles tratamientos de mantenimiento preventivo para cada tipo de deterioro**

Deterioros en pavimentos	Sellado de grietas	Riegos asfálticos	Microcarpeta	Lechada asfáltica	Bacheo superficial	Recapeo en frío o caliente	fresado
Rugosidad							
Inestabilidad relativa			X			X	X
Estabilidad relativa						X	
Ahuellamiento			X			X	X
Grietas por fatiga		X	X	X	X	X	
Grietas transversales y longitudinales	X		X	X	X	X	
Exudación			X		X		X
Desintegración del pavimento		X	X	X	X		

Fuente: TEREZÓN, Sugely. *Programa de mantenimiento basado en la técnica de pavimentos perpetuos para la gestión municipal*. p. 91.

3.2.1. Sellado de grietas

Se rellenan las fisuras con concreto asfáltico, pero el agregado debe ser arena, si el borde del pavimento se ha asentado, se debe llevar a su nivel utilizando concreto asfáltico de graduación densa. Este tratamiento es utilizado para prevenir que el agua y basura entren en las grietas del pavimento. El tratamiento puede incluir el rebajado para limpiar la grieta y crear un espacio para el sellante. Para realizar este tipo de reparación de fisuras se deben seguir los siguientes pasos.

- Se limpia el pavimento con escobillón y aire comprimido
- Se rellenan las fisuras con concreto asfáltico de graduación fina
- Se aplica riego de liga en la sección que se va a reparar
- Se nivelan los bordes asentados, extendiendo concreto asfáltico
- Se remueve toda vegetación cerca del pavimento

3.2.2. Riegos asfálticos

Como su nombre lo indica, son riegos de asfalto sobre superficies de pavimentos existentes, suelos o bases estabilizadas. Su función es enriquecer la superficie del pavimento e impedirle desmoronamiento y la oxidación. Entre las diferentes clases de riegos se pueden encontrar:

- Riegos de imprimación o penetración
- Riegos negros con emulsión diluida
- Riegos de liga
- Riegos de sello
- Morteros asfálticos

3.2.2.1. Riego de imprimación

Se refiere a la aplicación de un ligante hidrocarbonado sobre una capa granular, previo a la colocación sobre esta de una capa o de un tratamiento bituminoso. La imprimación es mezclada en la superficie de la base y cierra los huecos, endurece la superficie y colabora con la ligazón de la capa asfáltica a colocar encima. Este riego sirve para mejorar el agarre entre las capas bituminosas y las granulares, mejorando así la transmisión de cargas.

3.2.2.2. Riegos negros con emulsión diluida

Este riego permite que el pavimento adquiera un color negro uniforme en toda su superficie, fijando cualquier material suelto y sellando pequeñas fisuras. Por lo general, se utilizan emulsiones rápidas, pero en casos de superficies con mucho polvo, se puede utilizar una emulsión superestable. En algunos casos es necesario diluir la emulsión asfáltica.

3.2.2.3. Riegos de liga

En la construcción de una carretera en donde la capa de rodamiento está constituida por dos capas asfálticas, se procede a la aplicación de un riego de adherencia o “riego de liga”, la cual es una aplicación ligera de emulsión asfáltica o asfalto rebajado sobre un pavimento existente, para asegurar la adherencia entre la superficie de las capas asfálticas que se superpone.

La emulsión comúnmente usada en este país es la emulsión catiónica de corte rápido. En algunos casos se utilizan emulsiones medias. Es importante que el riego de liga sea lo más delgado posible para que libere el asfalto luego de romper. Generalmente, la nueva carpeta asfáltica se aplicará 30 minutos

después de distribuida la emulsión. También es importante que el riego cubra uniformemente el área a ser pavimentada de modo que el comportamiento de la carretera sea lo más parecido a un elemento monolítico.

Se debe tomar en cuenta que la unión que se busca a través del riego de liga no siempre se consigue, ocasionando deterioros prematuros en el pavimento y una reducción de su vida de servicio. Para asegurar el correcto funcionamiento del riego de liga es aconsejable realizarlo durante un clima cálido, sin frío ni lluvia y evitar el tránsito sobre la superficie regada para no provocar un deslizamiento entre capas. De no ser posible evitar el tránsito, éste debe circular a menos de 30 km/h.

3.2.2.4. Riegos de sello

El riego de sello, a diferencia del resto de riegos asfálticos, implica un mejoramiento de una carpeta existente, sea de reciente construcción o no, por lo que es muy usado en trabajos de conservación o reconstrucción. Para realizarlo es necesaria la aplicación de un ligante bituminoso inmediatamente seguido por la aplicación de un agregado. El agregado se apisona para incrustarlo en el bitumen. Se puede utilizar capas múltiples y varios tipos de aglutinantes y agregados para tratar daños específicos.

Los riegos de sello pueden colocarse con tratamiento superficial o con mortero asfáltico. En la primera opción, el ligante bituminoso a utilizarse puede ser cemento asfáltico AC 20 y AC 30 o una emulsión asfáltica. Así mismo, se recomienda que el agregado que cubre el asfalto sea núm. 3. Por otro lado, los riegos de sello con mortero asfáltico son muy adecuados para pavimentos de calles y aeropuertos y consisten en mezclar agregado fino, emulsión asfáltica, cemento portland o cal y agua para colocarlo en frío sobre las carpetas.

3.2.2.5. Morteros asfálticos

Los morteros asfálticos están compuestos por una mezcla que incluye emulsión asfáltica, agregado mineral o agregado pétreo, agua y diversos aditivos, debidamente dosificados, mezclados y colocados sobre la superficie preparada. El mortero asfáltico terminado deberá tener una textura y superficie homogénea, adherido a la superficie firmemente preparada y así poder tener una superficie resistente a deslizamientos durante su vida útil.

La Asociación Internacional de Mortero Asfáltico, reconoce tres tipos de agregados, cuya elección depende del objetivo del tratamiento:

- Tipo I fino = 1/8": se usa para máxima penetración en las grietas y como preparación para mezclas en caliente o sello convencional. Se usa en tráfico liviano
- Tipo II General = 1/4": es el más usado y se emplea para sellar, corregir defectos, oxidación y pérdida de aglutinantes. Se utiliza en tráfico moderado y pesado.
- Tipo III Grueso = 3/8": se usa para corregir severos defectos en la superficie, resistencia al derrape y prevenir patinaje por agua.

Para que este tratamiento tenga éxito es necesario realizar pruebas empíricas en el laboratorio, es decir, preparar varias muestras variando el contenido de emulsión asfáltica y agua para determinar los efectos de los cambios en las características de mezclado, rompimiento y estabilización.

3.2.3. Micropavimentos

Los micropavimentos consisten en una sobrecapa delgada de 10 a 20 mm. También se conoce como sistema MS – 1, consiste en una mezcla de emulsión catiónica de asfalto modificado con polímeros, agregados minerales de alta calidad, rellenos minerales, agua y otros aditivos que son tendidos sobre la superficie pavimentada.

La Asociación Internacional de Lechadas Asfálticas (ISSA) define a los micropavimentos como el tipo más avanzado o superior de lechada asfáltica, de mayor estabilidad. Este tratamiento se utiliza como un sello superficial para corregir irregularidades tales como pérdida de propiedades anti-derrapantes, oxidación y desprendimientos en pavimentos. Así mismo, presenta varias ventajas similares a las de un recapeo asfáltico del tipo funcional.

El micropavimento debe ser considerado solo para aquellos pavimentos que poseen capacidad de carga remanente, necesaria para soportar las cargas de diseño vehicular.

3.2.4. Capa asfáltica de refuerzo en frío o caliente

Las fallas o deterioros en concreto asfáltico pueden ser tratadas de esta manera para mantener la carretera en buenas condiciones durante el tránsito de vehículos. Para la capa asfáltica en caliente se necesita la obtención y explotación de canteras y bancos; la trituración de piedra o grava, combinándola con arena de río y material de relleno para formar un material clasificado que cumpla con las especificaciones de pavimentos asfálticos en caliente.

La capa asfáltica en caliente es mejor conocido como recapeo, y consiste en la colocación de nueva capa de mezcla asfáltica, con el objetivo de reforzar la capa asfáltica existente, prolongar su vida útil y proveer una superficie lisa para el tránsito. Este mantenimiento debe emplearse cuando la superficie existente se está deteriorando o se presentan huellas, rugosidad, y otros.

Para una correcta aplicación del recapeo es importante limpiar las pequeñas depresiones del pavimento, y rellenarlas adecuadamente con material. Las depresiones más profundas deben excavar y reemplazarse con material nuevo. Si la capa de base debajo de un pavimento viejo, o la subrasante, se encuentran en mal estado, entonces se debe reparar. Las juntas desniveladas se deben emparejar, y las grietas se deben sellar.

La carpeta asfáltica de refuerzo en frío es una mezcla de agregado mineral no calentado y emulsión asfáltica o asfaltos cortados. Dentro de las ventajas que tiene este método sobre el refuerzo en caliente se encuentran las siguientes:

- Versatilidad: dada la variedad de tipos de emulsiones y asfaltos cortados disponibles
- Economía: los equipos necesarios para la producción de mezcla son menos costosos que para la carpeta asfáltica en caliente.
- Baja polución ambiental: por el hecho de no requerir de un secador de agregados pétreos, no hay omisión de humo o polvo.

3.2.5. Bacheo superficial

El bache es la desintegración parcial o total de la superficie de rodadura que puede extenderse a otras capas del pavimento, con lo que se forma una

cavidad de bordes y profundidades irregulares. El procedimiento a realizarse para una correcta colocación de bacheo es el siguiente:

- Delimitar el área por remover, darle forma rectangular o cuadrada comprendiendo toda la zona deteriorada y hasta unos 0,30 metros dentro del pavimento circundante en buen estado.
- Cortar por líneas, que delimitan el área por remover dejando paredes verticales. Remover la mezcla hasta la profundidad en que se encuentre mezcla sana y sin grietas. En los baches alcanzar como mínimo hasta el punto más profundo.
- Colocar el imprimante o liga mediante escobillones a razón de 1,3 L/m²
- Antes de colocar la mezcla asfáltica verificar que la imprimación haya penetrado 10 mm en las bases granulares y que la emulsión para la liga haya quebrado.
- Extender la mezcla asfáltica mediante rastrillos y colocar la cantidad justa y necesaria para cubrir toda el área por rellenar y dejarla 6 mm sobresaliendo del pavimento circundante.
- Compactar con rodillo manual. El desnivel en los bordes no debe sobrepasar de 3 mm.

3.2.6. Fresado

El fresado consiste fundamentalmente en la trituración de una o varias capas del pavimento y en el extendido y compactación de ese mismo material con un tratamiento previo en el que se emplean emulsiones asfálticas y si fuera necesario cemento y/o una mezcla de áridos con determinada granulometría. Las capas obtenidas por este procedimiento pueden emplearse, bien como capas de base, o como capa definitiva de rodadura.

Figura 39. **Pavimentación con fresadora y pavimentadora**



Fuente: LEZCANO, Manuel. *Fresado de pavimento asfáltico*. <https://prezi.com/hgj-bmjvdfny/fresado-de-pavimento-asfaltico/>. Consulta: 6 de mayo de 2017.

El equipo necesario para realizar el fresado consta de un cilindro rotatorio, con dientes de especial dureza que remueve de 1 a 3 cm de pavimento asfáltico con la finalidad de alisar áreas deformadas con elevaciones y corrugaciones, ahuellamientos menores, superficies agrietadas y disgregadas. Estos equipos cuentan con sistemas de nivelación automática y son capaces de operar con buena precisión. De este modo, los tiempos de trabajo se reducen considerablemente con un impacto mínimo en el tráfico. Otras ventajas del uso de este equipo son:

- El fresado puede restablecer el peralte.
- Restablece la pendiente correcta de la carretera.
- Puede eliminar puntos altos y rodadas.
- Es capaz de reducir o hasta eliminar las grietas por reflexión.
- Se puede lograr un mejor enrasamiento con el fresado que aplicando una capa niveladora de asfalto.

- Se logran ahorros considerables.
- Ahorro de agregados y ligantes.
- Ahorran energía.
- Son técnicas respetuosas con el medio ambiente.
- No alteran el perfil geométrico de la calzada.

Algunos de los campos de aplicación en donde puede realizarse un fresado son aquellas zonas en las que el pavimento está agrietado o con piel de cocodrilo para futura reposición. Así mismo, el fresado es útil para la realización de juntas de construcción de pavimentos nuevos con los ya existentes, y también para aligerar el peso necesario en los puentes en donde se va a reponer el pavimento.

3.3. Tratamientos de mantenimiento correctivo

Las acciones de mantenimiento correctivo son aplicadas a un tramo de vía, o al menos a una sección importante de la misma. Son actividades programadas y ejecutadas para el mejoramiento sustancial del pavimento para acercarlo a su estado original.

Este tipo de mantenimiento se aplica cuando el nivel de servicio de una vía está por debajo del mínimo aceptable desde el punto de vista funcional, o presenta importante debilitamiento estructural. En estos casos se requieren acciones de mantenimiento más complejas para corregir íntegramente el problema. Dentro de las acciones de mantenimiento correctivo se consideran las siguientes:

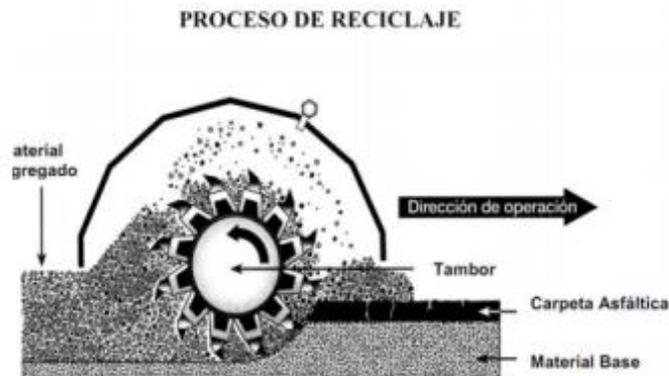
- Reciclaje en frío de pavimentos asfálticos.
- Colocación de base estabilizada.

- Reciclaje en caliente de pavimentos asfálticos.
- Perfilado de pavimento asfáltico.

3.3.1. Reciclaje en frío de pavimentos asfálticos

Aunque la estructura de un pavimento se encuentre deteriorada, esto no significa que los materiales que la conforman también lo estén. En particular, se considera que el agregado mantiene su edad geológica. Los materiales que conforman un pavimento asfáltico se consideran 100 % reciclables. El reciclado de carreteras asfaltadas en frío permite mejorar los niveles de servicio de las carreteras en forma económica y ecológica. La reducción de costos es de prácticamente un 50 %.

Figura 40. **Proceso de reciclaje de pavimentos**



Fuente: WIRTGEN Group. *Manual de reciclado en frío*. p. 30.

Cuando el reciclado en frío se hace en planta, se realiza a través del traslado del material recuperado de un pavimento existente hacia un depósito de acopio central, donde se procesa o se almacena a conveniencia del proyecto. El proceso puede encarecerse debido al transporte del material, el

cual puede ser utilizado en la construcción de un nuevo proyecto, y en el refuerzo de un pavimento existente.

Cuando el procedimiento se realiza *in situ*, los materiales se obtienen por medio de una máquina recicladora móvil, los cuales son mezclados con cemento, cal y agregados nuevos si fuese necesario, para formar una base asfáltica que será colocada en el mismo lugar. El avance del tratamiento puede ser de hasta 3 km por día y una larga vida útil de 6 a 8 años con un 80 % de capacidad estructural de un pavimento nuevo.

3.3.2. Colocación de base estabilizada

Una base es una capa de materiales pétreos seleccionados que se construye generalmente sobre la subbase, cuyas funciones son proporcionar un apoyo uniforme a la carpeta asfáltica, soportar las cargas que esta transmite aminorando los esfuerzos inducidos y distribuyéndolos adecuadamente a la capa inmediata inferior, proporcionar a la estructura del pavimento la rigidez necesaria para evitar deformaciones excesivas, drenar el agua que se pueda infiltrar e impedir el ascenso capilar del agua

En caso de que la base considere la adición de cemento, este podrá aplicarse y esparcirse sobre el suelo o material granular de manera que se esparza la cantidad requerida según la dosificación prevista. El cemento, agua y energía de compactación aumenta en la base sus propiedades de resistencia mecánica, de plasticidad, y es estable ante los procesos de meteorización bajo las condiciones de clima a que está expuesto el pavimento. Obviamente las cargas del tránsito inducirán un proceso de falla acorde con las leyes de fatiga que rigen estos materiales.

Se debe considerar que durante la aplicación del cemento, la humedad del material de base no podrá ser superior a la definida como la adecuada para lograr una mezcla íntima y uniforme del agregado con el cemento. Sobre el cemento esparcido solo se debe permitir el tránsito del equipo que lo va a mezclar con el suelo o material granular. Posteriormente, la base pasa por un proceso de compactación, curado, y nivelación con material granular.

La estabilización de la base con cemento permite el reciclado de pavimentos existentes severamente deteriorados, así como el uso de los materiales que no cumplen con las especificaciones técnicas para base granular. Esto es especialmente importante en zonas donde no se cuenta con buenas fuentes de agregados.

3.3.3. Reciclaje en caliente de pavimentos asfálticos

En los tratamientos de reciclado en caliente se pueden establecer dos grandes divisiones:

- Tratamiento en caliente *in situ*, con las siguientes tecnologías:
 - Termoreperfilado
 - Termoregeneración
 - Termoreciclado

- Tratamiento en caliente en planta

En el tratamiento en caliente *in situ* se reutiliza la totalidad de los materiales extraídos del asfalto envejecido mediante un tratamiento con aportación de calor que se realiza en el mismo lugar de la obra. La capa de

rodadura se calienta mediante unos quemadores y se fresa un grosor determinado. Este material es mezclado normalmente con agentes químicos rejuvenecedores y con una nueva mezcla. Finalmente, la nueva mezcla se extiende y se compacta mediante procedimientos convencionales.

Se entiende por reciclado de pavimentos asfálticos en caliente en planta al proceso mediante el cual los materiales recuperados de capas bituminosas de asfaltos deteriorados o de mezclas nuevas que no han sido utilizadas por ser un excedente, o por no haber cumplido con las especificaciones del proyecto, son mezclados con árido virgen, betún nuevo, y agentes rejuvenecedores, en las proporciones adecuadas, para producir nuevas mezclas en caliente que cumplan con los requerimientos de calidad, resistencia y durabilidad exigidos para el tipo de capa en que serán utilizados.

Generalmente, la utilización de mezclas recicladas está enfocada a la rehabilitación de carreteras existentes, sin embargo, pueden formar parte de pavimentos de nueva construcción, sin que esto signifique un problema de calidad, resistencia o durabilidad.

3.3.4. Perfilado de pavimento asfáltico

Este trabajo consiste en la obtención del nuevo perfil longitudinal y transversal del pavimento asfáltico existente, mediante el procedimiento de perfilado o fresado en frío. Para llevar a cabo la operación, se utilizará una máquina denominada perfiladora.

Las perfiladoras de pavimento constituyen una serie de máquinas de auto carga, de montaje en pista, de fresado en frío, que retiran pavimento desde 1/4 de pulgada hasta 4 pulgadas, sin peligro por calor, ni emisiones permitiendo

una nueva dimensión en el retiro, recuperación y reutilización del pavimento. Luego de esta operación de un tramo definido, se debe realizar un barrido mediante la utilización de una barredora de pavimentos autopropulsada de manera que no queden partículas sueltas en el pavimento. Al final quedará una superficie texturizada que se podrá abrir al tránsito inmediatamente, o se puede colocar una nueva superficie de rodamiento.

4. METODOLOGÍA DEL EXPERIMENTO

Para poder determinar la calidad de la carpeta de rodadura de la carretera que rodea el perímetro de la Universidad de San Carlos de Guatemala, se tuvo que hacer una extracción de calicatas y de núcleos asfálticos. Las muestras se sometieron a pruebas de laboratorio para poder determinar sus características físicas y propiedades mecánicas. Así mismo, también se realizó un ensayo de deflectometría utilizando una viga Benkelman para medir las deformaciones del pavimento, y su resistencia ante las cargas del tránsito. Con los resultados obtenidos se pudo determinar la resistencia de la carretera, así como el perfil longitudinal de deflexiones y la propuesta de mantenimiento adecuada para prolongar el período de diseño de la carretera.

4.1. Toma de muestras en el pavimento de la Universidad

La cantidad de calicatas extraídas según las Especificaciones Generales para la Construcción de Carreteras y Puentes son de 1 a 2 por cada kilómetro dependiendo del valor de tráfico promedio diario anual. Tomando en cuenta que en el perímetro de la Universidad de San Carlos de Guatemala el tráfico se considera mediano y no existe daño significativo en la carpeta asfáltica, se decidió extraer una calicata y un núcleo por cada kilómetro llegando a acumular un total de 3 calicatas y 3 núcleos para realizarle los ensayos de laboratorio que correspondan.

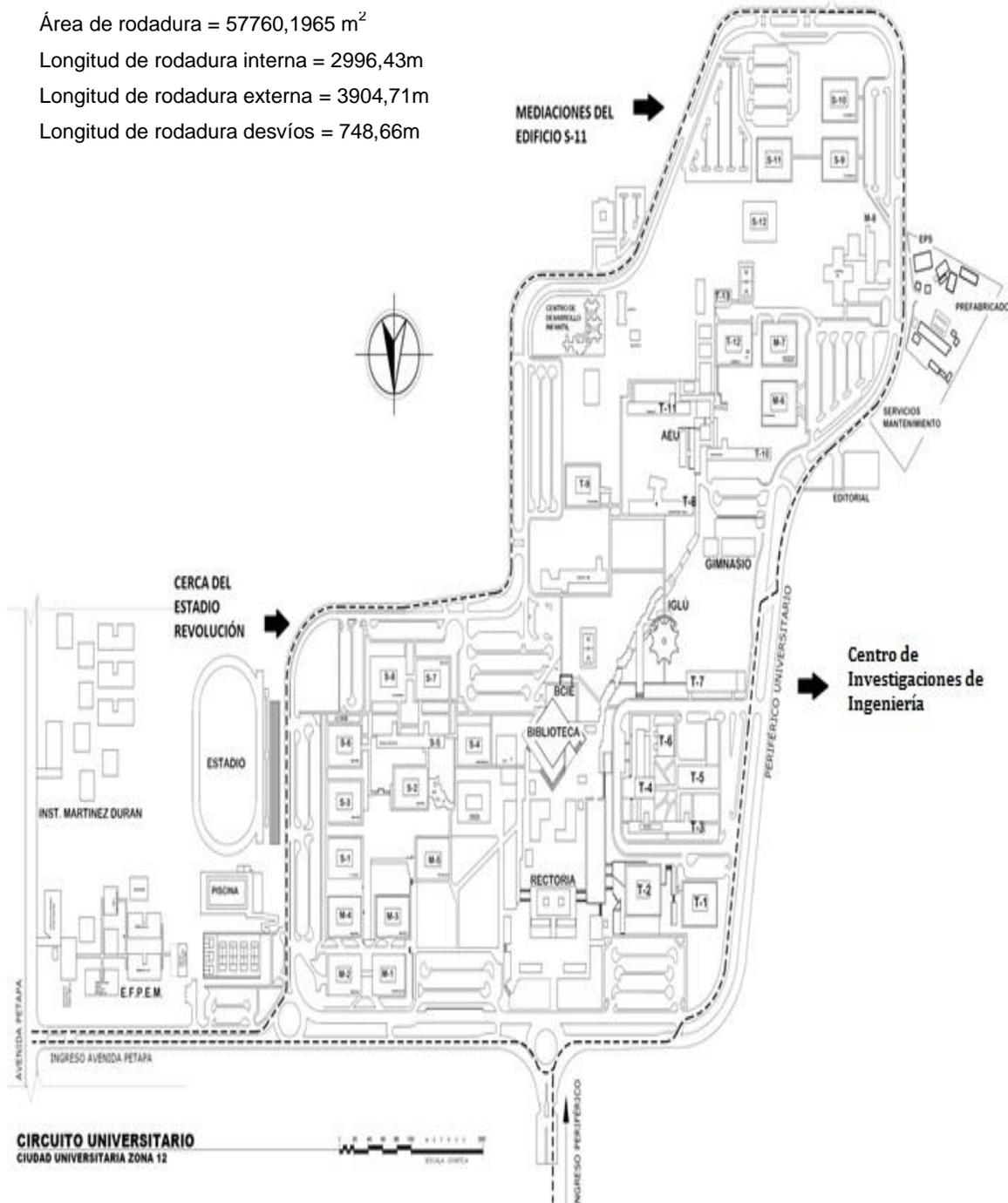
Para la extracción de las calicatas en el suelo, se excavó una profundidad equivalente al espesor de la base, se retiró ese material y se repitió el procedimiento para la subbase. Así mismo, para la extracción de los núcleos se

utilizó una extractora de núcleos, cuya broca penetró en el pavimento asfáltico cortándolo una profundidad equivalente al espesor de la carpeta de rodadura. Al retirar la broca, se obtuvo el fragmento de la carpeta y se limpiaron los restos del material de la base que iban con la muestra.

En el anexo 28 se puede observar las diferentes estaciones que se utilizaron para poder hacer la medición de las deflexiones con la viga Benkelman. Así mismo, tres de esas estaciones corresponden a la localización de las calicatas y la extracción de núcleos. Es de añadir que las mediciones con la Viga Benkelman se realizaron en sentido contrario a las agujas del reloj, sobre el carril derecho de la vía.

Figura 41. Localización de las muestras extraídas

Área de rodadura = 57760,1965 m²
 Longitud de rodadura interna = 2996,43m
 Longitud de rodadura externa = 3904,71m
 Longitud de rodadura desvíos = 748,66m



Fuente: Unidad de Parques, USAC.

Figura 42. **Extracción de calicatas al lado del pavimento de la Universidad de San Carlos de Guatemala**



Fuente: pavimento universitario, USAC.

Figura 43. **Extracción de núcleos del pavimento de la Universidad de San Carlos de Guatemala**



Fuente: pavimento universitario, USAC.

4.2. Datos físicos de los núcleos de carpeta asfáltica, la base y la subbase

Figura 44. **Briqueta núm. 2 extraída del pavimento de la Universidad de San Carlos de Guatemala**



Fuente: CII, Facultad de Ingeniería, USAC.

Ninguna de las briquetas extraídas tiene la presencia de fractura ni de material granular de la base o materia orgánica. A continuación se presenta los espesores y alturas de las tres briquetas extraídas del pavimento. Es importante tomar en cuenta que las tres briquetas cumplen con el mínimo de espesor de 2,5 cm y el máximo de 7,62 cm, según la norma ASTM D 1559 (Tabla XX).

Tabla XX. **Espesores y alturas de las briquetas extraídas**

Briqueta	Espesor (mm)	Diámetro (mm)
1	65,72	99,19
2	67,39	99,41
3	65,98	100,42
promedio	66,36	99,67

Fuente: elaboración propia.

Figura 45. **Subbase del pozo 1**



Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos, Facultad de Ingeniería, USAC.

El suelo de las subbases extraídas de los tres pozos se considera una arena limosa (SM) según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos. Así mismo, pertenecen al grupo A-1-b del sistema P.R.A. que incluye los suelos constituidos principalmente por arenas gruesas, con o sin material fino bien graduado. Visualmente, el suelo se describe como una arena con grava y limo color café.

Figura 46. **Base del pozo 1**



Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos, Facultad de Ingeniería, USAC.

El suelo de la base extraído del pozo 1 se considera una arena limosa pobremente graduada (SP–SM) según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos. Así mismo, pertenece al grupo A–1–b del sistema P.R.A. que incluye los suelos constituidos principalmente por arenas gruesas, con o sin material fino bien graduado. Visualmente se puede describir el suelo como una arena con presencia de grava color gris oscura.

Figura 47. **Base del pozo 2**



Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos, Facultad de Ingeniería, USAC.

El suelo de la base extraída del pozo 2 se considera una arena limosa (SM) según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos. Así mismo, pertenece al grupo A–2–4 del sistema P.R.A. que incluye los suelos constituidos principalmente por arenas gruesas, con o sin material fino bien graduado. Visualmente, el suelo se describe como una arena y grava con limo color café.

Figura 48. **Base del pozo 3**



Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos, Facultad de Ingeniería, USAC.

El suelo de la base extraída del pozo 3 se considera una arena limosa (SM) según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos. Así mismo, pertenece al grupo A-1-b del sistema P.R.A. que incluye los suelos que contienen un 35 % o menos de material que pasa por el tamiz núm. 200 y cuya fracción que pasa por el tamiz núm. 40 tiene las características de un suelo limoso. Visualmente, el suelo se describe como una arena limosa con presencia de grava color café.

4.3. Análisis de deterioro asociados con carga

La mejor forma de determinar las fallas del pavimento y determinar porque se han producido, es mediante la conducción de un estudio de reconocimiento deseablemente una vez al año. En el se debe identificar el tipo, severidad y magnitud de cada falla. También se debe tratar de determinar si el diseño del pavimento, la carga soportada, el agua, la temperatura, los materiales del pavimento o la construcción fueron la causa de la falla.

Para efectuar la evaluación superficial del pavimento de la Universidad de San Carlos de Guatemala, se realizó una inspección visual, debiéndose hacer

las anotaciones de lo observado mientras se caminó sobre la red vial en estudio. Adicionalmente, se adjuntan los datos sobre el tráfico promedio diario anual del pavimento universitario proporcionados por la unidad ejecutora USAC/BCIE y la unidad de parqueos.

4.3.1. Inspección visual

El objetivo de la inspección visual en el perímetro de la universidad fue determinar las fallas principales que posee el pavimento y hacer una descripción de las partes principales que componen la carretera de la universidad. En las figuras 48 y 49 se presentan las principales características geométricas del pavimento asfáltico de la universidad. En las figuras se presenta un registro fotográfico de la carretera, así como también una sección transversal del mismo que muestra las capas del pavimento en orden de colocación y el espesor promedio de cada una de ellas. En las imágenes se podrá observar que el pavimento se encuentra en condiciones físicas aceptables y que en la carretera no se cuenta con hombros, canaletas o cunetas, sino únicamente el rodaje, arriate central y lateral, así como un pequeño drenaje localizado aproximadamente cada 500 metros.

Figura 49. **Sección transversal del pavimento universitario**



Fuente: elaboración propia.

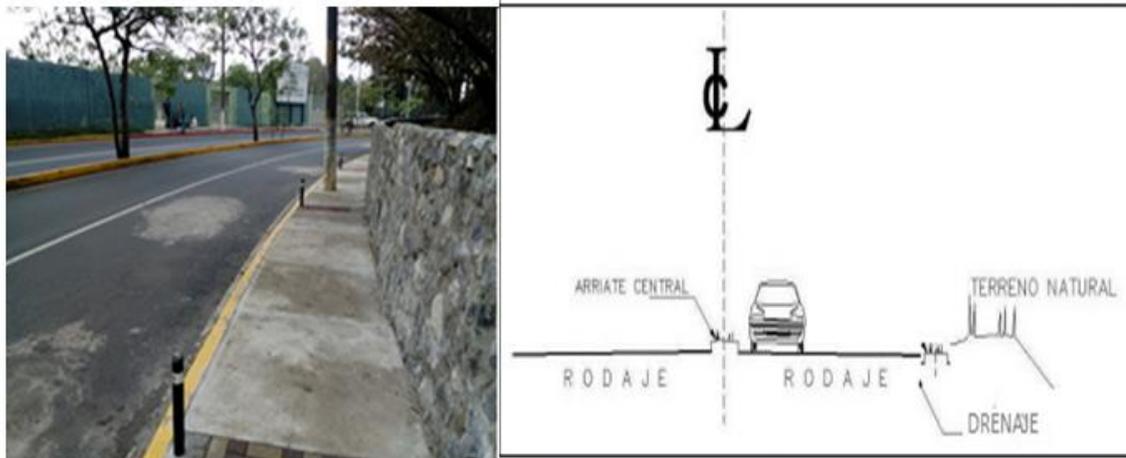
Figura 50. **Bulevar universitario en CALUSAC**



Fuente: elaboración propia.

En la imagen 49 se puede observar que los carriles externo e interno son separados únicamente por un pequeño arriate central, mientras que en la imagen 48 los carriles son separados por un área grande de terreno natural. Sin embargo, las condiciones físicas y características generales del pavimento son exactamente iguales en toda la universidad.

Figura 51. **Bulevar universitario en el Polideportivo Usac**



Fuente: elaboración propia.

En cuanto a las fallas del pavimento, se determinó que la falla más representativa era un bache localizado en la entrada de la universidad. El bache es una cavidad normalmente redondeada, que se forma al desprenderse mezcla asfáltica y es causada por un defecto de construcción, una mezcla asfáltica estructuralmente insuficiente, drenaje inadecuado o quema de elementos sobre el pavimento.

Figura 52. **Bache localizado en el pavimento universitario**



Fuente: bulevar universitario, USAC.

Adicional al bache encontrado, también se determinó la existencia de otros dos tipos de fallas. La primera se denomina grieta de borde, y se caracteriza por tener una tendencia longitudinal a semicircular ubicada cerca del borde de la calzada. Esta falla se presenta generalmente por la falta de confinamiento lateral de la estructura debido a la carencia de bordillos o ausencia de berma. Esta grieta se ubica a la entrada del Departamento de Servicios USAC.

Figura 53. **Grieta de borde localizado en el perímetro universitario**



Fuente: bulevar universitario, USAC.

El tercer tipo de falla encontrado en el pavimento asfáltico es una fisura longitudinal, que se caracteriza por una discontinuidad en la carpeta asfáltica, en la misma dirección del tránsito. Son indicio de la existencia de esfuerzos de tensión en alguna capa de la estructura, las cuales han superado la resistencia del material afectado. Esta falla se localiza frente a las instalaciones de EPS de la Facultad de Ingeniería.

Figura 54. **Grieta longitudinal en el perímetro universitario**

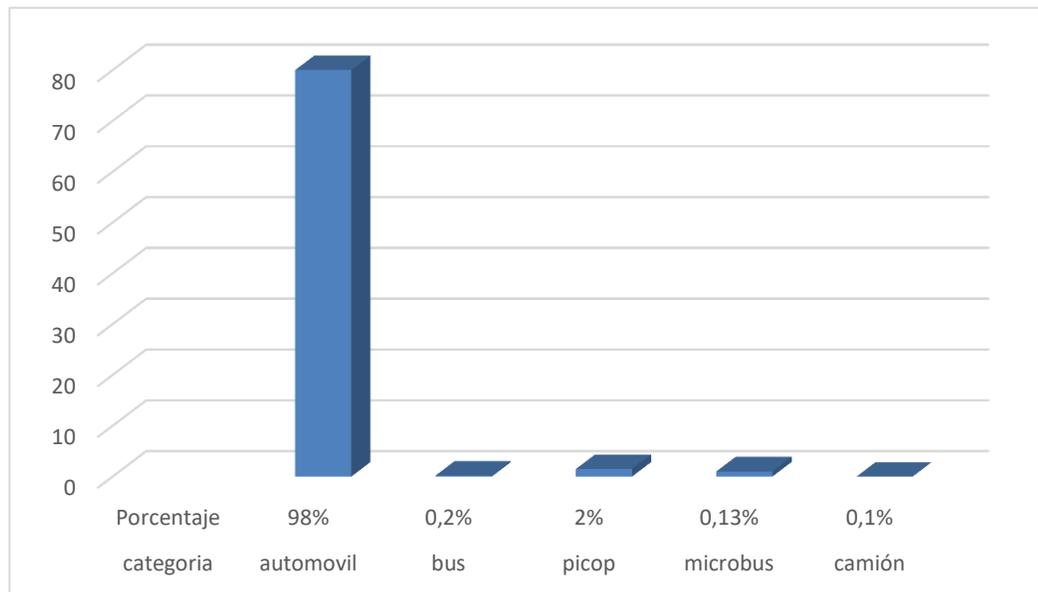


Fuente: bulevar universitario, USAC.

4.3.2. Tráfico promedio diario anual

Para establecer el TPDA del proyecto, se utilizó el censo volumétrico de tráfico realizado por la unidad de parqueos de la Universidad de San Carlos de Guatemala. El censo estableció que diariamente entran al campus un total de 25 000 vehículos distribuidos de la siguiente forma:

Figura 55. Tipos de vehículos que transitan por el bulevar universitario



Fuente: Unidad de Parqueos, USAC.

4.4. Resultados obtenidos de los ensayos de laboratorio

Para el análisis de las muestras obtenidas de las calicatas y de la extracción de núcleos del pavimento ubicado en el perímetro universitario, se toman los datos de los resultados más importantes, previo a calcular según lo especificado en cada norma.

4.4.1. Ensayos realizados a la base y subbase

A continuación se presentan los resultados de los ensayos realizados a cada una de las muestras de suelo obtenidas de las calicatas ubicadas en el perímetro universitario. Es importante considerar que las muestras fueron extraídas y ensayadas en noviembre de 2015, lo cual pudo influir en los valores de humedad obtenidas.

4.4.1.1. Análisis granulométrico con tamices y lavado previo (ASTM D 6913 – 04)

Tabla XXI. **Datos de los pozos extraídos**

	Peso bruto seco (g)	Tara (g)	Peso neto seco (g)
Subbase pozo 1	630,36	109,37	520,99
Subbase del pozo 2	634,21	162,30	471,91
Subbase del pozo 3	628,26	188,25	440,01
Promedio de subbases	630,94	153,31	477,64
Base pozo 1	735,80	162,33	573,47
Base pozo 2	573,41	136,04	437,37
Base pozo 3	962,91	162,61	800,30
Promedio bases	757,37	153,66	603,69

Fuente: CII, Facultad de Ingeniería, USAC.

4.4.1.2. Equivalente de arena (AASHTO T – 176)

Tabla XXII. Lectura de arena y arcilla de los pozos

	Lectura de arena (cm)		Lectura de arcilla (cm)	
Subbase pozo 1	2,4	2,3	4,4	4,2
Subbase pozo 2	2,6	2,4	4,5	4,1
Subbase pozo 3	2,5	2,5	4,5	4,4
Promedio subbases	2,5	2,4	4,46	4,23
Base pozo 1	2,5	2,7	4,1	4,5
Base pozo 2	2,6	2,6	5,1	5,3
Base pozo 3	4	3,6	5,3	5
Promedio bases	3,03	2,97	4,83	4,93

Fuente: CII, Facultad de Ingeniería, USAC.

4.4.1.3. Ensayo de compactación Próctor modificado (AASHTO T – 180)

Tabla XXIII. Humedad promedio y PUS de los pozos

Material	Columna	Humedad promedio (%)	P.U.S.
Subbase del pozo 1	1	4,70	104,88
	2	7,32	110,94
	3	12,13	116,81
	4	17,19	104,46
Subbase del pozo 2	1	4,55	105,62
	2	6,53	108,76
	3	12,40	116,37
	4	16,53	109,60
Subbase del pozo 3	1	5,5	107,00
	2	6,20	108,52
	3	12,00	115,70
	4	18,58	106,65
Base del pozo 1	1	7,03	99,50
	2	9,37	101,61
	3	13,98	100,98
	4	18,13	99,68
Base del pozo 2	1	4,76	103,55
	2	7,58	108,22
	3	12,52	115,23
	4	16,69	107,71
Base del pozo 3	1	11,65	82,95
	2	15,92	87,88
	3	20,45	90,07
	4	26,63	88,46

Fuente: CII, Facultad de Ingeniería, USAC.

**4.4.1.4. Ensayo de razón soporte California (CBR)
(AASHTO T – 193)**

Tabla XXIV. Humedad y densidad de las muestras

Pozo	Probeta	Golpes	A la compactación	
			H (%)	γ_d (lb/pie ³)
Subbase del pozo 1	No.	No.		
	1	10	11,60	102,19
	2	30	11,60	110,62
	3	65	11,60	115,89
Subbase del pozo 2	1	10	12,10	101,73
	2	30	12,10	110,12
	3	65	12,10	115,37
Subbase del pozo 3	1	10	12,40	101,46
	2	30	12,40	109,83
	3	65	12,40	115,06
Base del pozo 1	1	10	10,00	89,25
	2	30	10,00	95,66
	3	65	10,00	101,81
Base del pozo 2	1	10	12,52	102,92
	2	30	12,52	108,67
	3	65	12,52	115,20
Base del pozo 3	1	10	20,45	78,09
	2	30	20,45	85,41
	3	65	20,45	90,29

Fuente: CII, Facultad de Ingeniería, USAC.

4.4.1.5. Ensayo de límites de Atterberg (AASHTO T 89 y T 90)

Ninguna de las muestras de suelo que se ensayaron en el laboratorio presento valor alguno en el ensayo de límite líquido, ni en el ensayo de límite plástico. Por consiguiente, el suelo en los pozos no tiene plasticidad.

4.4.2. Ensayos realizados a la carpeta de mezcla asfáltica

A continuación, se presentan los resultados de los ensayos realizados a cada uno de los núcleos extraídos del pavimento asfáltico de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

4.4.2.1. Ensayo de estabilidad y flujo Marshall (ASTM D 1559)

Datos:

- Probeta 1
 - Deformación = 26 = 0,026 pulgadas
 - Lectura dada por el dial = 358 unidades
- Probeta 2
 - Deformación = 20 = 0,02 pulgadas
 - Lectura dada por el dial = 246 unidades
- Probeta 3
 - Deformación = 20 = 0,02 pulgadas
 - Lectura dada por el dial = 288 unidades

4.4.2.2. Ensayo densidad específica de Bulk (ASTM D 1188)

- Probeta 1
 - Diámetros
 - 99,25 mm
 - 99,33 mm
 - 99,00 mm
 - Diámetro promedio = 99,19 mm
 - Alturas
 - 65,69 mm
 - 66,21 mm
 - 65,26 mm
 - Altura promedio = 65,72 mm

A = peso seco = 1 220,10 g

B = peso seco saturado = 1 224,36 g

C = peso sumergido = 705,55 g

- Probeta 2
 - Diámetros
 - 99,21 mm
 - 99,44 mm
 - 99,58 mm
 - Diámetro promedio = 99,41 mm
 - Alturas
 - 68,72 mm
 - 67,60 mm
 - 65,86 mm

- Altura promedio = 67,39 mm

A = peso seco = 1 229,41 g

B = peso seco saturado = 1 232,40 g

C = peso sumergido = 697,63 g

- Probeta 3
 - Diámetros
 - 100,36 mm
 - 100,46 mm
 - 100,43 mm
 - Diámetro promedio = 100,42 mm
 - Alturas
 - 67,79 mm
 - 64,41 mm
 - 65,74 mm
 - Altura promedio = 65,98 mm

A = peso seco = 1 243,27 g

B = peso seco saturado = 1 249,66 g

C = peso sumergido = 711,45 g

4.4.2.3. Gravedad específica teórica máxima *rice* (ASTM D 2041)

- Probeta 1
 - A = peso del material (mezcla asfáltica base) = 1 199,6 g
 - D = peso del picnómetro + agua = 7 380,2 g
 - E = peso material + peso picnómetro + agua = 8 098,8 g

- Probeta 2
 - A = peso del material (mezcla asfáltica base) = 1 224,9 g
 - D = peso del picnómetro + agua = 7 380,1 g
 - E = peso material + peso picnómetro + agua = 8 106,9 g
- Probeta 3
 - A = peso del material (mezcla asfáltica base) = 1 215,3 g
 - D = peso del picnómetro + agua = 7 380,5 g
 - E = peso material + peso picnómetro + agua = 8 101,1 g

4.4.2.4. Porcentaje de ligante asfáltico efectivo para ensayos de control de calidad Pbe

- Probeta 1
 - Peso bruto neto = 905,5 g
 - Peso neto sin bitumen = 863,2 g
 - Peso bruto del filtro = 10,95 g
 - Peso neto del filtro con agregado = 12,65 g
- Probeta 2
 - Peso bruto neto = 911,6 g
 - Peso neto sin bitumen = 868,5 g
 - Peso bruto del filtro = 10,95 g
 - Peso neto del filtro con agregado = 12,5 g
- Probeta 3
 - Peso bruto neto = 901,7 g
 - Peso neto sin bitumen = 855,9 g
 - Peso bruto del filtro = 10,94 g
 - Peso neto del filtro con agregado = 12,25 g

4.4.2.5. Porcentaje de vacíos de aire en mezclas bituminosas, densas y abiertas

El porcentaje de vacíos de aire en cada probeta depende del resultado del ensayo de gravedad específica *rice* y del promedio de los resultados del ensayo de densidad específica Bulk.

4.4.2.6. Análisis granulométrico para pavimento de concreto asfáltico (ASTM D 3515)

- Probeta 1
 - PBS = 1 115,76 g
 - Tara = 248,47 g
 - PNS = 867,29 g
- Probeta 2
 - PBS = 1 019,3 g
 - Tara = 151,0 g
 - PNS = 868,3 g
- Probeta 3
 - PBS = 1 107,07 g
 - Tara = 250,84 g
 - PNS = 856,23 g

4.4.3. Medición de deflexiones utilizando la viga Benkelman

Tabla XXV. Deflexiones obtenidas utilizando la viga Benkelman

Carretera: Boulevard universitario Tramo: Periférico – Petapa Origen: Anillo Periférico Del Km: 0 + 000 A Km: 3 + 000 Cuerpo: único Carril: Derecho Fecha: 26 de abril de 2017				CARACTERÍSTICAS DE LA VIGA Relación del brazo: 2:1 Micrómetro aproximado: 0,002” Caratula de: 14 unidades Peso en el eje trasero del camión: 8,5 Ton				
Km	Rodada		T °C	Hora	Lecturas			Referencia
	INT.	EXT.			Entrada	salida	diferencia	
0 + 000	X		42,5	8: 30	90	80	10	Veterinaria ⁴
		X	42,5		90	80	10	
0 + 500	X		44,5	9:00	90	81	9	Colegio ⁵
		X	44,5		90	78	12	
1 + 000	X		46,4	9:20	90	81	9	Estadio ⁶
		X	46,4		90	80	10	
1 + 500	X		47,9	9:30	90	85	5	Odontología ⁷
		X	47,9		90	80	10	
2 + 000	X		49,4	9:40	90	76	14	Rectoría ⁸
		X	49,4		90	77	13	
2 + 500	X		50,0	10:00	90	85	5	Ingeniería ⁹
		X	50,0		90	79	11	
3 + 000	X		50,9	10:15	90	85	5	CII ¹⁰
		X	50,9		90	80	10	

Fuente: elaboración propia.

⁴ Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia

⁵ Jardín Infantil y Colegio Carlos II

⁶ Estadio Revolución

⁷ Facultad de Odontología

⁸ Rectoría Universidad de San Carlos de Guatemala

⁹ Facultad de Ingeniería

¹⁰ Centro de Investigaciones de Ingeniería

4.5. Cálculo de los ensayos de laboratorio

A continuación se presentan los cálculos de las muestras extraídas. El procedimiento realizado se hará de acuerdo a la naturaleza del espécimen, ya sea una briqueta de asfalto, una muestra de suelo o las deflexiones obtenidas del pavimento asfáltico. Cada resultado debe compararse con las Especificaciones generales para la construcción de carreteras y puentes de la Dirección General de Caminos, sección 300 y 400.

4.5.1. Ensayos realizados a la base y subbase

A continuación se presentan los cálculos y resultados obtenidos de las muestras de suelo extraídas de las calicatas realizadas en el perímetro de la USAC.

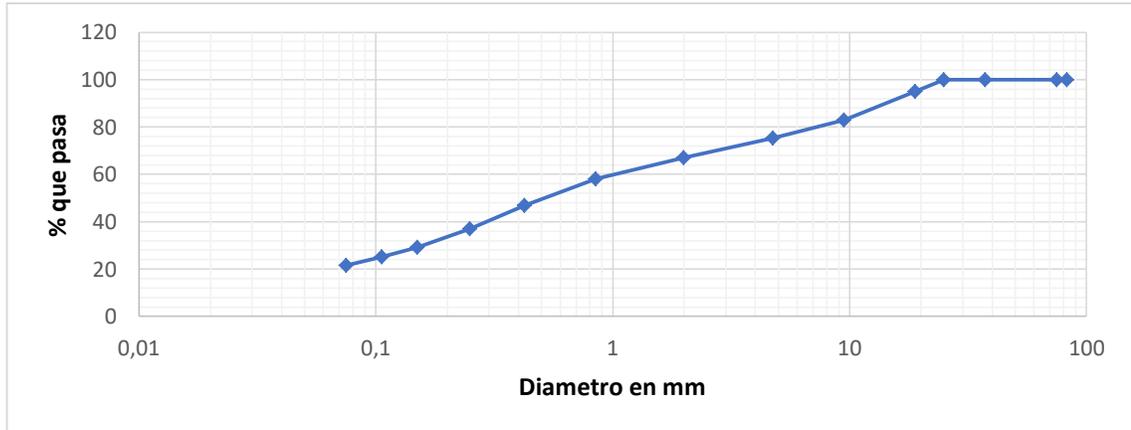
4.5.1.1. Análisis granulométrico con tamices y lavado previo (ASTM D 6913–04)

Tabla XXVI. Análisis con tamices de subbase pozo 1 ubicado frente al CII (estación 3 + 000)

tamiz	abertura	peso neto (g)	porcentaje que pasa	tamiz	abertura	peso neto (g)	porcentaje que pasa
3"	75	408,25	100	10	2	236,52	67,04
2"	50	408,25	100	20	0,85	189,67	58,05
1 1/2"	37,5	408,25	100	40	0,425	131,34	46,85
1"	25	408,25	100	60	0,25	79,91	36,98
3/4"	19	382,29	95,02	100	0,15	39,25	29,17
3/8"	9,5	318,92	82,85	140	0,106	18,98	25,28
4	4,75	280,11	75,40	200	0,075	112,74	21,64

Fuente: CII, Facultad de Ingeniería, USAC.

Figura 56. **Gráfica de granulometría ensayada para subbase pozo 1 ubicado frente al CII (estación 3 + 000)**



Fuente: CII, Facultad de Ingeniería, USAC.

Porción de gravas = 24,60 %

Porción de arenas = 53,76 %

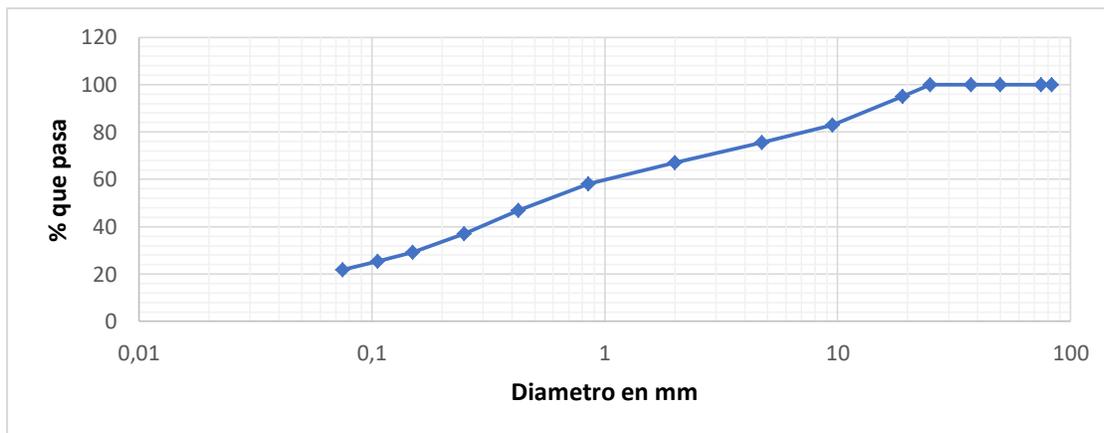
Porción de fino = 21,64 %

Tabla XXVII. **Análisis con tamices de la subbase del pozo 2 ubicado a inmediaciones del edificio S-11 (estación 0 + 500)**

tamiz	abertura	peso neto (g)	porcentaje que pasa	tamiz	abertura	peso neto (g)	porcentaje que pasa
3"	75	514,44	100	10	2	344,88	67,09
2"	50	514,44	100	20	0,85	298,63	58,12
1 1/2"	37,5	514,44	100	40	0,425	241,01	46,94
1"	25	514,44	100	60	0,25	90,24	37,09
3/4"	19	488,82	95,03	100	0,15	50,06	29,29
3/8"	9,5	404,99	82,88	140	0,106	30,05	25,41
4	4,75	387,88	75,45	200	0,075	111,32	21,77

Fuente: CII, Facultad de Ingeniería, USAC.

Figura 57. **Gráfica de granulometría ensayada de la subbase del pozo 2 ubicado a inmediaciones del edificio S-11 (estación 0 + 500)**



Fuente: CII, Facultad de Ingeniería, USAC.

Porción de gravas = 24,55 %

Porción de arenas = 53,67 %

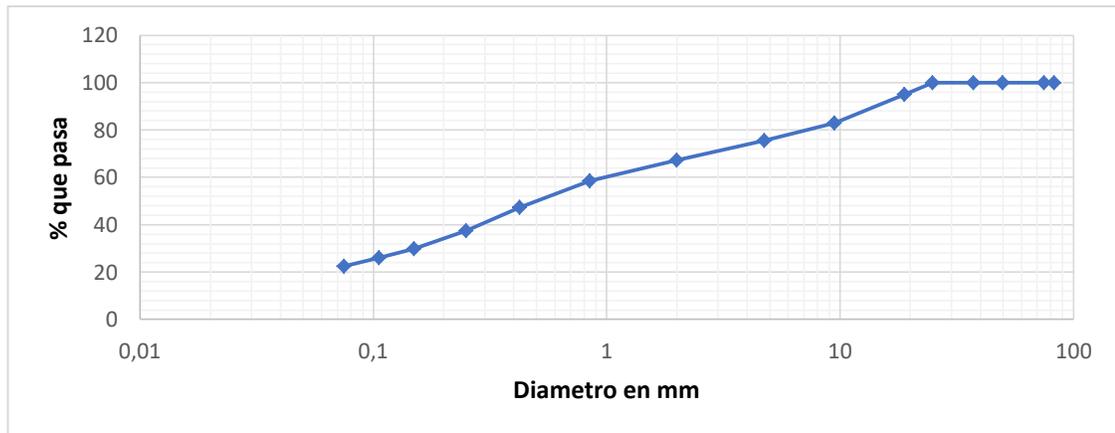
Porción de fino = 21,77 %

Tabla XXVIII. **Análisis de tamices de la subbase del pozo 3 ubicado cerca del estadio Revolución (estación 1 + 000)**

tamiz	abertura	peso neto (g)	porcentaje que pasa	tamiz	abertura	peso neto (g)	porcentaje que pasa
3"	75	469,44	100	10	2	314,95	67,36
2"	50	469,44	100	20	0,85	272,84	58,46
1 1/2"	37,5	469,44	100	40	0,425	220,35	47,37
1"	25	469,44	100	60	0,25	74,11	37,60
3/4"	19	446,47	95,07	100	0,15	37,50	29,87
3/8"	9,5	389,10	83,02	140	0,106	19,28	26,02
4	4,75	354,21	75,65	200	0,075	102,20	22,41

Fuente: CII, Facultad de Ingeniería, USAC.

Figura 58. **Gráfica de granulometría ensayada de la subbase del pozo 3 ubicada cerca del estadio Revolución (estación 1 + 000)**



Fuente: CII, Facultad de Ingeniería, USAC.

Porción de gravas = 24,35 %

Porción de arenas = 53,24 %

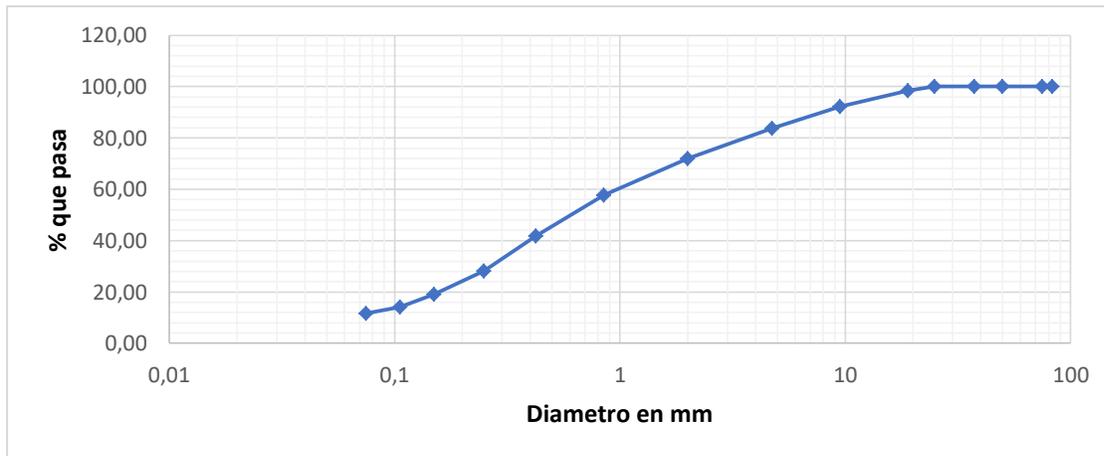
Porción de fino = 22,41 %

Tabla XXIX. **Análisis con tamices de la base del pozo 1 ubicado frente al CII (estación 3 + 000)**

tamiz	abertura	peso neto (g)	porcentaje que pasa	tamiz	abertura	peso neto (g)	Porcentaje que pasa
3"	75	506,71	100,00	10	2	345,59	71,90
2"	50	506,71	100,00	20	0,85	264,51	57,77
1 1/2"	37,5	506,71	100,00	40	0,425	173,37	41,87
1"	25	506,71	100,00	60	0,25	94,96	28,20
3/4"	19	497,13	98,33	100	0,15	43,16	19,17
3/8"	9,5	462,5	92,29	140	0,106	14,36	14,15
4	4,75	41,01	83,84	200	0,075	66,76	11,64

Fuente: CII, Facultad de Ingeniería, USAC.

Figura 59. **Gráfica de granulometría ensayada para la base del pozo 1 ubicado frente al CII (estación 3 + 000)**



Fuente: CII, Facultad de Ingeniería, USAC.

Porción de gravas = 16,16 %

Porción de arenas = 72,19 %

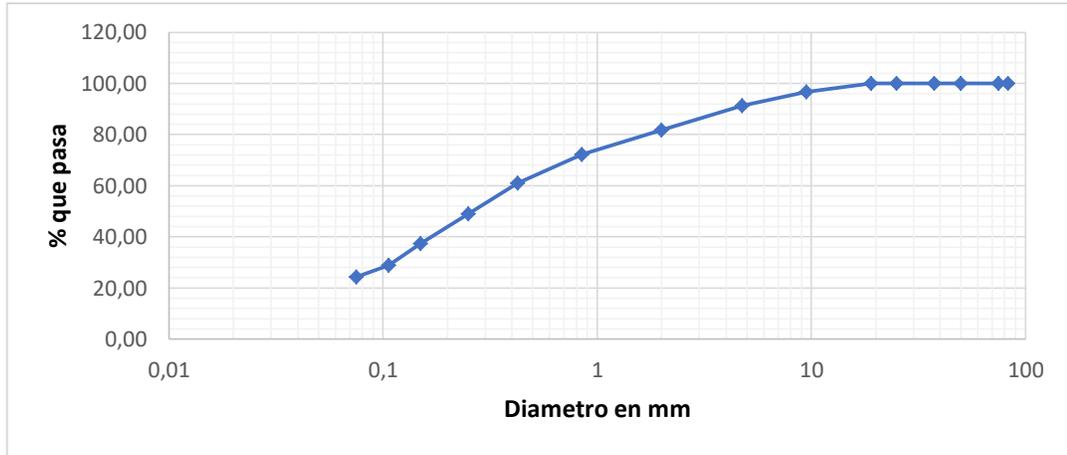
Porción de fino = 11,64 %

Tabla XXX. **Análisis con tamices de la base del pozo 2 ubicado a inmediaciones del edificio S-11 (estación 0 + 500)**

tamiz	abertura	peso neto (g)	porcentaje que pasa	tamiz	abertura	peso neto (g)	porcentaje que pasa
3"	75	331,16	100,00	10	2	251,45	81,78
2"	50	331,16	100,00	20	0,85	209,43	72,17
1 1/2"	37,5	331,16	100,00	40	0,425	160,2	60,91
1"	25	331,16	100,00	60	0,25	107,63	48,89
3/4"	19	331,16	100,00	100	0,15	56,88	37,29
3/8"	9,5	316,67	96,69	140	0,106	20,39	28,95
4	4,75	293,14	91,31	200	0,075	106,21	24,28

Fuente: CII, Facultad de Ingeniería, USAC.

Figura 60. **Gráfica de granulometría ensayada para la base del pozo 2 ubicado a inmediaciones del edificio S-11 (estación 0 + 500)**



Fuente: CII, Facultad de Ingeniería, USAC.

Porción de gravas = 8,69 %

Porción de arenas = 67,02 %

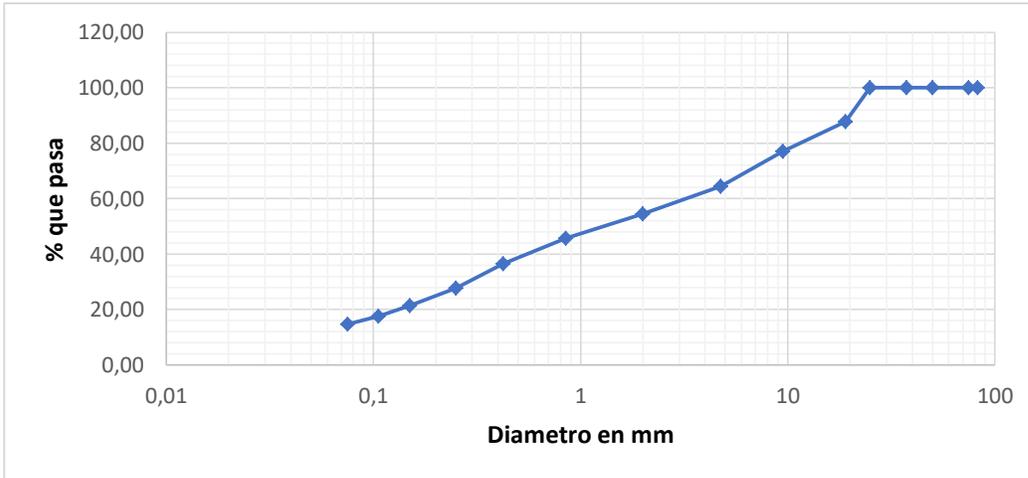
Porción de finos = 24,28 %

Tabla XXXI. **Análisis con tamices de la base del pozo 3 ubicado cerca del estadio Revolución (estación 1 + 000)**

tamiz	abertura	peso neto (g)	porcentaje que pasa	tamiz	abertura	peso neto (g)	Porcentaje que pasa
3"	75	682,12	100,00	10	2	318,19	54,53
2"	50	682,12	100,00	20	0,85	247,73	45,72
1 1/2"	37,5	682,12	100,00	40	0,425	174,69	36,60
1"	25	682,12	100,00	60	0,25	103,72	27,73
3/4"	19	584,6	87,81	100	0,15	52,58	21,34
3/8"	9,5	498,33	77,03	140	0,106	23,15	17,66
4	4,75	398,27	64,53	200	0,075	118,18	14,77

Fuente: CII, Facultad de Ingeniería, USAC.

Figura 61. **Gráfica de granulometría ensayada para la base del pozo 3 ubicado cerca del estadio Revolución (estación 1 + 000)**



Fuente: CII, Facultad de Ingeniería, USAC.

Porción de gravas = 35,47 %

Porción de arenas = 49,77 %

Porción de finos = 14,77 %

4.5.1.2. **Equivalente de arena (AASHTO T 176)**

Para obtener el equivalente de arena de cada muestra se divide la lectura de arena entre la lectura de arcilla y se multiplica por 100. Este procedimiento se hace dos veces para sacar el promedio, el cual se tomará como resultado final. Las lecturas de arena y arcilla se obtienen de la tabla XXI.

Subbase del pozo 1:

$$\frac{2,4}{4,4} * 100 = 54,5$$

$$\frac{2,3}{4,2} * 100 = 54,8$$

$$E. A. = \frac{54,5 + 54,8}{2} = 54,7$$

Subbase del pozo 2:

$$\frac{2,6}{4,5} * 100 = 57,8$$

$$\frac{2,4}{4,1} * 100 = 58,5$$

$$E. A. = \frac{57,8 + 58,5}{2} = 58,2$$

Subbase del pozo 3:

$$\frac{2,5}{4,5} * 100 = 55,6$$

$$\frac{2,5}{4,4} * 100 = 56,8$$

$$E. A. = \frac{55,6 + 56,8}{2} = 56,2$$

Base del pozo 1:

$$\frac{2,5}{4,1} * 100 = 61,0$$

$$\frac{2,7}{4,5} * 100 = 60,0$$

$$E.A. = \frac{61,0 + 60,0}{2} = 60,5$$

Base del pozo 2:

$$\frac{2,6}{5,1} * 100 = 51,0$$

$$\frac{2,6}{5,3} * 100 = 49,1$$

$$E.A. = \frac{51,0 + 49,1}{2} = 50,0$$

Base del pozo 3:

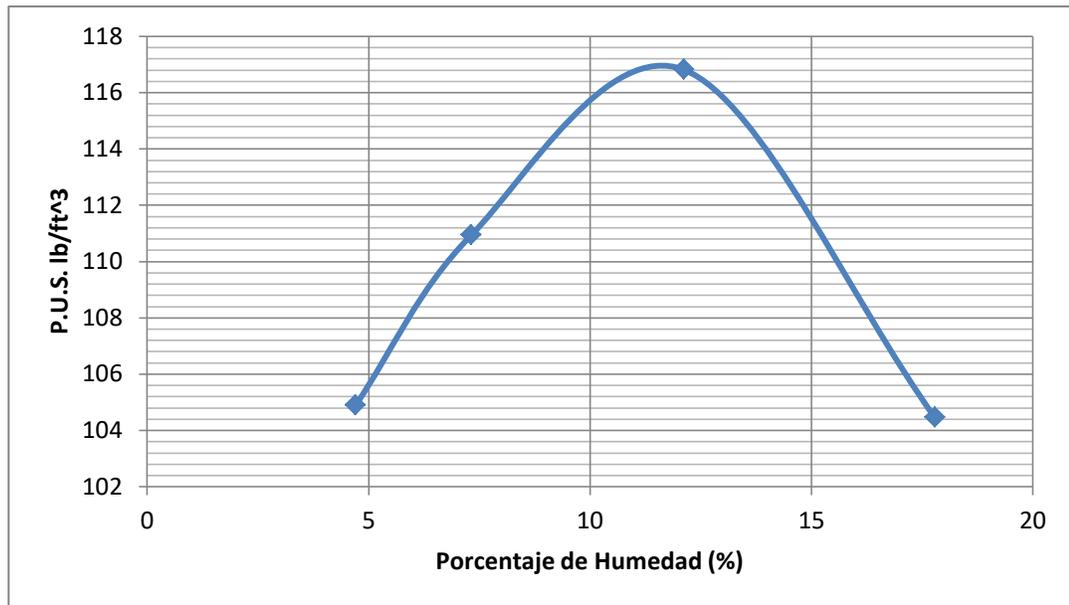
$$\frac{4}{5,3} * 100 = 75,5$$

$$\frac{3,6}{5} * 100 = 72,0$$

$$E.A. = \frac{75,5 + 72,0}{2} = 73,7$$

4.5.1.3. Ensayo de compactación Proctor modificado (AASHTO T – 180)

Figura 62. Gráfica de densidad seca – humedad relativa de la subbase del pozo 1 ubicado frente al CII (estación 3 + 000)

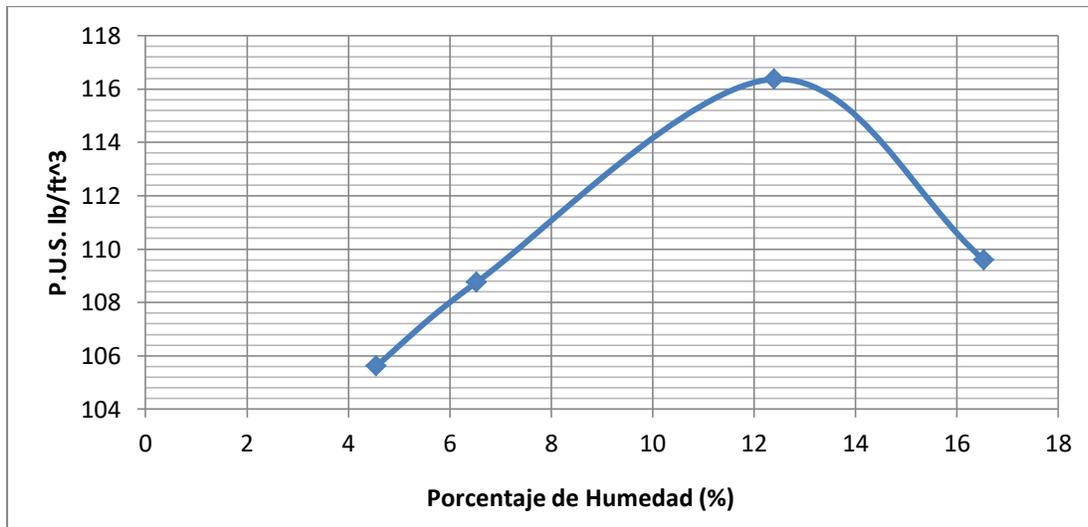


Fuente: CII, Facultad de Ingeniería, USAC.

PUS máx. = 117,00 lb/ft³

Humedad óptima = 11,6 %

Figura 63. **Gráfica de densidad seca–humedad relativa de la subbase del pozo 2 ubicado a inmediaciones del edificio S–11 (estación 0 + 500)**

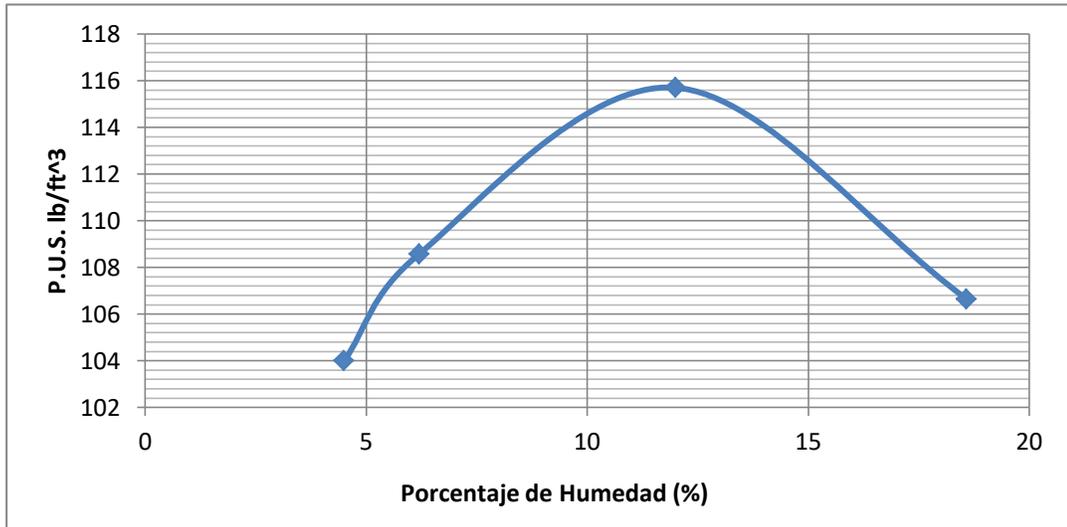


Fuente: CII, Facultad de Ingeniería, USAC.

PUS máx. = 116,50 lb/ft³

Humedad óptima = 12,40 %

Figura 64. **Gráfica de densidad seca – humedad relativa de la subbase del pozo 3 ubicado cerca del estadio Revolución (estación 1 + 000)**

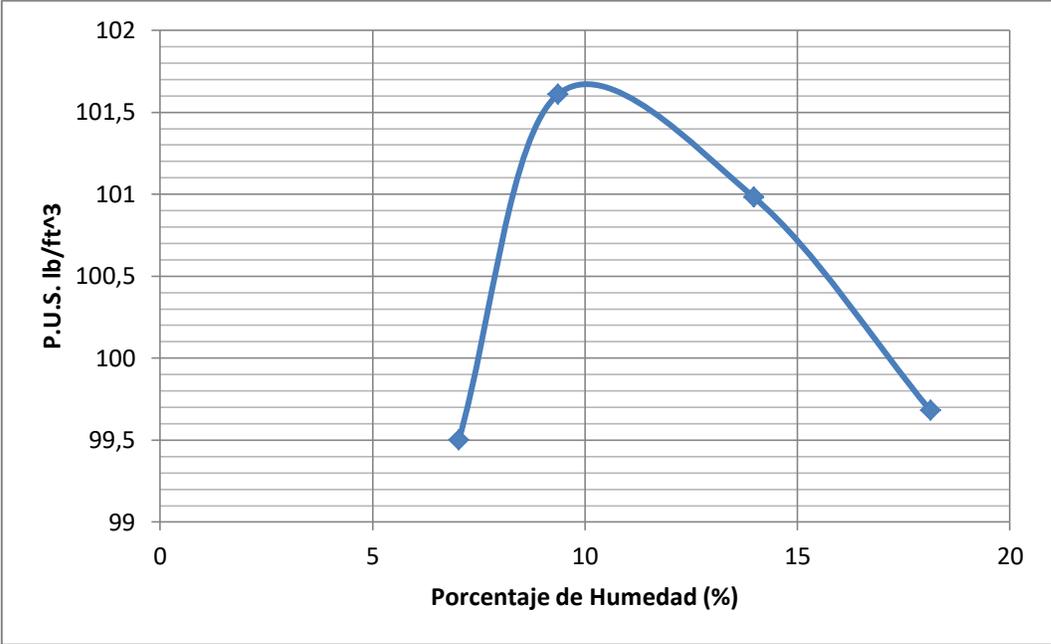


Fuente: CII, Facultad de Ingeniería, USAC.

PUS máx. = 115,70 lb/ft³

Humedad óptima = 12,00 %

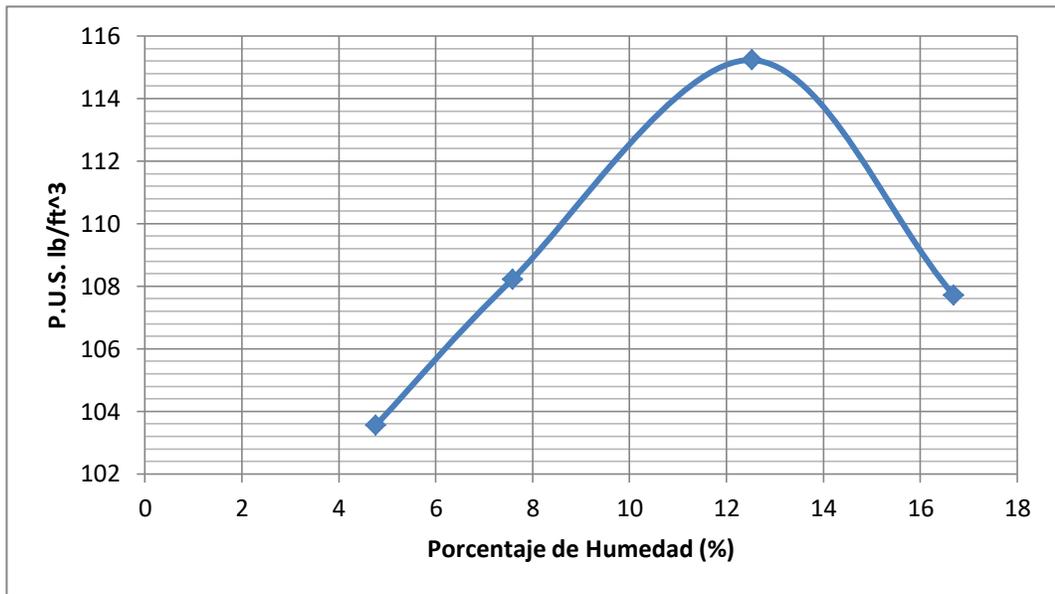
Figura 65. **Gráfica de densidad seca – humedad relativa de la base del pozo 1 ubicado frente al CII (estación 3 + 000)**



Fuente: CII, Facultad de Ingeniería, USAC.

PUS máx. = 101,70 lb/ft³
Humedad óptima = 10 %

Figura 66. **Gráfica de densidad seca – humedad relativa de la base del pozo 2 ubicado a inmediaciones del edificio S-11 (estación 0 + 500)**

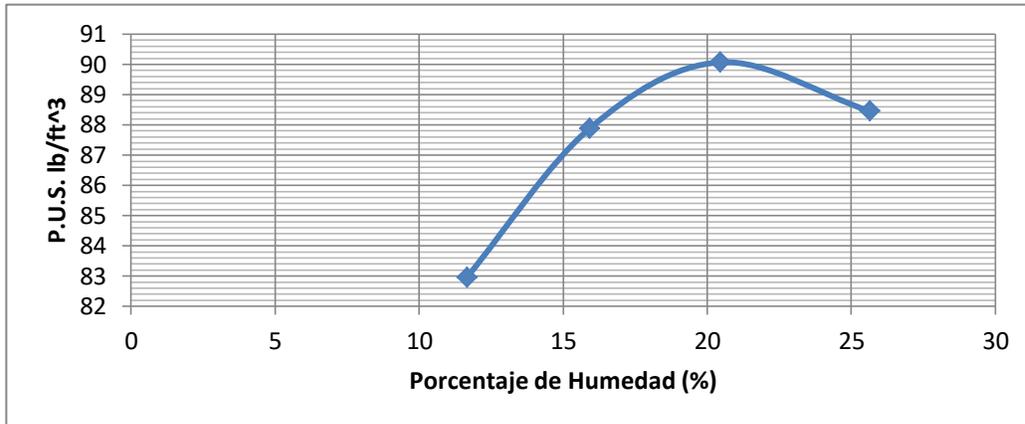


Fuente: CII, Facultad de Ingeniería, USAC.

PUS máx. = 115,23 lb/ft³

Humedad optima = 12,52 %

Figura 67. **Gráfica de densidad seca – humedad relativa de la base del pozo 3 ubicado cerca del estadio Revolución (estación 1 + 000)**



Fuente: CII, Facultad de Ingeniería, USAC.

PUS máx. = 90,07 lb/ft³

Humedad optima = 20,45 %

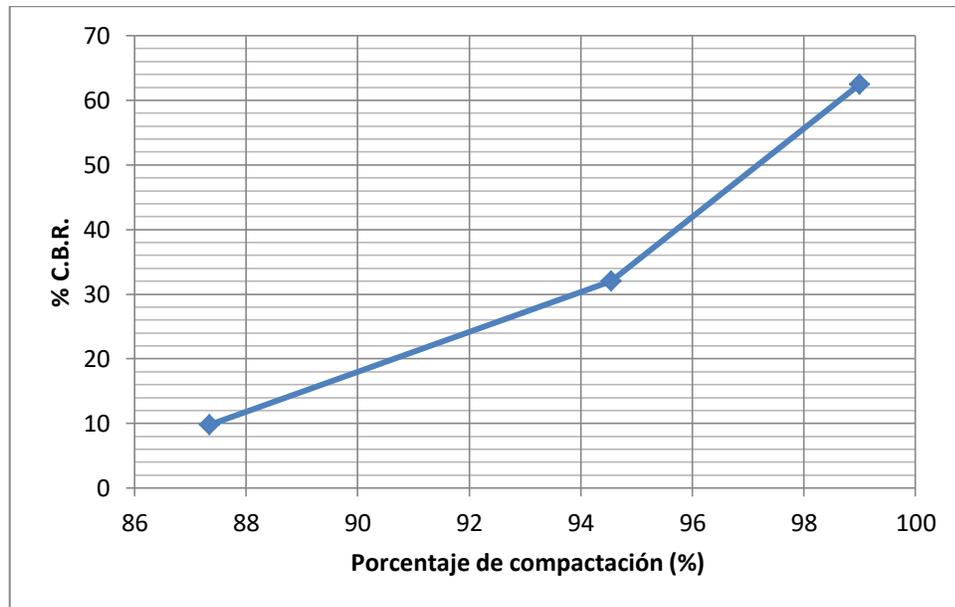
4.5.1.4. **Ensayo de razón soporte California (CBR) (AASHTO T – 193)**

Tabla XXXII. **Capacidad de soporte para la sub-base del pozo 1 ubicado frente al CII (estación 3 + 000)**

Núm. de golpes	C (%)	Expansión (%)	C.B.R. (%)
10	87,3	0,35	9,77
30	94,5	0,11	32,02
65	99,0	0,22	62,45

Fuente: CII, Facultad de Ingeniería, USAC.

Figura 68. **Gráfica de porcentaje de CBR – porcentaje de compactación para la subbase del pozo 1 ubicado frente al CII (estación 3 + 000)**



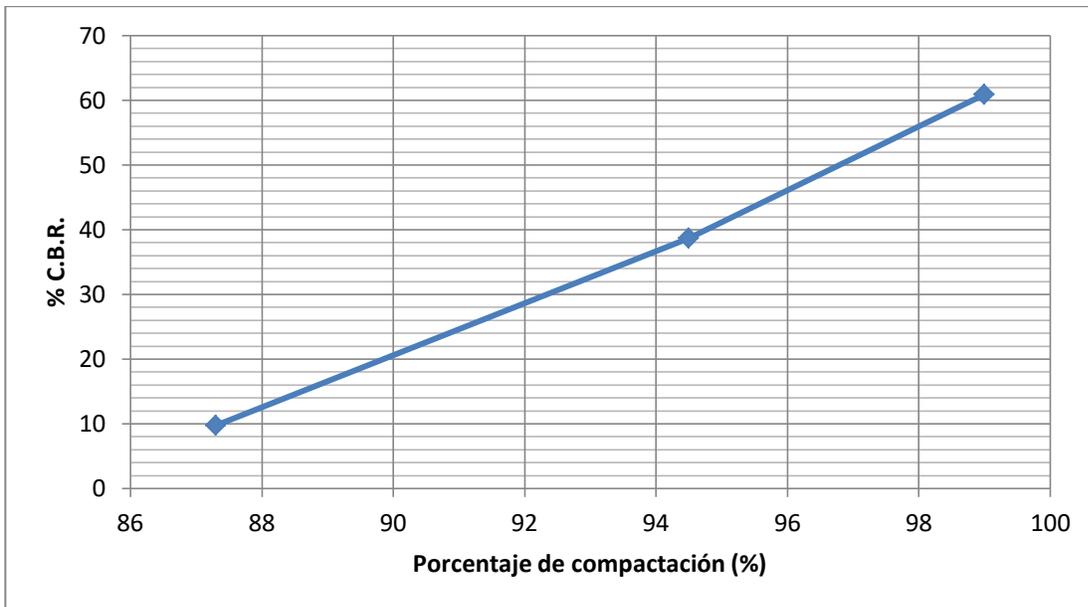
Fuente: CII, Facultad de Ingeniería, USAC.

Tabla XXXIII. **Capacidad de soporte para la sub-base del pozo 2 ubicado a inmediaciones del edificio S-11 (estación 0 + 500)**

Núm. de golpes	C (%)	Expansión (%)	C.B.R. (%)
10	87,3	0,15	9,77
30	94,5	0,15	38,69
65	99,0	0,26	60,90

Fuente: CII, Facultad de Ingeniería, USAC.

Figura 69. **Gráfica de porcentaje de CBR – porcentaje de compactación para la sub base del pozo 2 ubicado a inmediaciones del edificio S-11 (estación 0 + 500)**



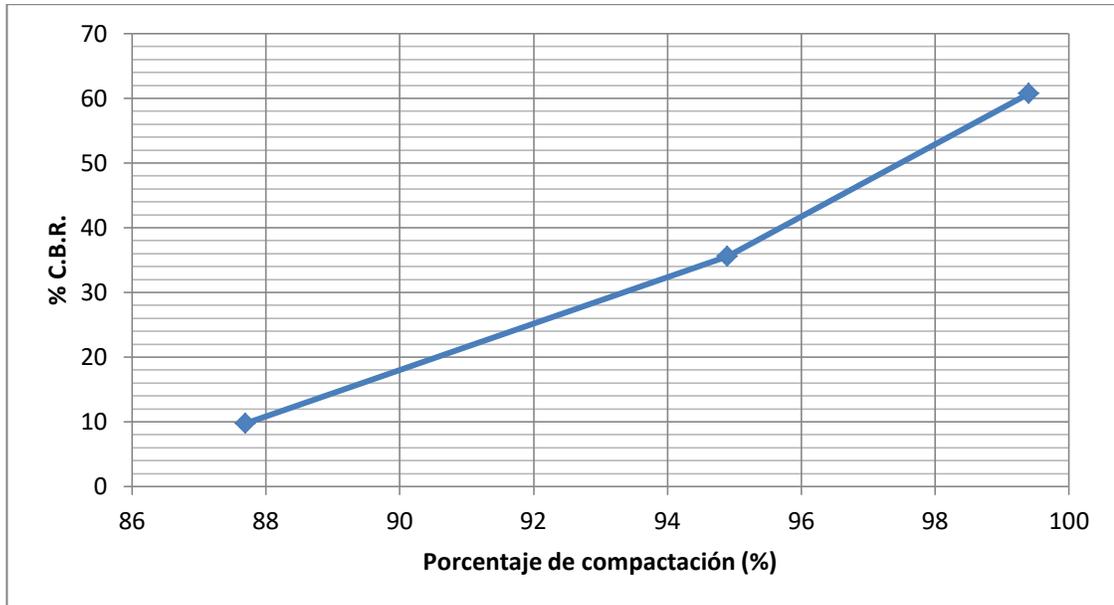
Fuente: CII, Facultad de Ingeniería, USAC.

Tabla XXXIV. **Capacidad de soporte para la subbase del pozo 3 ubicado cerca del estadio Revolución (estación 1 + 000)**

Núm. de golpes	C (%)	Expansión (%)	C.B.R. (%)
10	87,7	0,15	9,77
30	94,9	0,15	35,54
65	99,4	0,26	60,77

Fuente: CII, Facultad de Ingeniería, USAC.

Figura 70. Gráfica de porcentaje de CBR – porcentaje de compactación para la subbase del pozo 3 ubicado cerca del estadio Revolución (estación 1 + 000)



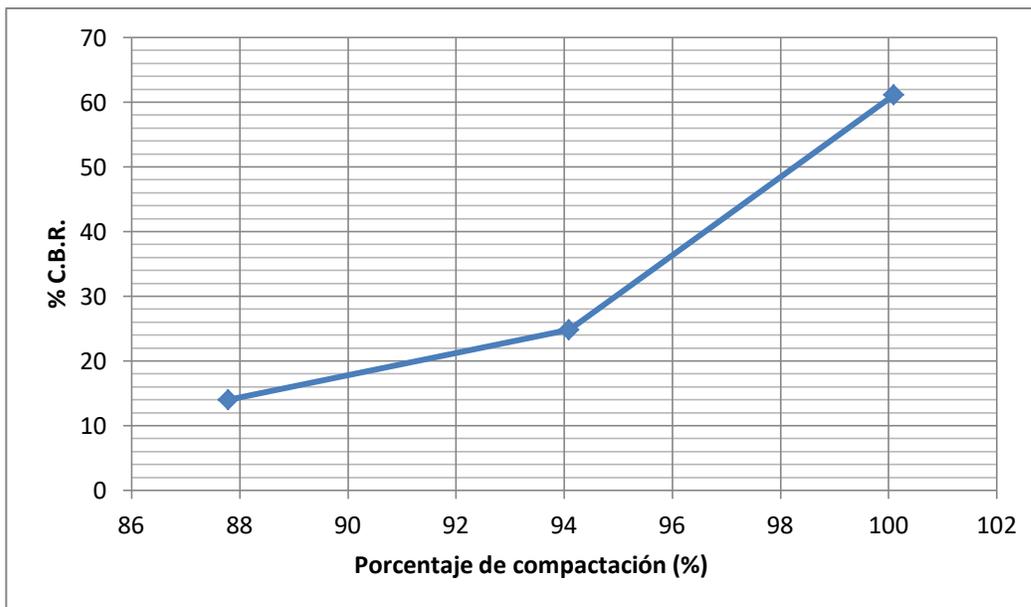
Fuente: CII, Facultad de Ingeniería, USAC.

Tabla XXXV. Capacidad de soporte para la base del pozo 1 ubicado frente al CII (estación 3 + 000)

Núm. de golpes	C (%)	Expansión (%)	C.B.R. (%)
10	87,8	0,00	13,98
30	94,1	0,11	24,80
65	100,1	0,09	61,18

Fuente: CII, Facultad de Ingeniería, USAC.

Figura 71. **Gráfica de porcentaje de CBR – porcentaje de compactación para la base del pozo 1 ubicado frente al CII (estación 3 + 000)**



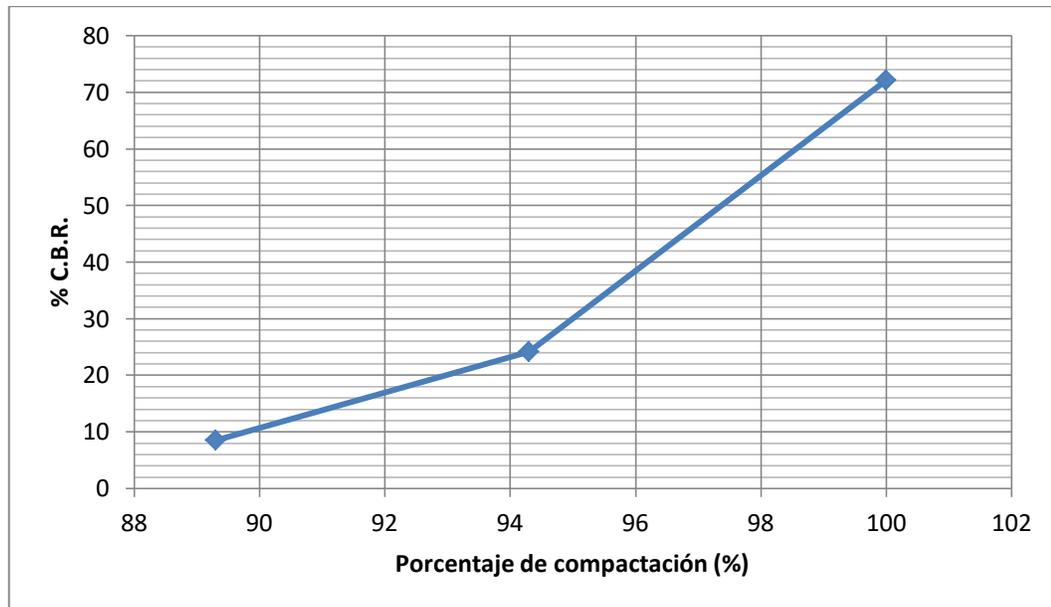
Fuente: CII, Facultad de Ingeniería, USAC.

Tabla XXXVI. **Capacidad de soporte para la base del pozo 2 ubicado a inmediaciones del edificio S-11 (estación 0 + 500)**

Núm. de golpes	C (%)	Expansión (%)	C.B.R. (%)
10	89,3	2,44	8,50
30	94,3	3,10	24,18
65	100,0	0,00	72,11

Fuente: CII, Facultad de Ingeniería, USAC.

Figura 72. **Gráfica de porcentaje de CBR – porcentaje de compactación para la base del pozo 2 ubicado a inmediaciones del edificio S-11 (estación 0 + 500)**



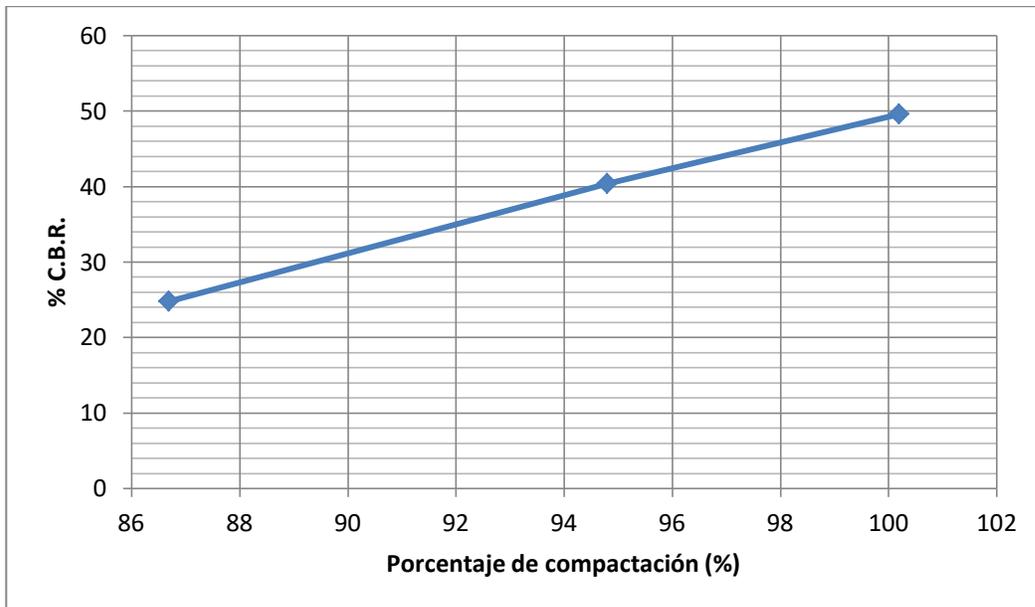
Fuente: CII, Facultad de Ingeniería, USAC.

Tabla XXXVII. **Capacidad de soporte para la base del pozo 3 ubicado frente al estadio Revolución (estación 1 + 000)**

Núm. de golpes	C (%)	Expansión (%)	C.B.R. (%)
10	86,7	0,09	24,80
30	94,8	0,04	40,40
65	100,2	0,04	49,58

Fuente: CII, Facultad de Ingeniería, USAC.

Figura 73. **Gráfica de porcentaje de CBR – porcentaje de compactación para la base del pozo 3 ubicado frente al estadio Revolución (estación 1 + 000)**



Fuente: CII, Facultad de Ingeniería, USAC.

4.5.2. Ensayos realizados a la carpeta de mezcla asfáltica

A continuación se presentan los cálculos y resultados obtenidos de los núcleos extraídos del pavimento asfáltico de la Universidad de San Carlos de Guatemala. Es importante tomar en cuenta que la ubicación de las probetas extraídas, corresponde a la ubicación y clasificación de las calicatas realizadas en el pavimento.

4.5.2.1. Ensayo de estabilidad y flujo Marshall (ASTM D 1559)

- Probeta 1:
 - Deformación = 26 = 0,026 in
 - Lectura dada por el dial= 358 unidades

Se utiliza la carga dada por el dial para determinar la carga según la tabla dada por Humboldt Mfg. Co. = 3 387,735849 lb (ver anexo 3).

$$Volumen = Peso seco saturado - peso sumergido$$

$$V = 1\,224,36\text{ g} - 705,55\text{ g} = 518,81\text{ cm}^3$$

En base al volumen de la probeta, se obtiene el factor de corrección según la tabla de corrección de valores de estabilidad Marshall (ver anexo 2).

$$Factor\ de\ corrección = 1$$

Multiplicando el factor de corrección por la carga calculada

$$3\,387,735849 * 1 = 3\,387,735849\text{ lb}$$

Estabilidad real = 3 387,74 lb

Flujo (0,01") = 26

- Probeta 2:
 - Deformación = 20 = 0,02 in
 - Lectura dada por el dial= 246 unidades

Se utiliza la carga dada por el dial para determinar la carga según la tabla dada por Humboldt Mfg. Co. = 2 333,018868 lb (ver anexo 3).

$$Volumen = Peso\ seco\ saturado - peso\ sumergido$$

$$V = 1\ 232,40\ g - 697,63\ g = 534,77\ cm^3$$

En base al volumen de la probeta, se obtiene el factor de corrección según la tabla de corrección de valores de estabilidad Marshall (ver anexo 2).

$$Factor\ de\ corrección = 0,96$$

Multiplicando el factor de corrección por la carga calculada

$$2\ 333,018868 * 0,96 = 2\ 239,698113\ lb$$

Estabilidad real = 2 239,70 lb

Flujo (0,01") = 20

- Probeta 3:
 - Deformación = 20 = 0,02 in
 - Lectura dada por el dial = 288 unidades

Se utiliza la carga dada por el dial para determinar la carga según la tabla dada por Humboldt Mfg. Co. = 2 729,245283 lb (ver anexo 3).

$$Volumen = Peso\ seco\ saturado - peso\ sumergido$$

$$V = 1\ 249,66\ g - 711,45\ g = 538,21\ cm^3$$

Con base en el volumen de la probeta, se obtiene el factor de corrección según la tabla de corrección de valores de estabilidad Marshall (ver anexo 2).

$$\text{Factor de corrección} = 0,93$$

Multiplicando el factor de corrección por la carga calculada

$$2\,729,245283 * 0,93 = 2\,538,198113 \text{ lb}$$

Estabilidad real = 2 538,20 lb

Flujo (0,01") = 20

4.5.2.2. Ensayo densidad específica de Bulk (ASTM D 1188)

- Probeta 1
 - A = peso seco = 1 220,10 g
 - B = peso seco saturado = 1 224,36 g
 - C = peso sumergido = 705,55 g

$$Gmb = \frac{A}{(B - C)}$$

$$Gmb = \frac{1\,220,10}{(1\,224,36 - 705,55)} = 2,35 \%$$

- Probeta 2
 - A = peso seco = 1 229,41 g
 - B = peso seco saturado = 1 232,40 g
 - C = peso sumergido = 697,63 g

$$Gmb = \frac{A}{(B - C)}$$

$$Gmb = \frac{1\,229,41}{(1\,232,40 - 697,63)} = 2,98 \%$$

- Probeta 3

- A = peso seco = 1 243,27 g
- B = peso seco saturado = 1 249,66 g
- C = peso sumergido = 711,45 g

$$Gmb = \frac{A}{(B - C)}$$

$$Gmb = \frac{1\,243,27}{(1\,249,66 - 711,45)} = 2,31 \%$$

$$Gmb \text{ promedio} = \frac{2,35 + 2,98 + 2,31}{3} = 2,55 \%$$

4.5.2.3. Gravedad específica teórica máxima *rice* (ASTM D 2041)

- Probeta 1

- A = peso del material = 1 199,6 g
- D = peso picnómetro + agua = 7 380,2 g
- E = peso material + picnómetro + agua = 8 098,8 g

$$Gmm = \frac{A}{(A + D - E)}$$

$$Gmm = \frac{1\,199,6}{1\,199,6 + 7\,380,2 - 8\,098,8} = 2,49\%$$

- Probeta 2

- A = peso del material = 1 224,9 g
- D = peso picnómetro + agua = 7 380,1 g
- E = peso material + picnómetro + agua = 8 106,9 g

$$Gmm = \frac{A}{(A + D - E)}$$

$$Gmm = \frac{1\,224,9}{1\,224,9 + 7\,380,1 - 8\,106,9} = 2,46\%$$

- Probeta 3

- A = peso del material = 1 215,3 g
- D = peso picnómetro + agua = 7 380,5 g
- E = peso material + picnómetro + agua = 8 101,1 g

$$Gmm = \frac{A}{(A + D - E)}$$

$$Gmm = \frac{1\,215,3}{1\,215,3 + 7\,380,5 - 8\,101,1} = 2,46\%$$

$$Gmm \text{ promedio} = \frac{2,49 + 2,46 + 2,47}{3} = 2,47\%$$

4.5.2.4. Porcentaje de ligante asfáltico efectivo para ensayos de control de calidad (pbe)

- Probeta 1
 - Material con bitumen = 905,5 g
 - Material sin bitumen = 863,2 g

$$\text{filtro} = 12,65 - 10,95 = 1,7 \text{ g}$$

$$\% B = \frac{\text{material con bitumen} - (\text{material sin bitumen} + \text{filtro})}{\text{material con bitumen}} * 100$$

$$\% B = \frac{905,5 - (863,2 + 1,7)}{905,5} * 100 = 4,48 \%$$

- Probeta 2
 - Material con bitumen = 911,6 g
 - Material sin bitumen = 868,5 g

$$\text{filtro} = 12,5 - 10,95 = 1,55 \text{ g}$$

$$\% B = \frac{\text{material con bitumen} - (\text{material sin bitumen} + \text{filtro})}{\text{material con bitumen}} * 100$$

$$\% B = \frac{911,6 - (868,5 + 1,55)}{911,6} * 100 = 4,56 \%$$

- Probeta 3
 - Material con bitumen = 901,7 g
 - Material sin bitumen = 855,9 g

$$filtro = 12,25 - 10,94 = 1,31 \text{ g}$$

$$\% B = \frac{\text{material con bitumen} - (\text{material sin bitumen} + \text{filtro})}{\text{material con bitumen}} * 100$$

$$\% B = \frac{901,7 - (855,9 + 1,31)}{901,7} * 100 = 4,93 \%$$

4.5.2.5. Porcentaje de vacíos de aire en mezclas bituminosas, densas y abiertas

- Probeta 1
 - Gravedad específica *rice* (Gmm) = 2,49 %
 - Gravedad específica Bulk (Gmb) = 2,35 %

$$Va = \frac{(Gmm - Gmb)}{Gmm} * 100$$

$$Va = \frac{(2,49 - 2,35)}{2,49} = 5,70 \%$$

- Probeta 2
 - Gravedad específica *rice* (Gmm) = 2,46 %
 - Gravedad específica Bulk (Gmb) = 2,30 %

$$Va = \frac{(Gmm - Gmb)}{Gmm} * 100$$

$$Va = \frac{(2,46 - 2,30)}{2,46} = 6,51 \%$$

- Probeta 3
 - Gravedad específica *rice* (G_{mm}) = 2,46 %
 - Gravedad específica Bulk (G_{mb}) = 2,31 %

$$Va = \frac{(G_{mm} - G_{mb})}{G_{mm}} * 100$$

$$Va = \frac{(2,46 - 2,31)}{2,46} = 5,97 \%$$

4.5.2.6. Análisis granulométrico para pavimento de concreto asfáltico (ASTM D 3515)

Según el Manual de especificaciones generales para la construcción de carreteras y puentes los límites para la graduación de agregados para pavimento de concreto asfálticos, se marcan de acuerdo al agregado tipo D (tabla XXXIV).

Tabla XXXVIII. Graduación de agregados para pavimento de concreto asfáltico (ASTM D 3515)

Número de tamices	Porcentaje que pasa tipo D
3/4"	100 – 100
1/2"	90 – 100
3/8"	56 – 80
4	35 – 65
8	23 – 49
50	5 – 19
200	2 – 8

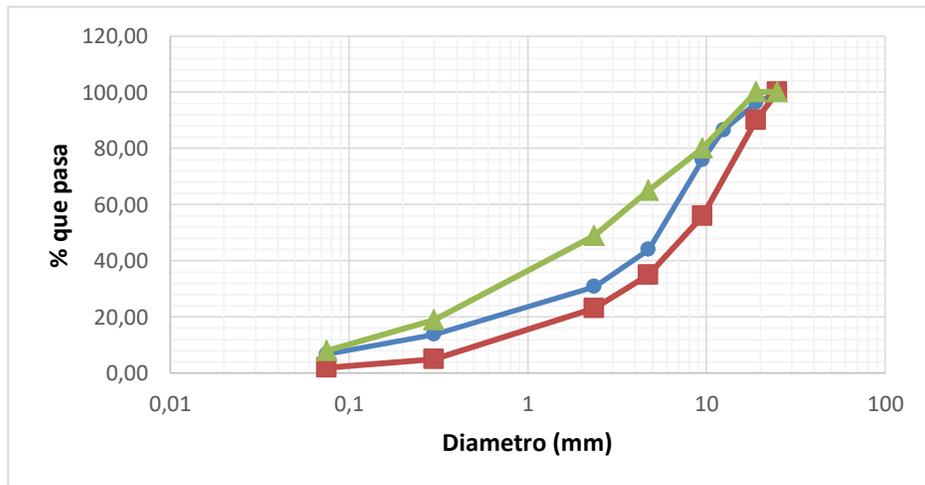
Fuente: CII, Facultad de Ingeniería, USAC.

Tabla XXXIX. **Resultados de la granulometría ensayada probeta 1**

tamiz	abertura mm	peso neto acumulado	Porcentaje que pasa
	25	809,28	100,00
3/4"	19	776,91	96,27
1/2"	12,5	692,83	86,57
3/8"	9,5	599,97	75,87
4"	4,75	323,54	43,99
8"	2,36	209,08	30,80
50"	0,3	61,13	13,74
200"	0,075	58,01	6,69

Fuente: CII, Facultad de Ingeniería, USAC.

Figura 74. **Gráfica de granulometría ensayada probeta 1 con límites extraídos de la sección 401 del Libro Azul y de norma (ASTM C – 33)**



	Límite superior
	gráfica de ensayo
	Límite inferior

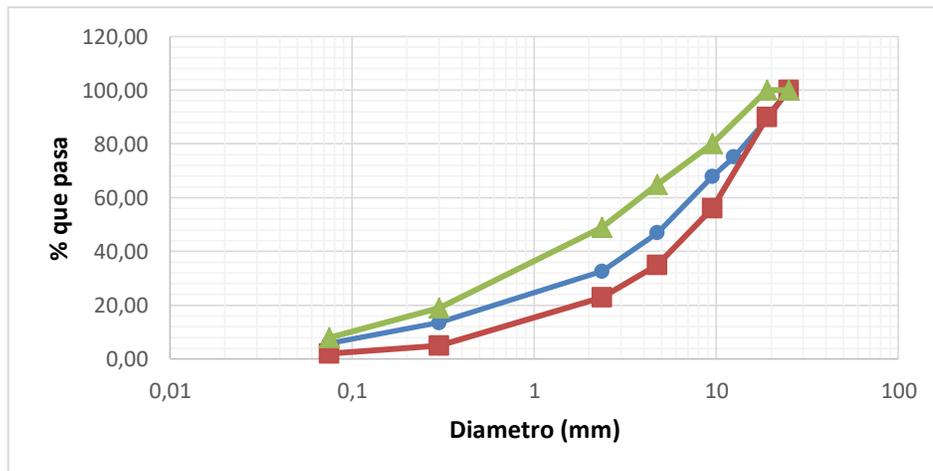
Fuente: CII, Facultad de Ingeniería, USAC.

Tabla XL. **Resultados de la granulometría ensayada probeta 2**

tamiz	abertura	peso neto acumulado	Porcentaje que pasa
	25	818	100,00
3/4"	19	723,7	89,14
1/2"	12,5	601,8	75,10
3/8"	9,5	538,6	67,82
4"	4,75	357	46,91
8"	2,36	232,8	32,60
50"	0,3	66,5	13,45
200"	0,075	50,3	5,79

Fuente: CII, Facultad de Ingeniería, USAC.

Figura 75. **Gráfica de granulometría ensayada probeta 2 con límites extraídos de la sección 401 del Libro Azul y de norma (ASTM C – 33)**



	Límite superior
	gráfica de ensayo
	Límite inferior

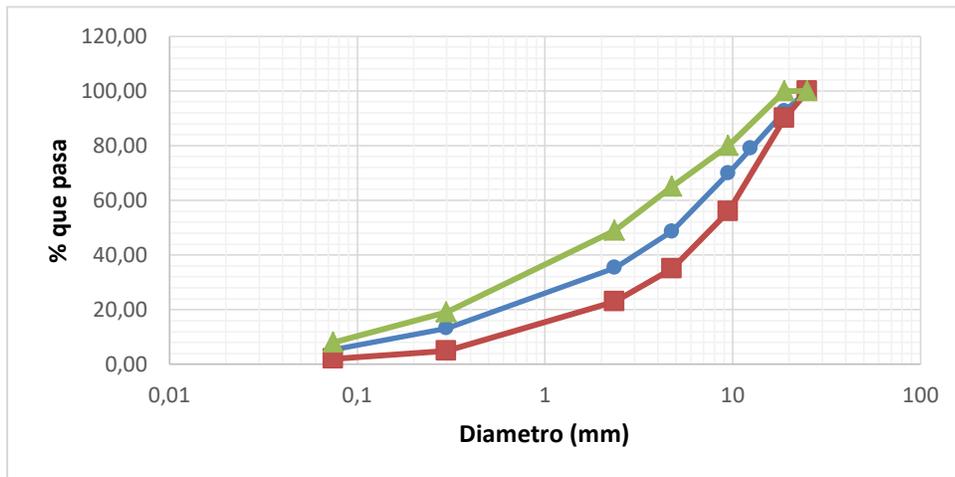
Fuente: CII, Facultad de Ingeniería, USAC.

Tabla XLI. **Resultados de la granulometría ensayada probeta 3**

tamiz	abertura	peso neto acumulado	Porcentaje que pasa
	25	809,19	100,00
3/4"	19	745,69	92,58
1/2"	12,5	628,92	78,95
3/8"	9,5	552,10	69,97
4"	4,75	369,10	48,60
8"	2,36	255,74	35,36
50"	0,3	66,50	13,26
200"	0,075	47,04	5,49

Fuente: CII, Facultad de Ingeniería, USAC.

Figura 76. **Gráfica de granulometría ensayada probeta 3 con límites extraídos de la sección 401 del Libro Azul y de norma (ASTM C – 33)**



	Límite superior
	gráfica de ensayo
	Límite inferior

Fuente: CII, Facultad de Ingeniería, USAC.

4.5.3. Cálculos utilizando las deflexiones obtenidas con la viga Benkelman

La capacidad estructural de un pavimento flexible utilizando la viga Benkelman puede ser obtenida a través de fórmulas que indiquen, no solo el estado actual de la carretera, sino también una estimación de la vida residual de un pavimento y diseño de las sobrecargas de refuerzos.

4.5.3.1. Procedimiento para obtener la deflexión representativa

La deflexión representativa se obtiene a través de la siguiente fórmula:

$$(X + 2S) fc$$

X = promedio de los valores individuales de las pruebas de deflexión y se obtiene de la siguiente forma:

$$X = \frac{10 + 10 + 9 + 12 + 9 + 10 + 5 + 10 + 14 + 13 + 5 + 11 + 5 + 10}{14} * 10^{-3}$$

$$X = 9,5 * 10^{-3}$$

S = desviación estándar de los valores tomados y se obtiene de la siguiente forma:

$$S = \sqrt{\frac{n (\sum X^2) - (\sum X)^2}{n (n - 1)}}$$

$$S = \sqrt{\frac{14 (1,367 * 10^{-3}) - 1,367 * 10^{-3}}{14 (14 - 1)}} = 9,8814 * 10^{-3}$$

F = factor de ajuste por temperatura. Considerando que la temperatura promedio en todo el ensayo fue de 47,4 °C se introduce este valor en la gráfica de la figura 30 y se determina que el factor de ajuste es 0,73

C = factor de ajuste por período crítico. Considerando que la naturaleza de la sub – rasante es un suelo arenoso y que el ensayo se realizó durante un período seco, se utiliza la tabla XIV y se determina que el factor de ajuste es 1,2

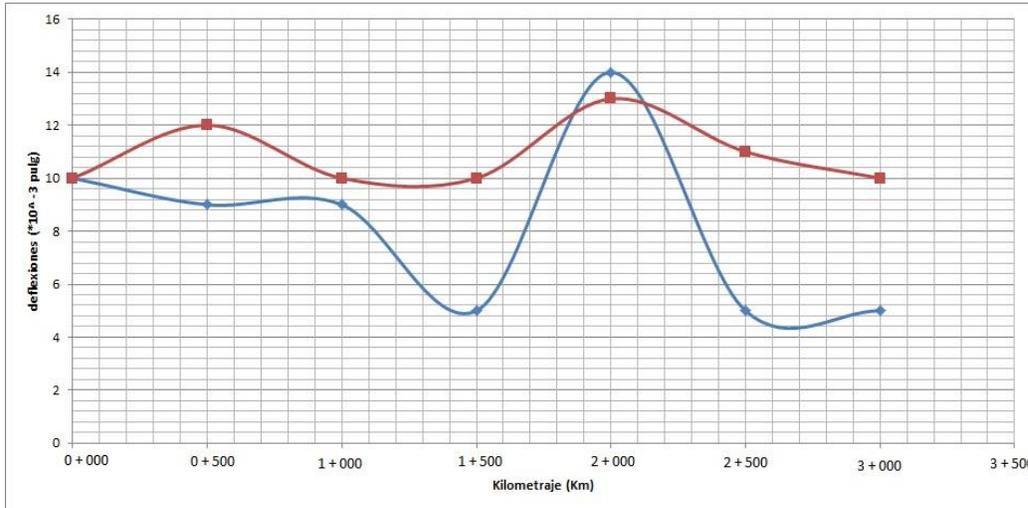
La deflexión representativa es:

$$(9,5 * 10^{-3} + 2(9,8814 * 10^{-3})) 0,73 * 1,2 = 0,02563 \text{ in}$$

4.5.3.2. Perfil longitudinal

A continuación se presentan las deflexiones puntuales de la rueda exterior y de la rueda interior representadas en una escala apropiada como perfil longitudinal de deflexión.

Figura 77. Perfil longitudinal del pavimento universitario



	Deflexiones interiores al eje del vehículo
	Deflexiones exteriores al eje del vehículo

Fuente: elaboración propia

4.5.3.3. Cálculo del número de diseño de tráfico (DTN)

El número de diseño de tráfico es el promedio diario de cargas equivalentes de 8,2 T, dispuestas en un eje sencillo, que se esperan durante el período de diseño de la obra. El procedimiento para obtener este dato, comienza utilizando la siguiente fórmula:

$$N = TPDA * \frac{A}{100} * \frac{B}{100}$$

El TPDA utilizado en este caso, será el dato proporcionado por la Unidad de Parqueos de la Universidad. El valor obtenido es de 25 000 vehículos. La variable A representa el porcentaje de camiones pesados en dos direcciones. Utilizando la gráfica de la figura 53, se puede determinar que el porcentaje de camiones en la universidad es de un 0,1 %. La variable B representa el porcentaje de camiones pesados en el carril de diseño, y se obtiene utilizando la tabla XV. Considerando que el número total de carriles en la carretera es de 2, entonces se utilizará un valor del 50%. Se introducen los datos a la fórmula de la siguiente forma:

$$N = 25\ 000 * \frac{0,1}{100} * \frac{50}{100} = 12,5$$

El siguiente paso es calcular el peso promedio de los vehículos pesados usando la tabla XVI, en donde se determina que el peso se ubica en el rango (15 – 25) (1 000 lb). Considerando que en el perímetro universitario ingresan pocos camiones, se tomará el valor de 15 000 lb.

El siguiente paso en el procedimiento es calcular el Número de Tránsito Inicial (NTI) haciendo uso del monograma que aparece en la figura 31. Este diagrama consta de cuatro ejes representados por las primeras letras del abecedario. Se comienza por ubicar el valor en el eje D que indica el peso promedio de la carga de los camiones pesados (15 000 lb). Este punto se une con el número de camiones pesados en el carril de diseño ubicado en el eje C (12,5). La línea se prolonga hasta cortar el eje B. Posteriormente se ubica el límite de carga legal para eje sencillo en el eje E. En Guatemala este valor es de 9,02 T. El punto se une con el valor encontrado en el eje B y luego se prolonga la línea anterior sobre el eje A para obtener el valor del NTI. Al aplicar este procedimiento en el monograma se determinó que el NTI tiene un valor de 3, representativo a un tráfico liviano.

Para poder encontrar el número de diseño de tráfico (DTN) se deberá proceder a utilizar la tabla XVII, en donde se considera un período de diseño de pavimento de 10 años, que es la vida útil de cualquier capa de rodadura asfáltica y una tasa de crecimiento anual de tránsito del 8 % según la Unidad de Parqueos USAC. Al introducir estos datos a la tabla se obtiene un factor de ajuste de 0,72. Para obtener el DTN, se multiplica el factor de ajuste por el (NTI) de la siguiente forma:

$$DTN = 3 * 0,72 = 2,16$$

4.5.3.4. Cálculo de la deflexión admisible y espesor de recapeo con concreto asfáltico

Para obtener la deflexión admisible se requiere el número de diseño de tráfico (DTN) para introducirlo a la gráfica de la figura 32 y de esta forma obtener el valor en mm o en pulgadas. Considerando un DTN de 2,16 se tiene una deflexión admisible de 0,1 in. Para poder conocer el espesor de recapeo requerido para reducir la deflexión del pavimento se utiliza la deflexión representativa de 0,02563 in y se introduce en la gráfica de la figura 33. Considerando que el DTN obtenido es menor a 5 y la deflexión representativa también tiene un bajo valor, la gráfica indica que no se requiere realizar un recapeo al pavimento.

5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

No se tiene información relacionado con el diseño original del pavimento en términos de características y propiedades de subrasante, subbase, base y carpeta de rodadura que permita comparar los resultados obtenidos en este trabajo con lo establecido en el diseño original.

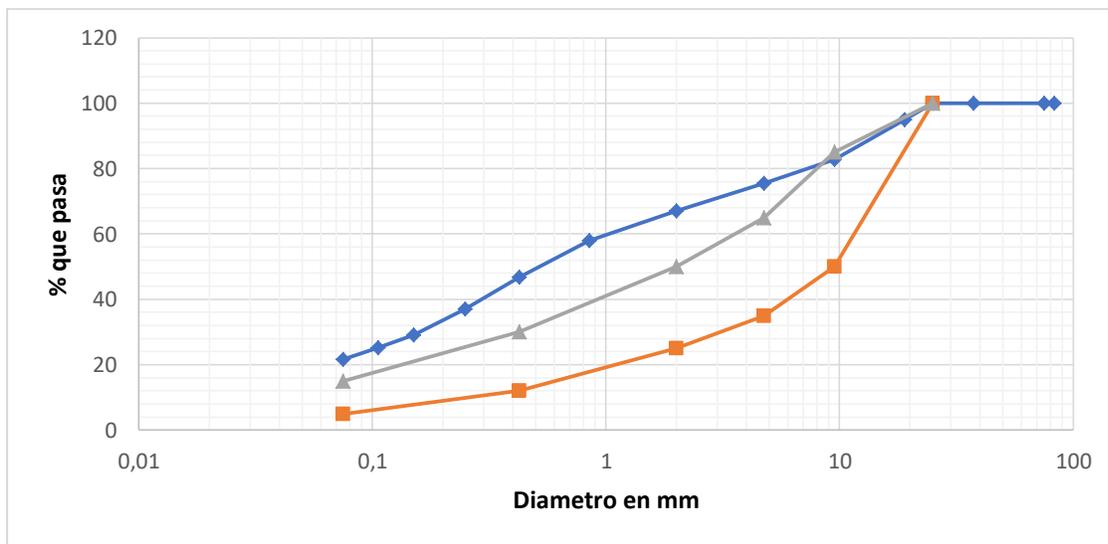
Habiendo obtenido los resultados finales de los ensayos realizados a la base, subbase y carpeta asfáltica del pavimento, se procede a comparar estos valores con los rangos aceptables que se manejan en Guatemala, y así poder determinar el estado del pavimento y la clase de mantenimiento que se le debe dar para incrementar su período de vida útil.

5.1. Ensayos realizados a la base y subbase

Con base a los resultados obtenidos en el capítulo anterior, se procede a hacer el análisis correspondiente de cada prueba, usando como base el Manual de especificaciones generales para la construcción de carreteras y puentes.

5.1.1. Análisis granulométrico con tamices y lavado previo (ASTM 6913 – 04)

Figura 78. Gráfica de análisis granulométrico de la subbase del pozo 1 con límites extraídos de la sección 304 del Libro Azul y norma (ASTM C 33)



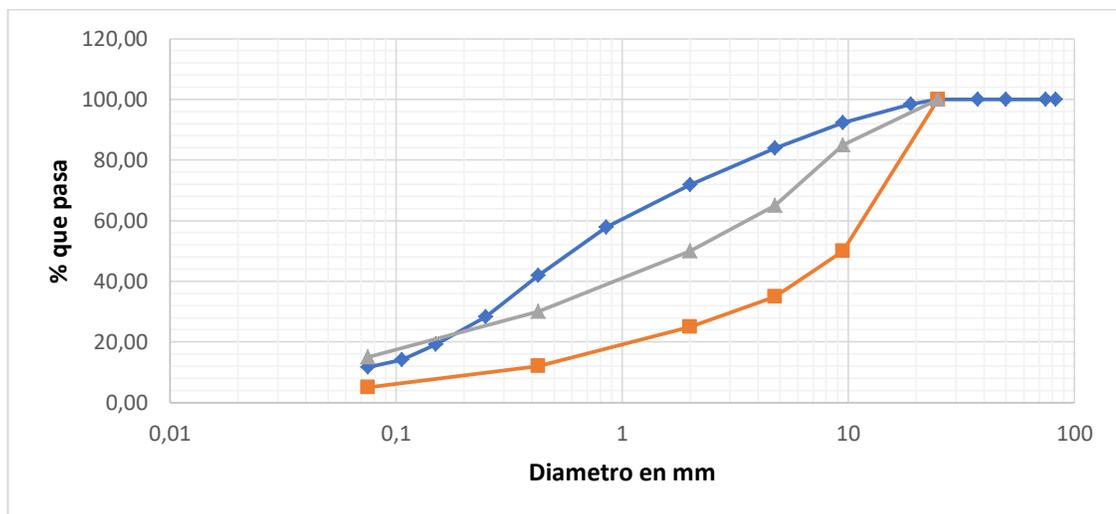
	Límite superior
	gráfica de ensayo
	Límite inferior

Fuente: elaboración propia.

La gráfica de la subbase no cumple con los límites especificados en la Dirección General de Caminos para una subbase granular debido a que se encuentra por encima del límite superior, lo cual muestra una granulometría muy fina. Sin embargo, los resultados sí cumplen con los requerimientos de una subbase común. Las especificaciones indican que el material no debe tener más del 50 % en peso de partículas que pasen por el tamiz núm. 40. En el caso

de la subbase en estudio, se tiene un valor de 46,85 % de material que pasa este tamiz. Así mismo, se requiere menos del 25 % en peso de partículas que pasen el tamiz núm. 200. En la tabla XXVI se puede observar que el porcentaje de material que pasa es de un 21,64 %. El comportamiento descrito de la muestra del pozo 1 es similar para las otras dos subbases por lo que estas muestras también entran en la clasificación de una subbase común.

Figura 79. **Gráfica de análisis granulométrico de la base del pozo 1 con límites extraídos de la sección 304 del Libro Azul**



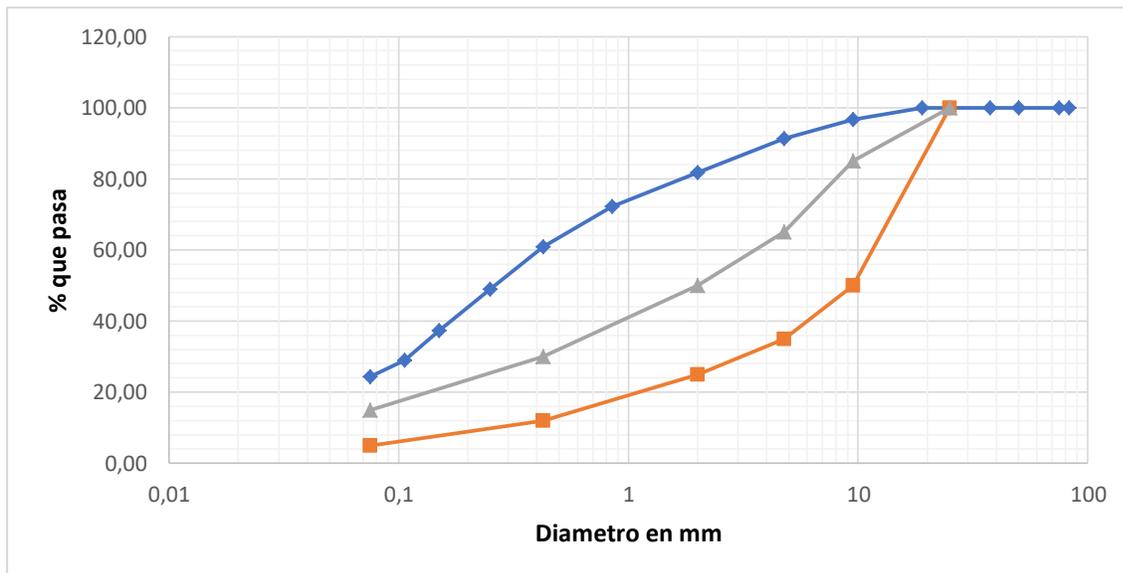
	Límite superior
	gráfica de ensayo
	Límite inferior

Fuente: elaboración propia.

Las gráficas de las bases de los tres pozos tampoco cumplen con los límites especificados para una base granular, debido a que se encuentran por encima del límite superior. Aunque la granulometría de las bases sea demasiada fina para considerarse una base granular, no se considera que

tenga presencia de arcilla, o un exceso de limos debido a que las tres bases tienen un alto porcentaje de arena comparado con el porcentaje de grava y de finos. Esta característica hace que la subbase y las bases tengan el material adecuado para soportar las cargas que vengan de la carpeta de rodadura debido a la ausencia de materia orgánica y de plasticidad.

Figura 80. **Gráfica de análisis granulométrico de la base del pozo 2 con límites extraídos de la sección 304 del Libro Azul**



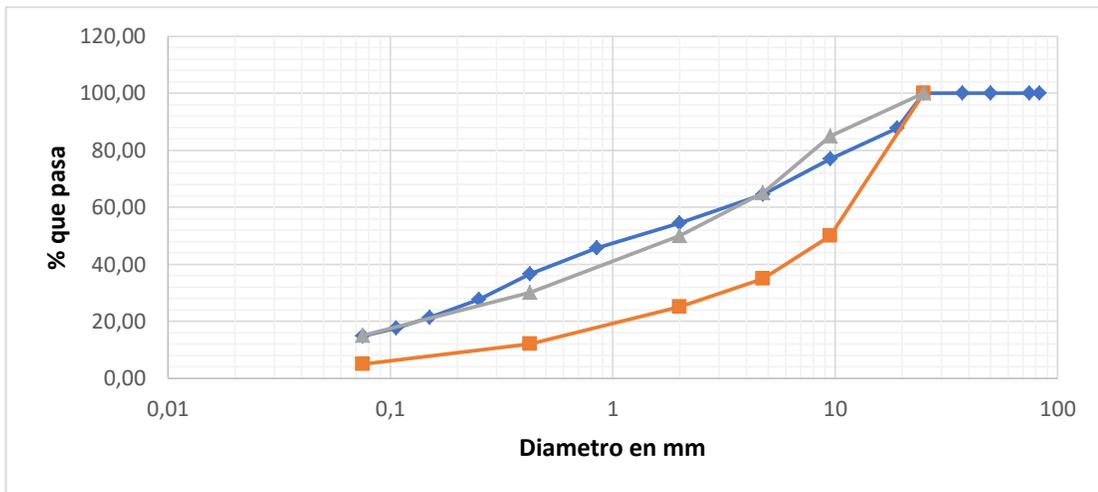
	Límite superior
	gráfica de ensayo
	Límite inferior

Fuente: elaboración propia.

En las gráficas de los bases puede observarse que es la granulometría del pozo 3 la que se considera menos fina, al estar más cerca del límite superior. Esto es consistente con un porcentaje de finos para el pozo 3 del 14,77 %. Por otro lado es la granulometría del pozo 2 la que se considera más fina por estar

mucho más arriba del límite superior. Este pozo tiene un porcentaje de finos del 24,28 %.

Figura 81. **Gráfica de análisis granulométrico de la base del pozo 3 con límites extraídos de la sección 304 del Libro Azul**



	Límite superior
	gráfica de ensayo
	Límite inferior

Fuente: Elaboración propia.

5.1.2. Equivalente de arena (AASHTO T 176)

Con base en los resultados obtenidos mediante los cálculos se determinó que el valor del equivalente de arena para la subbase del pozo 1 y las bases de los tres pozos son los siguientes (tabla XXXVIII).

Tabla XLII. **Equivalente de arena de los tres pozos**

Material	E.A. según Libro Azul	Equivalente de arena encontrado	Variación	
			Absoluta	Relativa (%)
Subbase del pozo 1	25	54,5	29,5	118
Subbase del pozo 2	25	58,2	33,2	132,8
Subbase del pozo 3	25	56,2	31,2	124,8
Promedio de subbases	25	56,3	31,3	125,2
Base del pozo 1	30	60,5	30,5	101,67
Base del pozo 2	30	50,0	20	66,67
Base del pozo 3	30	73,7	43,7	145,66
Promedio de bases	30	61,4	31,4	104,47

Fuente: elaboración propia.

El manual de especificaciones generales para la construcción de carreteras y puentes de la Dirección General de Caminos tiene como requisito que para la construcción de la subbase común el valor de equivalente de arena debe ser de 25 y para la base y subbase granular debe ser mayor de 30. Por consiguiente, el material proveniente de los tres pozos cumple con las especificaciones mínimas de equivalente de arena.

Entre mayor sea el valor de equivalente de arena, el contenido de finos de la muestra es menor, y viceversa, por lo tanto, es más recomendable usar material con la menor cantidad de finos posible, es decir que tenga el mayor valor de equivalente de arena. En el caso de las muestras ensayadas, la base del pozo 3 tiene un valor de equivalente de arena mucho mayor que el resto de las muestras, por consiguiente, tiene una resistencia mayor y permeabilidad menor que los otros pozos.

5.1.3. Ensayo de compactación Proctor modificado (AASHTO T 180)

Luego de hacer los cálculos para el ensayo de compactación, se obtuvo los siguientes resultados (tabla XLIII):

Tabla XLIII. **Densidad seca máxima y humedad óptima de las muestras de suelo**

Muestra de suelo	Densidad seca máxima (lb/pie³)	Humedad óptima (%)
Subbase del pozo 1	117	11,6
Subbase del pozo 2	116,50	12,40
Subbase del pozo 3	115,70	12,00
Promedio subbases	116,4	12,00
Base del pozo 1	101,7	10
Base del pozo 2	115,23	12,52
Base del pozo 3	90,07	20,45
Promedio de las bases	102,33	14,32

Fuente: elaboración propia.

Los resultados que se obtienen a través del ensayo sirven para medir el grado de compactación de un material. Al obtener una densidad seca máxima, se requiere un porcentaje de humedad que sea lo suficientemente alto como para que no se de una fricción intergranular entre las partículas y lo suficientemente bajo como para que el agua no llene los vacíos que podrían ser ocupados por partículas. Por lo tanto, existe un contenido de humedad óptima con el que se obtiene el máximo peso volumétrico.

Con la compactación se varía la estructura del suelo y algunas de sus características mecánicas. Algunas de las características que varían con la compactación son: aumento de la resistencia al corte, disminución de la

compresibilidad para reducir asentamientos, disminución de la relación de vacíos para reducir la permeabilidad y reducción del potencial de expansión o contracción.

Los valores de humedad óptima para los tres pozos se establecen en un rango de entre 10 % y 13 %, sin embargo, la base del pozo 3 tiene un valor del 20,45 % lo que indica que se requiere de una mayor cantidad de agua para tener una buena lubricación de las partículas. Esto puede deberse a una mayor presencia de limos en esa muestra que en los otros pozos.

5.1.4. Ensayo de razón soporte California (CBR) (AASHTO T 193)

A continuación se presenta el porcentaje de CBR efectuado sobre las muestras saturadas a 95 % de compactación, tal como lo indica la norma AASHTO T 180. Estos valores se obtienen de las gráficas de las figuras 68 a la 73 (tabla XLIV).

Tabla XLIV. **Porcentaje de CBR a 95 % de compactación**

Muestra	CBR (%)
Subbase del pozo 1	37
Subbase del pozo 2	42
Subbase del pozo 3	40
Promedio de subbases	39,66
Base del pozo 1	31
Base del pozo 2	34
Base del pozo 3	42
Promedio de las bases	35,67

Fuente: elaboración propia.

La Dirección General de Caminos indica que para una subbase común se requiere un CBR mínimo del 30 %. Sin embargo, para una subbase granular se requiere un CBR mínimo del 40 % y para una base granular el CBR debe ser al menos del 70 %. Los resultados obtenidos indican que el valor de CBR promedio de 39,66 % de la subbase de los tres pozos cumple los requisitos para una subbase común, y para una subbase granular. No obstante, los resultados de CBR para la base de los tres pozos no cumplen los requerimientos para una base granular. Esto puede ser un indicativo de que las bases ensayadas no tienen una capacidad de soporte lo suficientemente alta como para integrar las capas de un pavimento.

5.1.5. Ensayo de límites de Atterberg (AASHTO T 89 Y T 90)

Ninguna de las muestras de suelo que se ensayaron en el laboratorio presentó valor alguno en el ensayo de límite líquido, ni en el ensayo de límite plástico. Esto cumple con el requerimiento de la Dirección General de Caminos, en el cual no se permite un índice de plasticidad mayor de 6 para base y subbase granular, así como tampoco se acepta un límite líquido mayor de 25.

La ausencia de plasticidad en las muestras de suelo se debe a la nula presencia de arcilla en las capas del pavimento. La arcilla se caracteriza por mantener un volumen constante, por el contrario, el volumen de una arena cambia continuamente. Si se intenta deformar una masa de arena húmeda rápidamente, ésta se desagrega debido a que la arena es friable. Por tal razón, fue imposible continuar con los ensayos de plasticidad en las muestras de suelo.

La ausencia de plasticidad en las capas del pavimento indica que el suelo es capaz de presentar una baja o nula compresibilidad y asentamientos. Por

consiguiente, se considera adecuado para utilizar como una base y una sub base.

5.2. Ensayos realizados a la carpeta de mezcla asfáltica

Con base en los resultados obtenidos en el capítulo anterior, se procede a hacer el análisis correspondiente de cada prueba realizada basado en los requerimientos de la sección 400 del Manual de especificaciones generales para la construcción de carreteras y puentes de la Dirección General de Caminos.

5.2.1. Ensayo de estabilidad y flujo Marshall (ASTM D 1559)

A continuación se presentan los valores de estabilidad y flujo de las tres briquetas ensayadas en el laboratorio (tabla XLV).

Tabla XLV. **Valores de estabilidad y flujo de las briquetas ensayadas**

Probeta	Estabilidad (lb)	Flujo (0,01")
Núcleo 1	3 387,74	26
Núcleo 2	2 239,70	20
Núcleo 3	2 538,20	20
Promedio de núcleos	2 721,88	22

Fuente: elaboración propia.

La Dirección General de Caminos especifica que se requiere una estabilidad mayor de 1 200 lb así como un flujo que esté dentro del rango de 8 a 16 (0,01 in). Los valores de estabilidad de las probetas ensayadas cumplen con los requerimientos debido a que los tres valores se encuentran por encima de 1 200 lb. Esto indica que la mezcla asfáltica tiene una alta resistencia a la deformación. Sin embargo, los valores de flujo obtenidos de los ensayos se

encuentran por encima del límite máximo requerido. Un alto valor de flujo indica que el pavimento tiene tendencia a deformarse fácilmente bajo las cargas del tránsito. Sin embargo, considerando que la evaluación es para un pavimento viejo, es normal que los valores no cumplan a la totalidad los rangos especificados por la Dirección General de Caminos.

Considerando que los valores de flujo no son extremadamente altos y que la estabilidad se encuentra muy por encima del requisito mínimo, se considera que el pavimento tiene una resistencia adecuada a la deformación producida por el tránsito. Esto puede verificarse al hacer la relación estabilidad/fluencia. Las especificaciones requieren que esta relación esté entre 120 y 275 (lb/0,01in). Los valores obtenidos al dividir estabilidad y flujo en las tres probetas si se encuentran dentro del rango aceptable.

5.2.2. Gravedad específica Bulk de briquetas (ASTM D 1188)

Considerando que las probetas fueron compactadas en laboratorio a 75 golpes por cara con una temperatura de 140 °C, se tienen los resultados del ensayo de gravedad específica Bulk. (tabla XLVI).

Tabla XLVI. **Gravedad específica Bulk de los núcleos ensayados**

Probeta	Gravedad específica
Núcleo 1	2,351
Núcleo 2	2,298
Núcleo 3	2,310
Promedio de los núcleos	2,32

Fuente: elaboración propia.

Este ensayo no se utiliza para hacer un análisis directo de la calidad del pavimento. Sin embargo, los resultados obtenidos son de interés para poder determinar el porcentaje de vacíos en la mezcla asfáltica.

5.2.3. Gravedad específica teórica máxima *rice* (ASTM D 2041)

La gravedad específica teórica máxima es una propiedad fundamental cuyos valores están influenciados por la composición de la mezcla en términos de tipo y monto de agregado y materiales bituminosos. A continuación se presentan los resultados obtenidos de este ensayo (tabla XLVII).

Tabla XLVII. **Gravedad específica teórica máxima *rice* de los núcleos ensayados**

Probeta	GMM
Núcleo 1	2,4940
Núcleo 2	2,4590
Núcleo 3	2,4570
Promedio de los núcleos	2,47

Fuente: elaboración propia.

Al igual que el ensayo de gravedad específica Bulk, este ensayo tampoco se utiliza para hacer un análisis directo de la calidad del pavimento. Sin embargo, los resultados de ambos ensayos son usados en el cálculo de vacíos de aire de mezclas bituminosas de pavimentación compactadas.

5.2.4. Porcentaje de ligante asfáltico efectivo para ensayos de control de calidad.

Se presentan los resultados del ensayo para determinar el contenido de bitumen que tiene la mezcla asfáltica (tabla XLVIII).

Tabla XLVIII. **Porcentaje de bitumen de las probetas ensayadas**

Probeta	Contenido de bitumen (%)
Núcleo 1	4,48
Núcleo 2	4,56
Núcleo 3	4,93
Promedio de los núcleos	4,66

Fuente: elaboración propia.

La cantidad de ligante asfáltico de una carretera se puede diseñar de forma preliminar con el diseño de mezclas Marshall. En el ensayo, se realizan probetas con diferentes porcentajes de bitumen para determinar el contenido de ligante con el cual se optimizan las propiedades de la mezcla asfáltica. Estos valores suelen estar en un rango aproximado del 4 % al 6 % en laboratorio.

El ensayo realizado para determinar el porcentaje de ligante asfáltico en el bulevar universitario indica el contenido de bitumen aproximado que se utilizó para el diseño de la carretera y que continúa actualmente. Un valor menor a estos porcentajes provocaría una segregación del agregado. Así mismo, elevados contenidos de asfalto producen mezclas con un bajo contenido de vacíos y como consecuencia un incremento potencial a la deformación plástica de la mezcla, sin mencionar, el efecto antieconómico por provocar una inversión muy alta.

Debido a la estrecha relación que existe entre el contenido de vacíos y el contenido de bitumen de una mezcla, se debe verificar que el porcentaje de vacíos se encuentre dentro del rango aceptable, para aprobar la cantidad de ligante obtenido de los ensayos. Para esto es importante considerar que al ser un pavimento viejo, el porcentaje de vacíos suele ser más bajo que el porcentaje utilizado para el diseño de la carretera, y que el rango propuesto por la Dirección General de Caminos.

5.2.5. Porcentaje de vacíos de aire en mezclas bituminosas, densas y abiertas

Luego de utilizar los valores de gravedad específica Bulk y gravedad específica teórica máxima rice para obtener el porcentaje de vacíos de la muestra, se tienen los siguientes resultados (tabla XLIX).

Tabla XLIX. Porcentaje de vacíos de las probetas ensayadas

Probeta	Porcentaje de vacíos (%)
Núcleo 1	5,70
Núcleo 2	6,51
Núcleo 3	5,97
Promedio de los núcleos	6,06

Fuente: elaboración propia.

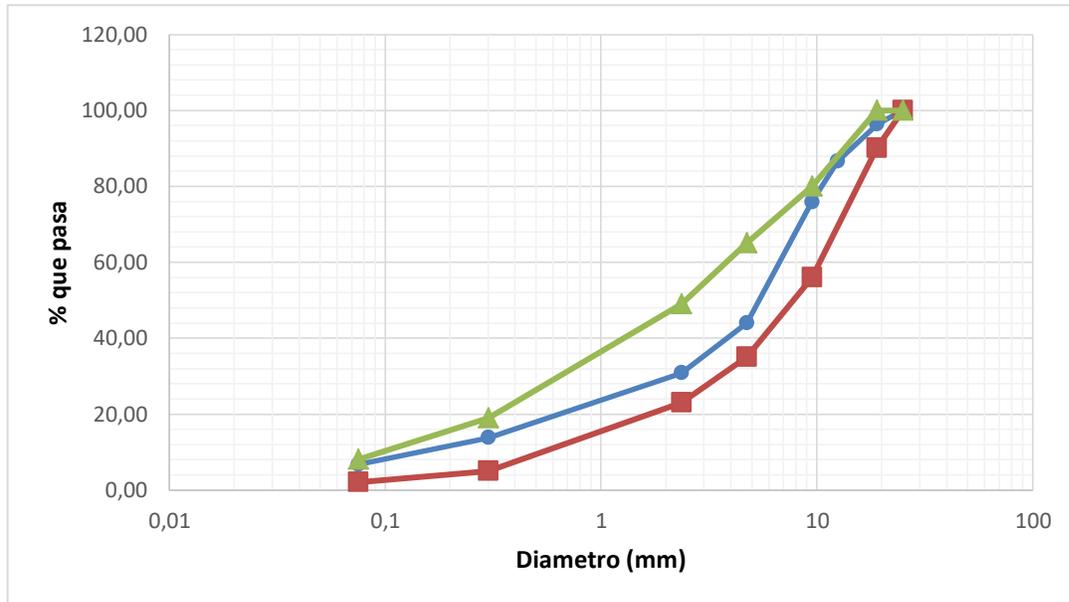
El contenido de vacíos está conformado por el aire atrapado en la mezcla compactada. A menor porcentaje de vacíos de aire, la mezcla será menos permeable. La Dirección General de Caminos especifica que para mezclas convencionales los vacíos de aire deben estar entre un 3 % a un 5 % en laboratorio. Esto indicaría que el contenido de vacíos obtenido del ensayo es un

poco más alto del límite máximo aceptable. Sin embargo, En campo se permite tener un porcentaje de vacíos no mayor al 8 % aceptando que la carpeta se compacte bajo tránsito. Por consiguiente, el contenido de vacíos obtenido de las tres probetas se considera aceptable pues su valor no se considera lo suficientemente alto como para que resulte en una mezcla porosa que permita el paso del agua a través de la estructura.

5.2.6. Análisis granulométrico para pavimento de concreto asfáltico (ASTM D 3515)

En las gráficas se puede observar que se cumplen los límites establecidos por la Dirección General de Caminos para un agregado tipo D. Por consiguiente, la granulometría de las tres probetas se considera adecuada para la mezcla asfáltica del pavimento puesto que no es tan gruesa como para que el material quede muy suelto, perdiendo cohesión, así como tampoco es tan fina como para que se reduzca la cantidad de vacíos y provoque una exudación. Las gráficas granulométricas del capítulo anterior muestran que las tres probetas tienen un comportamiento bastante similar entre sí, por consiguiente, en este análisis solo se muestra la gráfica de la probeta 1.

Figura 82. **Gráfica de granulometría de la probeta 1 con límites extraídos de la sección 401 del Libro Azul y de norma (ASTM C 33)**



	Límite superior
	gráfica de ensayo
	Límite inferior

Fuente: elaboración propia.

5.3. Deflexiones obtenidas a través de la viga Benkelman

Al tomar las deflexiones con la viga Benkelman, se obtuvo una deflexión representativa de 0,02563 in la cual es menor a la deflexión admisible de 0,1 in. Considerando que se tiene un tráfico de 25 000 vehículos diarios y un crecimiento anual del 8 % para diez años, se obtiene un DTN de 2,16. Tomando en cuenta que este valor es bastante bajo, al igual que la deflexión representativa, la gráfica de la figura 32 indica que no es necesario realizar un

reapeo de concreto asfáltico. Esto se debe a que en el 2012 el pavimento del bulevar universitario pasó por un proceso de rehabilitación en el que se utilizó una estabilizadora de suelos.

CONCLUSIONES

1. El pavimento asfáltico de la Universidad es funcional y no muestra un deterioro significativo en ninguna de las capas que lo conforman.
2. No se tiene información relacionada con el diseño original del pavimento en términos de características y propiedades de subrasante, subbase, base y carpeta de rodadura que permita comparar los resultados obtenidos en este trabajo con lo establecido en el diseño original.
3. La inspección visual realizada en el boulevard universitario dio como resultado la existencia de tres tipos de fallas: un bache, una grieta de borde y una grieta longitudinal. Las fallas fueron provocadas respectivamente por: la quema de elementos sobre el asfalto, la falta de confinamiento lateral en el pavimento y la existencia de esfuerzos a tensión que superan la resistencia del material afectado. Es de añadir que el crecimiento poblacional en la universidad también es un factor que contribuye al rápido envejecimiento del asfalto.
4. La subbase del pavimento asfáltico está construida de arena con grava y limo color café, la cual se encuentra en buen estado. Su granulometría muestra ser demasiada fina como para considerarse una subbase granular. No obstante, sí cumple con los límites para considerarse una subbase común.
5. La base del pavimento asfáltico está construida de arena limosa con presencia de grava color café, a excepción del pozo 1, en donde se

encontró una mayor presencia de grava color gris oscura. La base no se considera granular, debido a que su granulometría muestra ser demasiada fina para entrar en esta clasificación.

6. El valor promedio de CBR para las bases es de un 35 % y no cumple con el mínimo de 70 % especificado por la Dirección General de Caminos para una base granular. Esto indica que las bases ensayadas no tienen una capacidad de soporte lo suficientemente alta como para integrar las capas de un pavimento. Por el contrario, el valor de CBR para las sub-bases de 39,66 % sí se acerca al mínimo de 40 % que especifica el Libro Azul.
7. El material utilizado para subbase no califica para ser utilizado como una base debido a que su granulometría muestra ser demasiada fina para considerarse una base granular. Así mismo, los valores de CBR promedio de 39,66 % se encuentran por debajo del límite mínimo de 70 % que especifica el Libro Azul.
8. La falta de límites líquidos y plásticos en ambas capas indica la ausencia de plasticidad en el suelo, debido a la nula presencia de arcilla en las muestras. Por lo tanto, el suelo es capaz de presentar una baja compresibilidad, lo cual se considera adecuado debido a que se reducen los asentamientos.
9. La carpeta de rodadura tiene un espesor promedio de 6,5 cm el cual se considera aceptable según la norma ASTM D 1559. El valor de estabilidad promedio de los núcleos es de 2 721,88 lb y se considera aceptable al superar el mínimo de 1 200 lb especificado por la Dirección

General de Caminos. Por consiguiente, la carpeta de rodadura tiene una alta resistencia a la deformación.

10. El valor promedio de flujo de los núcleos es de 22 y supera el máximo aceptable de 16. Un alto valor de flujo indica que el pavimento tiene tendencia a deformarse fácilmente bajo las cargas del tránsito. Sin embargo, considerando que los valores de estabilidad fueron aceptables, los altos valores de flujo en los núcleos sugieren el uso de un bitumen modificado en la construcción del pavimento para mejorar sus propiedades mecánicas.
11. El porcentaje promedio de vacíos de la mezcla es de 6,06 %. Este valor tiende a ser cada vez menor debido al envejecimiento del asfalto provocando que la mezcla sea menos permeable. Sin embargo, el porcentaje actual se considera aceptable puesto que no supera el máximo de 8 % utilizado normalmente en campo, y tampoco es menor al límite inferior de 3 % que se usa en laboratorio.
12. Al realizar el ensayo de la viga Benkelman en el boulevard universitario se determinó que la deflexión representativa de 0,02563 pulgadas es menor a la deflexión admisible de 0,1 pulgadas. Por consiguiente, al tener un DTN de 2,16 se determinó que el pavimento se encuentra en buen estado y no se requiere realizar ningún trabajo de recapeo.
13. El pavimento de la universidad no muestra un deterioro significativo debido a que el tráfico que circula por el boulevard no es pesado y por consiguiente, la carretera recibe únicamente cargas livianas que no comprometen la resistencia estructural de la misma.

RECOMENDACIONES

1. La evaluación física, mecánica y estructural realizada en el pavimento universitario debe realizarse de forma periódica, adquiriendo la experiencia e información cuantitativa necesaria para que el pavimento desempeñe un buen funcionamiento.
2. La revisión constante del pavimento universitario debe realizarse según los procedimientos normalmente aceptados por la Dirección General de Caminos con el propósito de encontrar el surgimiento de fallas nuevas en el área que requieran acciones de mantenimiento preventivas o correctivas, según sea el caso.
3. Realizar un sellado de grietas para las fisuras longitudinales y de borde encontradas en el pavimento asfáltico y realizar un bacheo superficial para el hueco localizado a la entrada de la universidad, por el lado del Anillo Periférico.
4. El ensayo de la viga Benkelman debería ser adoptado a nivel nacional para el estudio y mantenimiento de las carreteras de Guatemala, ya que actualmente, es un ensayo poco utilizado por las empresas constructoras y lo hacen tratando de adaptar las normas norteamericanas a las carreteras guatemaltecas, sin un estudio previo de adaptación.

BIBLIOGRAFÍA

1. American Association of State Highways and Transportation Officials. *AASHTO T 180, AASHTO T 193, AASHTO T 89, AASHTO T 90, AASHTO T 176, AASHTO T 256*. EE.UU.: AASHTO, 2013. 1 600 p.
2. American Society for Testing and Materials. Petroleum, products, lubricants and fossil fuels. *ASTM D 6913, ASTM D 3515, ASTM D 1188, ASTM D 2041, ASTM D 1559*. EE.UU.: ASTM, 2006. 1 419 p.
3. Dirección General de Caminos. *Especificaciones generales para la construcción de carreteras y puentes*. Guatemala: Cámara Guatemalteca de la Construcción, 2000. 724 p.
4. Estabilidad Marshall. *Construction testing equipment*. EE.UU.: Humboldt Mfg. Co., 2008. 304 p.
5. FIGUEROA GÁLVEZ, José. *Vialidad y estacionamientos en la Ciudad Universitaria de la Universidad de San Carlos de Guatemala*. Trabajo de graduación de Arq. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Arquitectura, 2006. 118 p.
6. GALINDO GÓMEZ, Oscar Gabriel. *La Viga Benkelman*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 1986. 81 p.

7. HOFFMAN, Mario S. *Estudios de evaluación estructural de pavimentos basados en la interpretación de curvas de deflexiones*. Israel: Transportation Research Institute, 1985. 35 p.
8. LEPE MONTERROSO, Luis Felipe. *Manual del estudiante*. Guatemala: Departamento de Artes Gráficas y Reproducción de Materiales USAC, 2012. 198 p.
9. MORALES ROSALES, Carlos Arnoldo. *Control de calidad en la evaluación de pavimentos asfálticos existentes*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2007. 105 p.
10. REYNA MÉNDEZ. Jesús Roberto. *Programa de responsabilidad social y ambiental para la Universidad de San Carlos de Guatemala*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2014. 100 p.

APÉNDICES

Apéndice 1. **Ensayo de estabilidad y fluencia en la probeta 1**



Fuente: CII, Facultad de Ingeniería, USAC.

Apéndice 2. **Extracción de la subbase de pozo 1 ubicado frente al CII**



Fuente: pavimento universitario, USAC.

Apéndice 3. **Extracción de la subbase del pozo 2 ubicado a inmediaciones del edificio S-11**



Fuente: pavimento universitario, USAC.

Apéndice 4. **Extracción de la subbase del pozo 3 ubicado cerca del estadio Revolución**



Fuente: pavimento universitario, USAC.

Apéndice 5. Extracción de la base del pozo 1 ubicado frente al CII



Fuente: pavimento universitario, USAC

Apéndice 6. Extracción de la base del pozo 2 ubicado a inmediaciones del edificio S-11



Fuente: pavimento universitario, USAC.

Apéndice 7. **Extracción de la base del pozo 3 ubicado cerca del estadio Revolución**



Fuente: pavimento universitario, USAC.

Apéndice 6. **Mediciones con la viga Benkelman frente a la Facultad de Veterinaria**



Fuente: bulevar universitario USAC.

Apéndice 6. **Mediciones con la viga Benkelman frente al CII**



Fuente: bulevar universitario, USAC.

Apéndice 7. **Mediciones con la viga Benkelman frente al colegio**



Fuente: bulevar universitario, USAC.

Apéndice 8. **Mediciones con la viga Benkelman frente al estadio**



Fuente: bulevar universitario, USAC.

Apéndice 9. **Mediciones con la viga Benkelman frente a la Facultad de Odontología**



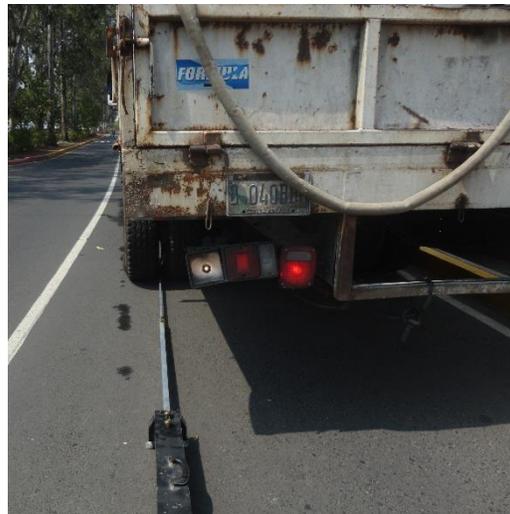
Fuente: bulevar universitario, USAC.

Apéndice 10. **Mediciones con la viga Benkelman frente a la Facultad de Ingeniería**



Fuente: bulevar universitario, USAC.

Apéndice 11. **Mediciones con la viga Benkelman frente a Rectoría**



Fuente: bulevar universitario, USAC.

ANEXOS

Anexo 1. Requisitos para mezcla de concreto asfáltico

METODO DE DISEÑO ⁽¹⁾	VALORES LÍMITES	
	MINIMO	MAXIMO
1) <u>MARSHALL</u> (AASHTO T 245)		
• Temperatura de compactación de pastilla para producir una viscosidad de	0.25 Pa-s (250 cS)	0.31 Pa-s (310 cS)
• Número de golpes de compactación en cada extremo del espécimen ⁽²⁾	75	75
• Estabilidad	5,338 N (1,200 libras)	
• Fluencia en 0.25 mm (0.01 pulg.)		
• Tránsito < 10 ⁶ ESAL	8	16
• Tránsito > 10 ⁶ ESAL	8	14
• Relación Estabilidad/Fluencia (lb./0.01 pulg.)	120	275
• Porcentaje de vacíos de la mezcla compactada ⁽³⁾	3	5
• Porcentaje de vacíos en agregado mineral (VAM)	Tabla 401-13	
• Porcentaje de vacíos rellenos con asfalto		
• Tránsito < 10 ⁶ ESAL	65	78
• Tránsito > 10 ⁶ ESAL	65	75
• Relación finos/bitumen ⁽⁴⁾	0.6	1.6
• Sensibilidad a la humedad AASHTO T 283		
Resistencia retenida	80 %	
• Partículas recubiertas con bitumen, para definir tiempo de mezclado, AASHTO T 195	95 %	

Fuente: Dirección General de Caminos. *Manual de especificaciones generales para la construcción de carreteras y puentes*. Sección 401.

Anexo 2. **Tabla de corrección de valores de estabilidad Marshall**

Volumen de la briqueta cm ³	Espesor aproximado de la briqueta en cm	Factor de corrección
200-213	2.54	5.56
214-225	2.70	5.00
226-237	2.86	4.55
238-250	3.02	4.17
251-264	3.17	3.85
265-276	3.33	3.57
277-289	3.49	3.33
290-301	3.65	3.03
302-316	3.81	2.78
317-328	3.97	2.50
329-340	4.13	2.27
341-353	4.29	2.08
354-367	4.44	1.92
368-379	4.60	1.79
390-392	4.76	1.67
393-405	4.92	1.56

Volumen de la briqueta cm ³	Espesor aproximado de la briqueta en cm	Factor de corrección
406-420	5.08	1.47
421-431	5.24	1.39
432-443	5.40	1.32
444-456	5.56	1.25
457-470	5.71	1.19
471-482	5.87	1.14
483-495	6.03	1.09
496-508	6.19	1.04
509-522	6.35	1.00
523-535	6.51	0.96
536-546	6.67	0.93
547-559	6.82	0.89
560-573	6.98	0.86
574-585	7.14	0.83
586-598	7.30	0.81
599-610	7.46	0.78
611-625	7.62	0.76

Fuente: MAMANI, Armando. *Diseño de pavimento flexible vial*. p. 39.

Anexo 3. Tabla Humboldt Mfg Co. corrección estabilidad Marshall

LBF	DEFLT	LBF	DEFLT	LBF	DEFLT	LBF	DEFLT	LBF	DEFLT
0	0.1	1000	105.1	3500	370.0	6000	637.9	8500	908.9
20	2.2	1050	110.4	3550	375.3	6050	643.3	8550	914.4
40	4.3	1100	115.7	3600	380.7	6100	648.7	8600	919.8
60	6.4	1150	121.0	3650	386.0	6150	654.1	8650	925.3
80	8.5	1200	126.2	3700	391.3	6200	659.5	8700	930.7
100	10.5	1250	131.5	3750	396.7	6250	664.9	8750	936.2
120	12.6	1300	136.8	3800	402.0	6300	670.3	8800	941.6
140	14.7	1350	142.0	3850	407.3	6350	675.7	8850	947.1
160	16.8	1400	147.3	3900	412.7	6400	681.1	8900	952.6
180	18.9	1450	152.6	3950	418.0	6450	686.5	8950	958.0
200	21.0	1500	157.9	4000	423.3	6500	691.9	9000	963.5
220	23.1	1550	163.2	4050	428.7	6550	697.3	9050	968.9
240	25.2	1600	168.4	4100	434.0	6600	702.7	9100	974.4
260	27.3	1650	173.7	4150	439.4	6655	708.1	9150	979.9
280	29.4	1700	179.0	4200	444.7	6700	713.5	9200	985.5
300	31.5	1750	184.3	4250	450.1	6750	718.9	9250	990.8
320	33.6	1800	189.6	4300	455.4	6800	724.3	9300	996.3
340	35.7	1850	194.9	4350	460.8	6850	729.7	9350	1001.8
360	37.8	1900	200.1	4400	466.1	6900	735.1	9400	1007.8
380	39.9	1950	205.4	4450	471.5	6950	740.5	9450	1012.7
400	42.0	2000	210.7	4500	476.8	7000	746.0	9500	1018.2
420	44.1	2050	216.0	4550	482.2	7050	751.4	9550	1023.6
440	46.2	2100	221.3	4600	487.5	7100	756.8	9600	1029.1
460	48.3	2150	226.6	4650	492.9	7150	762.2	9650	1034.6
480	50.4	2200	231.9	4700	498.2	7200	767.6	9700	1040.1
500	52.5	2250	237.2	4750	503.6	7250	773.0	9750	1045.6
520	54.6	2300	242.5	4800	508.9	7300	778.5	9800	1051.0
540	56.7	2350	247.8	4850	514.3	7350	783.9	9850	1056.5
560	58.8	2400	253.1	4900	519.7	7400	789.3	9900	1062.0
580	61.0	2450	258.4	4950	525.0	7450	794.7	9950	1067.5
600	63.1	2500	263.7	5000	530.4	7500	800.2	10000	1073.0
620	65.2	2550	269	5050	535.8	7550	805.6	10050	1078.5
640	67.3	2600	274.3	5100	541.1	7600	811.0	10100	1084.0
660	69.4	2650	279.6	5150	546.5	7650	816.4	10150	1089.5
680	71.5	2700	284.9	5200	551.9	7700	821.9	10200	1094.9
700	73.6	2750	290.2	5250	557.2	7750	827.3	10250	1100.4
720	75.7	2800	295.5	5300	562.6	7800	832.7	10300	1105.9
740	77.8	2850	300.8	5350	568.0	7850	838.2	10350	1111.4
760	79.9	2900	306.2	5400	573.3	7900	843.6	10400	1116.9
780	82.0	2950	311.5	5450	578.7	7950	849.0	10450	1122.4
800	84.1	3000	316.8	5500	584.1	8000	854.5	10500	1127.9
820	86.2	3050	322.1	5550	589.5	8050	859.9	10550	1133.4
840	88.3	3100	327.4	5600	594.9	8100	865.4	10600	1138.9
860	90.4	3150	332.7	5650	600.2	8150	870.8	10650	1144.4
880	92.5	3200	338.1	5700	605.6	8200	876.2	10700	1149.9
900	94.6	3250	343.4	5750	611.0	8250	881.7	10750	1155.4
920	96.7	3300	348.7	5800	616.4	8300	887.1	10800	1160.9
940	98.8	3350	354.0	5850	621.2	8350	892.6	10850	1166.4
960	100.9	3400	359.3	5900	627.2	8400	898.0	10900	1172.0
980	103.0	3450	364.7	5950	632.5	8450	903.5	10950	1177.5

Fuente: Humboldt Mfg. Co. p. 1.

Anexo 4. Límites de Atterberg



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



INFORME No. 472 S.S.

O.T.: 36.783

No. 09789

Interesado: María Fernanda Díaz Alvarez - 201314644

Proyecto: Trabajo de Graduación "Evaluación Física, Mecánica y Deflectometría del Pavimento Asfáltico en el Perímetro de la Universidad de San Carlos de Guatemala y Propuesta de Mantenimiento"

Asunto: ENSAYO DE LIMITES DE ATTERBERG

Norma: AASHTO T-89 Y T-90

Ubicación: Universidad de San Carlos de Guatemala

FECHA: jueves, 24 de noviembre de 2016

RESULTADOS:

POZO No.	MUESTRA No.	L.L. (%)	I.P. (%)	CLASIFICACION *	DESCRIPCION DEL SUELO
1	SUB-BASE	N.P.	N.P.	ML	Arena con Grava y Limo Color Café
1	BASE	N.P.	N.P.	ML	Arena con Presencia de Grava Color Gris Oscura
2	BASE	N.P.	N.P.	ML	Arena Limosa con Presencia de Grava Color Café
3	BASE	N.P.	N.P.	ML	Arena y Grava Con Limo Color Café

(*) CLASIFICACION SEGÚN CARTA DE PLASTICIDAD

Observaciones: Muestra proporcionado por el interesado.



Atentamente,

Omar Enrique Mejicano Méndez
Ing. Omar Enrique Mejicano Méndez
Jefe Sección Mecánica de Suelos

Vo.Bo.

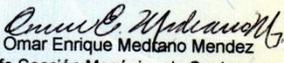
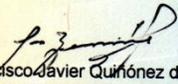
Francisco Javier Guipónez de la Cruz
Ing. Francisco Javier Guipónez de la Cruz
DIRECTOR CII/USAC



FACULTAD DE INGENIERÍA –USAC–
Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12
Teléfono directo: 2418-9115, Planta: 2418-8000 Exts. 86209 y 86221 Fax: 2418-9121
Página web: <http://cii.usac.edu.gt>

Fuente: CII, Facultad de Ingeniería, USAC.

Anexo 6. Ensayo equivalente de arena subbase pozo 1

	CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA FACULTAD DE INGENIERIA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA																	
		No. 09791																
INFORME No.: 474 S.S.	O.T. No.: 36.783																	
EQUIVALENTE DE ARENA																		
INTERESADO:	María Fernanda Díaz Alvarez - 201314644																	
PROYECTO:	Trabajo de Graduación "Evaluación Física, Mecánica y Deflectometría del Pavimento Asfáltico en el Perímetro de la Universidad de San Carlos de Guatemala y Propuesta de Mantenimiento"																	
UBICACIÓN:	Universidad de San Carlos de Guatemala																	
NORMA:	AASHTO T-176																	
DESCRIPCION DEL SUELO:	Arena con Grava y Limo Color Café																	
MUESTRA:	SUB-BASE																	
MUESTRA:	1																	
FECHA:	jueves, 24 de noviembre de 2016																	
 <table border="0" style="margin: auto;"><tr><td style="text-align: center;">Lectura Arena</td><td style="text-align: center;">Lectura Arcilla</td><td style="text-align: center;">Lectura Arena</td><td style="text-align: center;">Lectura Arcilla</td></tr><tr><td style="text-align: center;">2,4</td><td style="text-align: center;">4,4</td><td style="text-align: center;">2,3</td><td style="text-align: center;">4,2</td></tr><tr><td colspan="2" style="text-align: center;">54,5</td><td colspan="2" style="text-align: center;">54,8</td></tr><tr><td colspan="4" style="text-align: center;"> E.A. 54,7</td></tr></table> 			Lectura Arena	Lectura Arcilla	Lectura Arena	Lectura Arcilla	2,4	4,4	2,3	4,2	54,5		54,8		 E.A. 54,7			
Lectura Arena	Lectura Arcilla	Lectura Arena	Lectura Arcilla															
2,4	4,4	2,3	4,2															
54,5		54,8																
 E.A. 54,7																		
OBSERVACIONES: Muestra proporcionada por el interesado																		
	Atentamente,																	
 Ing. Omar Enrique Medrano Mendez Jefe Sección Mecánica de Suelos	 Ing. Francisco Javier Quiñonez de la Cruz DIRECTOR CII/USAC																	
<small>FACULTAD DE INGENIERÍA –USAC– Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12 Teléfono directo: 2418-9115, Planta: 2418-8000 Exts. 86209 y 86221 Fax: 2418-9121 Página web: http://cii.usac.edu.gt</small>																		

Fuente: CII, Facultad de Ingeniería, USAC.

Anexo 7. Ensayo de compactación subbase pozo 1

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

No. 09792

INFORME No. 475 S.S.

O.T.: 36.783

Interesado: María Fernanda Díaz Álvarez - 201314644
Asunto: ENSAYO DE COMPACTACIÓN.

Proctor Estándar: () Norma: A.A.S.H.T.O. T-99
Proctor Modificado: (X) Norma: A.A.S.H.T.O. T-180

Proyecto: Trabajo de Graduación "Evaluación Física, Mecánica y Deflectometría del Pavimento Asfáltico en el Perímetro de la Universidad de San Carlos de Guatemala y Propuesta de Mantenimiento"

Ubicación: Universidad de San Carlos de Guatemala
Fecha: jueves, 24 de noviembre de 2016

Muestra: SUB-BASE
Pozo: 1

GRAFICA DE DENSIDAD SECA-HUMEDAD

% HUMEDAD	DENSIDAD SECA lb/ft³
4	104
5	105
6	108
7	110
8	112
9	114
10	116
11	117
12	117
13	116
14	114
15	112
16	110
17	108
18	105

Descripción del suelo: Arena con Grava y Limo Color Café
Densidad seca máxima γ_d : 1.874,34 Kg/m³ 117,00 lb/ft³
Humedad óptima Hop.: 11,60 %
Observaciones: Muestra proporcionado por el interesado.
Atentamente,

Omar Enrique Medrano Méndez
Ing. Omar Enrique Medrano Méndez
Jefe Sección Mecánica de Suelos

Vo. Bo. *Francisco Javier Quirónez de la Cruz*
Ing. Francisco Javier Quirónez de la Cruz
DIRECTOR CII/USAC

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERIA
CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA
SECCIÓN DE MECÁNICA DE SUELOS

FACULTAD DE INGENIERÍA –USAC–
Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12
Teléfono directo: 2418-9115, Planta: 2418-8000 Exts. 86209 y 86221 Fax: 2418-9121
Página web: <http://cii.usac.edu.gt>

Fuente: CII, Facultad de Ingeniería, USAC.

Anexo 8. Ensayo de Razón Soporte California Subbase pozo 1



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



No. 09793

INFORME No. 476 S.S.

O.T. No. 36.783

Interesado: María Fernanda Díaz Alvarez - 201314644

Asunto: Ensayo de Razón Soporte California (C.B.R.) Norma: A.A.S.H.T.O.T-193

Proyecto: Trabajo de Graduación "Evaluación Física, Mecánica y Deflectometría del Pavimento Asfáltico en el Perímetro de la Universidad de San Carlos de Guatemala y Propuesta de Mantenimiento"

Ubicación: Universidad de San Carlos de Guatemala

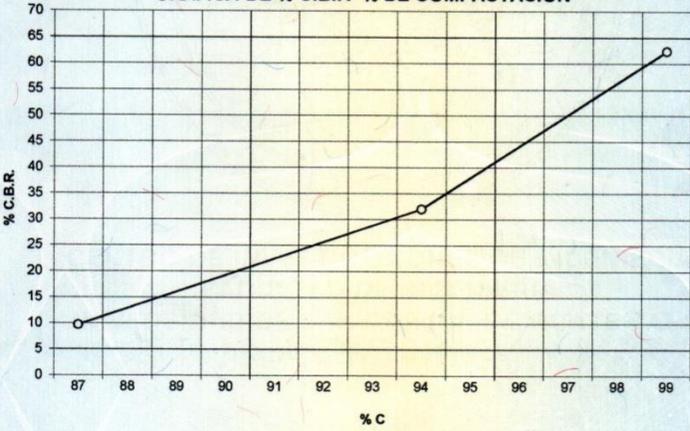
Descripción del suelo: Arena con Grava y Limo Color Café

Muestra: SUB-BASE Pozo: 1

Fecha: jueves, 24 de noviembre de 2016

PROBETA	GOLPES	A LA COMPACTACION		C	EXPANSION	C.B.R.
No.	No.	H (%)	γ_d (Lb/plie ³)	(%)	(%)	(%)
1	10	11,60	102,19	87,3	0,35	9,77
2	30	11,60	110,62	94,5	0,11	32,02
3	65	11,60	115,89	99,0	0,22	62,42

GRAFICA DE % C.B.R.- % DE COMPACTACION



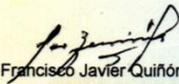
Observaciones: Muestra proporcionado por el interesado.

Atentamente,



Ing. Omar Enrique Medrano Méndez
Jefe Sección Mecánica de Suelos

V. Bo.



Ing. Francisco Javier Quiñónez de la Cruz
DIRECTOR CII/USAC



FACULTAD DE INGENIERÍA — USAC —
Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12
Teléfono directo: 2418-9115, Planta: 2418-8000 Exts. 86209 y 86221 Fax: 2418-9121
Página web: <http://cii.usac.edu.gt>

Fuente: CII, Facultad de Ingeniería, USAC.

Anexo 11. Ensayo de compactación base del pozo 1



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



INFORME No. 479 S.S.

O.T.: 36.783

No. 09796

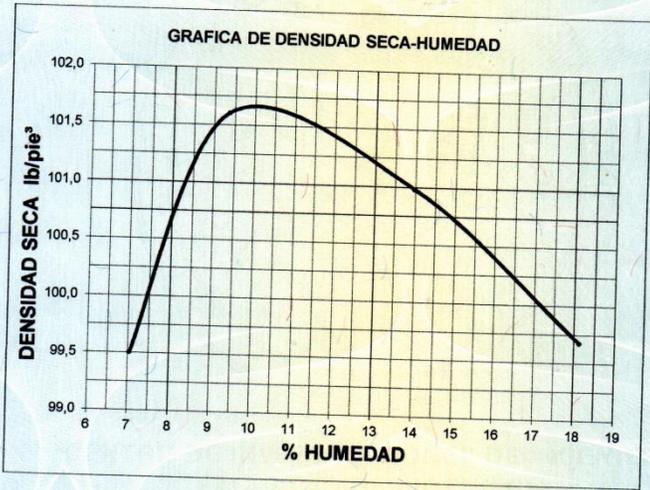
Interesado: María Fernanda Díaz Alvarez - 201314644
 Asunto: ENSAYO DE COMPACTACIÓN.
 Proyecto: Trabajo de Graduación "Evaluación Física, Mecánica y Deflectometría del Pavimento Asfáltico en el Perímetro de la Universidad de San Carlos de Guatemala y Propuesta de Mantenimiento"

Proctor Estándar: () Norma: A.A.S.H.T.O. T-99
 Proctor Modificado: (X) Norma: A.A.S.H.T.O. T-180

Ubicación: Universidad de San Carlos de Guatemala
 Fecha: jueves, 24 de noviembre de 2016

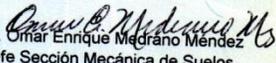
Muestra: BASE
 Pozo: 1

GRAFICA DE DENSIDAD SECA-HUMEDAD



% HUMEDAD	DENSIDAD SECA lb/ft³
7	99.5
8	100.5
9	101.2
10	101.7
11	101.5
12	101.2
13	100.8
14	100.4
15	100.0
16	99.6
17	99.2
18	98.8

Descripción del suelo: Arena con Presencia de Grava Color Gris Oscura
 Densidad seca máxima γ_d : 1.629,23 Kg/m³ 101,70 lb/ft³
 Humedad óptima Hop.: 10,00 %
 Observaciones: Muestra proporcionado por el interesado.
 Atentamente,



Ing. Omar Enrique Medrano Méndez
Jefe Sección Mecánica de Suelos

Vo. Bo.



Ing. Francisco Javier Quiñónez de la Cruz
DIRECTOR CII/USAC

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERIA
CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA
SECCIÓN DE MECÁNICA DE SUELOS

FACULTAD DE INGENIERIA —USAC—
Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12
directo: 2418-9115, Planta: 2418-8000 Exts. 86209 y 86221 Fax: 2418-9121
Página web: <http://cii.usac.edu.gt>

Fuente: CII, Facultad de Ingeniería, USAC.

Anexo 12. Ensayo de Razón Soporte California base del pozo 1



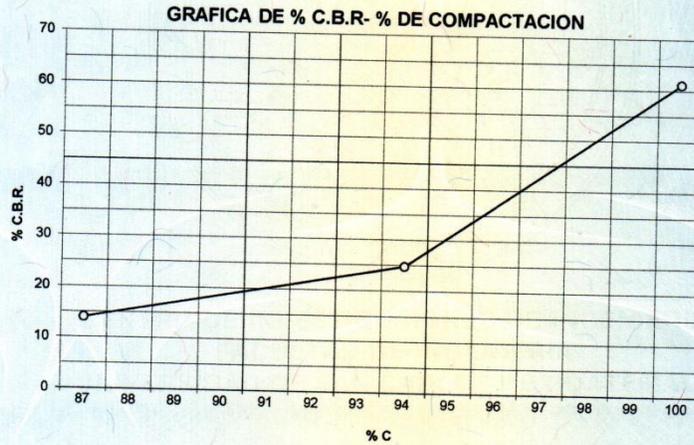
CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



No. **09797**

INFORME No. 480 S.S. O.T. No. 36.783
 Interesado: María Fernanda Díaz Álvarez - 201314644
 Asunto: Ensayo de Razón Soporte California (C.B.R.) Norma: A.A.S.H.T.O.T-193
 Proyecto: Trabajo de Graduación "Evaluación Física, Mecánica y Deflectometría del Pavimento Asfáltico en el Perímetro de la Universidad de San Carlos de Guatemala y Propuesta de Mantenimiento"
 Ubicación: Universidad de San Carlos de Guatemala
 Descripción del suelo: Arena con Presencia de Grava Color Gris Oscura
 Muestra: BASE Pozo: 1
 Fecha: jueves, 24 de noviembre de 2016

PROBETA	GOLPES	A LA COMPACTACION		C	EXPANSION	C.B.R.
No.	No.	H (%)	γ_d (Lb/pie ³)	(%)	(%)	(%)
1	10	10,00	89,25	87,8	0,00	13,98
2	30	10,00	95,66	94,1	0,11	24,80
3	65	10,00	101,81	100,1	0,09	61,18



Observaciones: Muestra proporcionado por el interesado.
Atentamente,



Ing. Omar Enrique Medrano Méndez
Jefe Sección Mecánica de Suelos

Vo. Bo. Ing. Francisco Javier Quiñónes de la Cruz
DIRECTOR CII/USAC



FACULTAD DE INGENIERIA -USAC-
Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12
Teléfono directo: 2418-9115, Planta: 2418-8000 Exts. 86209 y 86221 Fax: 2418-9121
Página web: <http://cii.usac.edu.gt>

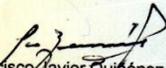
Fuente: CII, Facultad de Ingeniería, USAC.

Anexo 14. Ensayo equivalente de arena base del pozo 2

	CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA FACULTAD DE INGENIERIA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA	
INFORME No.: 482 S.S.	O.T. No.: 36.783	No. 09799
EQUIVALENTE DE ARENA		
INTERESADO:	María Fernanda Díaz Alvarez - 201314644	
PROYECTO:	Trabajo de Graduación "Evaluación Física, Mecánica y Deflectometría del Pavimento Asfáltico en el Perímetro de la Universidad de San Carlos de Guatemala y Propuesta de Mantenimiento"	
UBICACIÓN:	Universidad de San Carlos de Guatemala	
NORMA:	AASHTO T-176	
DESCRIPCION DEL SUELO:	Arena Limosa con Presencia de Grava Color Café	
MUESTRA:	BASE	
POZO:	2	
FECHA:	jueves, 24 de noviembre de 2016	

Lectura Arena 2,6	Lectura Arcilla 5,1	Lectura Arena 2,6	Lectura Arcilla 5,3
	51,0		49,1
E.A. 50,0			

OBSERVACIONES: Muestra proporcionada por el interesado

 UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA FACULTAD DE INGENIERIA CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA SECCIÓN DE MECÁNICA DE SUELOS	Atentamente,
 Ing. Omar Enrique Medrano Mendez Jefe Sección Mecánica de Suelos	 Ing. Francisco Javier Quiñones de la Cruz DIRECTOR CII/USAC

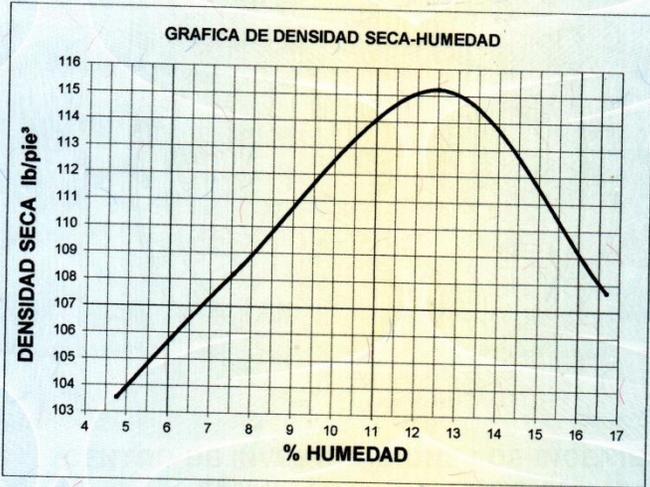
FACULTAD DE INGENIERÍA –USAC–
Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12
Teléfono directo: 2418-9115, Planta: 2418-8000 Exts. 86209 y 86221 Fax: 2418-9121
Página web: <http://cii.usac.edu.gt>

Fuente: CII, Facultad de Ingeniería, USAC.

Anexo 15. Ensayo de compactación base del pozo 2

	CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA FACULTAD DE INGENIERIA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA	
INFORME No. 483 S.S.		O.T.: 36.783
		No. 09800
Interesado: María Fernanda Díaz Alvarez - 201314644	Proctor Estándar: () Norma: A.A.S.H.T.O. T-99	
Asunto: ENSAYO DE COMPACTACIÓN.	Proctor Modificado: (X) Norma: A.A.S.H.T.O. T-180	
Proyecto: Trabajo de Graduación "Evaluación Física, Mecánica y Deflectometría del Pavimento Asfáltico en el Perímetro de la Universidad de San Carlos de Guatemala y Propuesta de Mantenimiento"		
Ubicación: Universidad de San Carlos de Guatemala	Muestra: BASE	
Fecha: jueves, 24 de noviembre de 2016	Pozo: 2	

GRAFICA DE DENSIDAD SECA-HUMEDAD



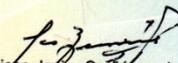
% HUMEDAD	DENSIDAD SECA lb/ft³
4	103
5	104
6	105
7	106
8	107
9	108
10	109
11	110
12	111
13	112
14	113
15	114
16	115
17	116

Descripción del suelo:	Arena Limosa con Presencia de Grava Color Café	
Densidad seca máxima γ_d :	1.845,98 Kg/m ³	115,23 lb/ft ³
Humedad óptima Hop.:	12,52 %	
Observaciones:	Muestra proporcionado por el interesado.	



Ing. Omar Enrique Medrano Méndez
Jefe Sección Mecánica de Suelos

Vo. Bo.



Ing. Francisco Javier Quiñonez de la Cruz
DIRECTOR CII/USAC



FACULTAD DE INGENIERÍA —USAC—
Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12
Teléfono directo: 2418-9115, Planta: 2418-8000 Exts. 86209 y 86221 Fax: 2418-9121
Página web: <http://cii.usac.edu.gt>

Fuente: CII, Facultad de Ingeniería, USAC.

Anexo 16. Ensayo de Razón Soporte California base del pozo 2



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



INFORME No. 484 S.S. O.T. No. 36.783 No. **09801**
 Interesado: María Fernanda Díaz Alvarez - 201314644
 Asunto: Ensayo de Razón Soporte California (C.B.R.) Norma: A.A.S.H.T.O.T-193
 Proyecto: Trabajo de Graduación "Evaluación Física, Mecánica y Deflectometría del Pavimento Asfáltico en el Perímetro de la Universidad de San Carlos de Guatemala y Propuesta de Mantenimiento"
 Ubicación: Universidad de San Carlos de Guatemala
 Descripción del suelo: Arena Limosa con Presencia de Grava Color Café
 Muestra: BASE Pozo: 2
 Fecha: jueves, 24 de noviembre de 2016

PROBETA	GOLPES	A LA COMPACTACION		C	EXPANSION	C.B.R.
No.	No.	H (%)	γ_d (Lb/pie ³)	(%)	(%)	(%)
1	10	12,52	102,92	89,3	2,44	8,50
2	30	12,52	108,67	94,3	3,10	24,18
3	65	12,52	115,20	100,0	0,00	72,11



Observaciones: Muestra proporcionado por el interesado.
Atentamente,



Ing. Omar Enrique Medrano Méndez
Jefe Sección Mecánica de Suelos

Vo. Bo.

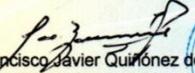
Ing. Francisco Javier Quiñón de la Cruz
DIRECTOR CII/USAC



FACULTAD DE INGENIERIA - USAC -
Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12
Teléfono directo: 2418-9115, Planta: 2418-8000 Exts. 86209 y 86221 Fax: 2418-9121
Página web: <http://cii.usac.edu.gt>

Fuente: CII, Facultad de Ingeniería, USAC.

Anexo 18. Ensayo equivalente de arena base del pozo 3

	CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA FACULTAD DE INGENIERIA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA																					
INFORME No.: 486 S.S.	O.T. No.: 36.783	No. 09803																				
EQUIVALENTE DE ARENA																						
INTERESADO:	María Fernanda Díaz Álvarez - 201314644																					
PROYECTO:	Trabajo de Graduación "Evaluación Física, Mecánica y Deflectometría del Pavimento Asfáltico en el Perímetro de la Universidad de San Carlos de Guatemala y Propuesta de Mantenimiento"																					
UBICACIÓN:	Universidad de San Carlos de Guatemala																					
NORMA:	AASHTO T-176																					
DESCRIPCION DEL SUELO:	Arena y Grava Con Limo Color Café																					
MUESTRA:	BASE																					
POZO:	3																					
FECHA:	jueves, 24 de noviembre de 2016																					
 <table border="1" style="margin: auto;"><tr><td style="text-align: center;">Lectura Arena</td><td style="text-align: center;">Lectura Arcilla</td><td style="text-align: center;">Lectura Arena</td><td style="text-align: center;">Lectura Arcilla</td></tr><tr><td style="text-align: center;">4</td><td style="text-align: center;">5,3</td><td style="text-align: center;">3,6</td><td style="text-align: center;">5</td></tr><tr><td colspan="2" style="text-align: center;">75,5</td><td colspan="2" style="text-align: center;">72,0</td></tr><tr><td colspan="4" style="text-align: center;">E.A.</td></tr><tr><td colspan="4" style="text-align: center;">73,7</td></tr></table> 			Lectura Arena	Lectura Arcilla	Lectura Arena	Lectura Arcilla	4	5,3	3,6	5	75,5		72,0		E.A.				73,7			
Lectura Arena	Lectura Arcilla	Lectura Arena	Lectura Arcilla																			
4	5,3	3,6	5																			
75,5		72,0																				
E.A.																						
73,7																						
OBSERVACIONES: Muestra proporcionada por el interesado																						
		Atentamente,																				
 Ing. Omar Enrique Medrano Mendez Jefe Sección Mecánica de Suelos	Vo. Bo.	 Ing. Francisco Javier Quiñonez de la Cruz DIRECTOR CII/USAC																				
																						
<small>FACULTAD DE INGENIERÍA –USAC– Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12 Teléfono directo: 2418-9115, Planta: 2418-8000 Exts. 86209 y 86221 Fax: 2418-9121 Página web: http://cii.usac.edu.gt</small>																						

Fuente: CII, Facultad de Ingeniería, USAC.

Anexo 19. Ensayo de compactación base del pozo 3



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



INFORME No. 487 S.S.

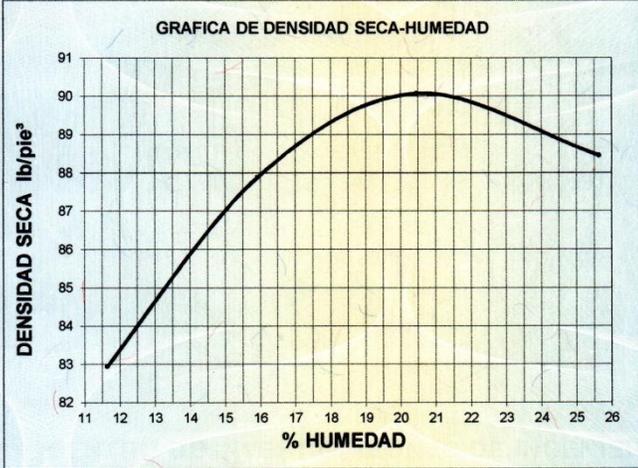
O.T.: 36.783

No. 09804

Interesado: María Fernanda Díaz Alvarez - 201314644
 Asunto: ENSAYO DE COMPACTACIÓN. Proctor Estándar: () Norma: A.A.S.H.T.O. T-99
 Proyecto: Trabajo de Graduación "Evaluación Física, Mecánica y Deflectometría del Pavimento Asfáltico en el Perímetro de la Universidad de San Carlos de Guatemala y Propuesta de Mantenimiento" Proctor Modificado: (X) Norma: A.A.S.H.T.O. T-180

Ubicación: Universidad de San Carlos de Guatemala Muestra: BASE
 Fecha: jueves, 24 de noviembre de 2016 Pozo: 3

GRAFICA DE DENSIDAD SECA-HUMEDAD



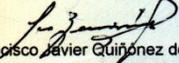
% HUMEDAD	DENSIDAD SECA lb/pe³
12	83,0
14	86,0
16	88,0
18	89,5
20,45 (Hop)	90,07
22	89,5
24	88,5
25	88,0

Descripción del suelo: Arena y Grava Con Limo Color Café
 Densidad seca máxima γ_d : 1.442,92 Kg/m³ 90,07 lb/pe³
 Humedad óptima Hop.: 20,45 %
 Observaciones: Muestra proporcionado por el interesado.
 Atentamente,



Omar Enrique Medrano Méndez
 Ing. Omar Enrique Medrano Méndez
 Jefe Sección Mecánica de Suelos

Vo. Bo.



Ing. Francisco Javier Quiñonez de la Cruz
 DIRECTOR CII/USAC



FACULTAD DE INGENIERÍA —USAC—
 Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12
 Teléfono directo: 2418-9115, Planta: 2418-8000 Exts. 86209 y 86221 Fax: 2418-9121
 Página web: <http://cii.usac.edu.gt>

Fuente: CII, Facultad de Ingeniería, USAC.

Anexo 20. Ensayo de Razón Soporte California base del pozo 3



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



INFORME No. 488 S.S. O.T. No. 36.783 No. **09805**
 Interesado: María Fernanda Díaz Alvarez - 201314644
 Asunto: Ensayo de Razón Soporte California (C.B.R.) Norma: A.A.S.H.T.O.T-193
 Proyecto: Trabajo de Graduación "Evaluación Física, Mecánica y Deflectometría del Pavimento Asfáltico en el Perímetro de la Universidad de San Carlos de Guatemala y Propuesta de Mantenimiento"
 Ubicación: Universidad de San Carlos de Guatemala
 Descripción del suelo: Arena y Grava Con Limo Color Café
 Muestra: BASE Pozo: 3
 Fecha: jueves, 24 de noviembre de 2016

PROBETA No.	GOLPES No.	A LA COMPACTACION		C (%)	EXPANSION (%)	C.B.R. (%)
		H (%)	γ_d (Lb/pie ³)			
1	10	20,45	78,09	86,7	0,09	24,80
2	30	20,45	85,41	94,8	0,04	40,40
3	65	20,45	90,29	100,2	0,04	49,58



Observaciones: Muestra proporcionado por el interesado.
Atentamente,



Ing. Omar Enrique Medrano Méndez
Jefe Sección Mecánica de Suelos

Vo. Bo.

Ing. Francisco Javier Quiñonez de la Cruz
DIRECTOR CII/USAC



FACULTAD DE INGENIERÍA —USAC—
Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12
Teléfono directo: 2418-9115, Planta: 2418-8000 Exts. 86209 y 86221 Fax: 2418-9121
Página web: <http://cii.usac.edu.gt>

Fuente: CII, Facultad de Ingeniería, USAC.

Anexo 21. Ensayo de granulometría núcleo 1



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



INFORME NUMERO: 025 L.B.A.

ORDEN DE TRABAJO 36959

No. 09547

INTERESADO: MARIA FERNANDA DÍAZ ALVAREZ - 201314644

PROYECTO: TRABAJO DE GRADUACIÓN INGENIERIA CIVIL: EVALUACIÓN FÍSICA, MECÁNICA Y DEFLECTOMETRÍA DEL PAVIMENTO ASFÁLTICO EN EL PERÍMETRO DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA Y PROPUESTA DE MANTENIMIENTO

DIRECCION: CII/FIUSAC

ENSAYO: GRANULOMETRIA ASTM 6913

FECHA: 16 DE MARZO DEL 2017

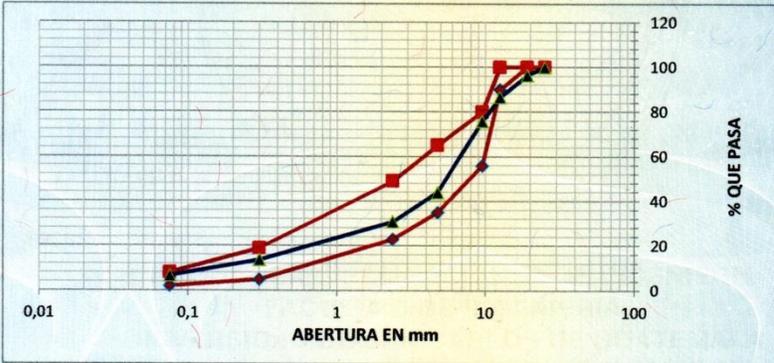
MUESTRA: NUCLEO NO. 1

ABERTURA EN mm	% QUE PASA	ABERTURA EN mm	% QUE PASA
25	100,00	2,36	30,80
19	96,27	0,3	13,74
12,5	86,57	0,075	6,69
9,5	75,87		
4,75	43,99		

GRANULOMETRIA DE ENSAYO

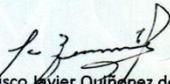
GRADACION DE AGREGADOS PARA PAVIMENTO DE CONCRETO ASFALTICO (ASTM D 3515) TIPO DE 19

mm



Atentamente,

Vo. Bo. :



Ing. Francisco Javier Quiñonez de la Cruz
DIRECTOR CII/USAC





Ing. Darío Francisco Lucas Mazariegos
Jefe Laboratorio de Asfaltos

FACULTAD DE INGENIERÍA —USAC—
Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12
Teléfono directo: 2418-9115, Planta: 2418-8000 Exts. 86209 y 86221 Fax: 2418-9121
Página web: <http://cii.usac.edu.gt>

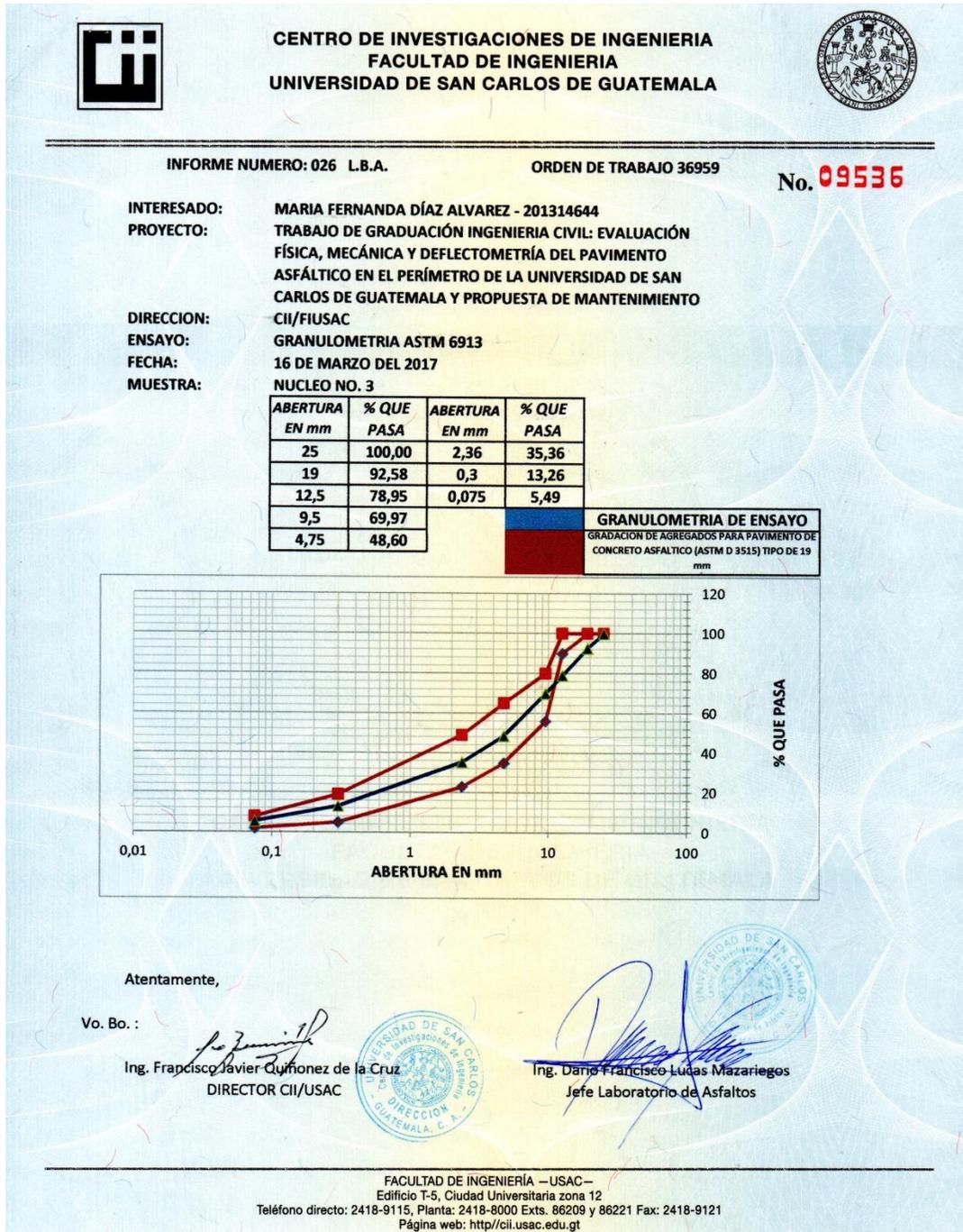
Fuente: CII, Facultad de Ingeniería, USAC.

Anexo 22. Ensayo de granulometría núcleo 2



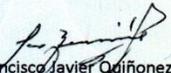
Fuente: CII, Facultad de Ingeniería, USAC.

Anexo 23. Ensayo de granulometría núcleo 3



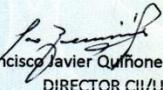
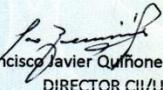
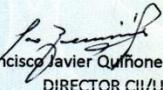
Fuente: CII, Facultad de Ingeniería, USAC.

Anexo 24. Densidad específica Bulk

	CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA FACULTAD DE INGENIERIA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA									
INFORME NUMERO: 028 L.B.A.		ORDEN DE TRABAJO: 36959								
		No. 09537								
INTERESADO:	MARIA FERNANDA DÍAZ ALVAREZ - 201314644									
PROYECTO:	TRABAJO DE GRADUACIÓN INGENIERÍA CIVIL: EVALUACIÓN FÍSICA, MECÁNICA Y DEFLECTOMETRÍA DEL PAVIMENTO ASFÁLTICO EN EL PERÍMETRO DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA Y PROPUESTA DE MANTENIMIENTO									
DIRECCION:	CII/FIUSAC									
ENSAYO:	DENSIDAD ESPECIFICA DE BULK ASTM 2726-05a									
FECHA:	16 DE MARZO DEL 2017									
MUESTRA:	NUCLEO 1,2,3.									
<table border="1"><thead><tr><th>PROBETA</th><th>GRAVEDAD ESPECIFICA</th></tr></thead><tbody><tr><td>NÚCLEO 1</td><td>2,351</td></tr><tr><td>NÚCLEO 2</td><td>2,298</td></tr><tr><td>NÚCLEO 3</td><td>2,310</td></tr></tbody></table>			PROBETA	GRAVEDAD ESPECIFICA	NÚCLEO 1	2,351	NÚCLEO 2	2,298	NÚCLEO 3	2,310
PROBETA	GRAVEDAD ESPECIFICA									
NÚCLEO 1	2,351									
NÚCLEO 2	2,298									
NÚCLEO 3	2,310									
Atentamente,										
Vo. Bo. :										
 Ing. Francisco Javier Quiñonez de la Cruz DIRECTOR CII/USAC		 Ing. Dario Francisco Leas Mazariegos Jefe Laboratorio de Asfaltos								
<small>FACULTAD DE INGENIERÍA –USAC– Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12 Teléfono directo: 2418-9115, Planta: 2418-8000 Exts. 86209 y 86221 Fax: 2418-9121 Página web: http://cii.usac.edu.gt</small>										

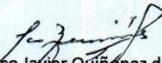
Fuente: CII, Facultad de Ingeniería, USAC.

Anexo 25. Gravedad específica teórica máxima *rice*

	CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA FACULTAD DE INGENIERIA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA									
INFORME NUMERO: 029 L.B.A.		ORDEN DE TRABAJO: 36957								
		No. 09538								
INTERESADO: MARIA FERNANDA DÍAZ ALVAREZ - 201314644										
PROYECTO: TRABAJO DE GRADUACIÓN INGENIERÍA CIVIL: EVALUACIÓN FÍSICA, MECÁNICA Y DEFLECTOMETRÍA DEL PAVIMENTO ASFÁLTICO EN EL PERÍMETRO DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA Y PROPUESTA DE MANTENIMIENTO										
DIRECCION: CII/FIUSAC										
ENSAYO: GRAVEDAD ESPECIFICA TEORICA MAXIMA "RICE" ASTM 2041										
FECHA: 16 DE MARZO DEL 2017										
MUESTRA: NUCLEOS 1,2,3.										
<table border="1" data-bbox="646 1035 1003 1241"><thead><tr><th>PROBETA</th><th>GMM</th></tr></thead><tbody><tr><td>NÚCLEO 1</td><td>2,4940</td></tr><tr><td>NÚCLEO 2</td><td>2,4590</td></tr><tr><td>NÚCLEO 3</td><td>2,4570</td></tr></tbody></table>			PROBETA	GMM	NÚCLEO 1	2,4940	NÚCLEO 2	2,4590	NÚCLEO 3	2,4570
PROBETA	GMM									
NÚCLEO 1	2,4940									
NÚCLEO 2	2,4590									
NÚCLEO 3	2,4570									
<p>Atentamente,</p> <p>Vo. Bo. :</p> <table border="0" style="width: 100%;"><tr><td style="text-align: center;"> Ing. Francisco Javier Quiñonez de la Cruz DIRECTOR CII/USAC</td><td style="text-align: center;"></td><td style="text-align: center;"> Ing. Darío Francisco Lucas Mazariegos Jefe Laboratorio de Asfaltos</td></tr></table>			 Ing. Francisco Javier Quiñonez de la Cruz DIRECTOR CII/USAC		 Ing. Darío Francisco Lucas Mazariegos Jefe Laboratorio de Asfaltos					
 Ing. Francisco Javier Quiñonez de la Cruz DIRECTOR CII/USAC		 Ing. Darío Francisco Lucas Mazariegos Jefe Laboratorio de Asfaltos								
<p>FACULTAD DE INGENIERÍA –USAC– Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12 Teléfono directo: 2418-9115, Planta: 2418-8000 Exts. 86209 y 86221 Fax: 2418-9121 Página web: http://cil.usac.edu.gt</p>										

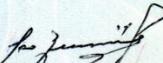
Fuente: CII, Facultad de Ingeniería, USAC.

Anexo 26. Contenido de bitumen

	CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA FACULTAD DE INGENIERIA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA							
INFORME NUMERO: 030 L.B.A.		ORDEN DE TRABAJO 36959						
		No. 09539						
INTERESADO:	MARIA FERNANDA DÍAZ ALVAREZ - 201314644							
PROYECTO:	TRABAJO DE GRADUACIÓN INGENIERIA CIVIL: EVALUACIÓN FÍSICA, MECÁNICA Y DEFLECTOMETRÍA DEL PAVIMENTO ASFÁLTICO EN EL PERÍMETRO DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA Y PROPUESTA DE MANTENIMIENTO							
DIRECCION:	CII/FUSAC							
ENSAYO:	CONTENIDO DE BITUMEN 2172-05							
FECHA:	16 DE MARZO DEL 2017							
MUESTRA:	NÚCLEOS 1, 2, 3.							
<table border="1"><tr><td>NÚCLEO 1</td><td>4,480</td></tr><tr><td>NÚCLEO 2</td><td>4,560</td></tr><tr><td>NÚCLEO 3</td><td>4,930</td></tr></table>			NÚCLEO 1	4,480	NÚCLEO 2	4,560	NÚCLEO 3	4,930
NÚCLEO 1	4,480							
NÚCLEO 2	4,560							
NÚCLEO 3	4,930							
Atentamente,								
Vo. Bo. :								
 Ing. Francisco Javier Quiñonez de la Cruz DIRECTOR CII/USAC		 Ing. Darío Francisco Lucas Mazariegos Jefe Laboratorio de Asfaltos						
<small>FACULTAD DE INGENIERÍA –USAC– Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12 Teléfono directo: 2418-9115, Planta: 2418-8000 Exts. 86209 y 86221 Fax: 2418-9121 Página web: http://cii.usac.edu.gt</small>								

Fuente: CII, Facultad de Ingeniería, USAC.

Anexo 27. Estabilidad y flujo Marshall

	CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA FACULTAD DE INGENIERIA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA													
		No. 09540												
INFORME NUMERO: 031 L.B.A.		ORDEN DE TRABAJO: 36959												
INTERESADO:	MARIA FERNANDA DÍAZ ALVAREZ - 201314644													
PROYECTO:	TRABAJO DE GRADUACIÓN INGENIERIA CIVIL: EVALUACIÓN FÍSICA, MECÁNICA Y DEFLECTOMETRÍA DEL PAVIMENTO ASFÁLTICO EN EL PERÍMETRO DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA Y PROPUESTA DE MANTENIMIENTO													
DIRECCION:	CII/FIUSAC													
ENSAYO:	ESTABILIDAD Y FLUJO MARSHALL ASTM D 1559													
FECHA:	16 DE MARZO DEL 2017													
MUESTRA:	NÚCLEOS DE MEZCLA ASFALTICA 1, 2, 3.													
<table border="1"><thead><tr><th>PROBETA</th><th>ESTABILIDAD LBF</th><th>FLUJO 0,01"</th></tr></thead><tbody><tr><td>NÚCLEO 1</td><td>3387,74</td><td>26</td></tr><tr><td>NÚCLEO 2</td><td>2239,70</td><td>20</td></tr><tr><td>NÚCLEO 3</td><td>2538,20</td><td>20</td></tr></tbody></table>			PROBETA	ESTABILIDAD LBF	FLUJO 0,01"	NÚCLEO 1	3387,74	26	NÚCLEO 2	2239,70	20	NÚCLEO 3	2538,20	20
PROBETA	ESTABILIDAD LBF	FLUJO 0,01"												
NÚCLEO 1	3387,74	26												
NÚCLEO 2	2239,70	20												
NÚCLEO 3	2538,20	20												
<p>Atentamente,</p> <p>Vo. Bo. : </p> <p>Ing. Francisco Javier Quiñonez de la Cruz DIRECTOR CII/USAC</p> <p></p> <p></p> <p>Ing. Darío Francisco Lucas Mazariegos Jefe Laboratorio de Asfaltos</p>														
<p>FACULTAD DE INGENIERÍA –USAC– Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12 Teléfono directo: 2418-9115, Planta: 2418-8000 Exts. 86209 y 86221 Fax: 2418-9121 Página web: http://cii.usac.edu.gt</p>														

Fuente: CII, Facultad de Ingeniería, USAC.

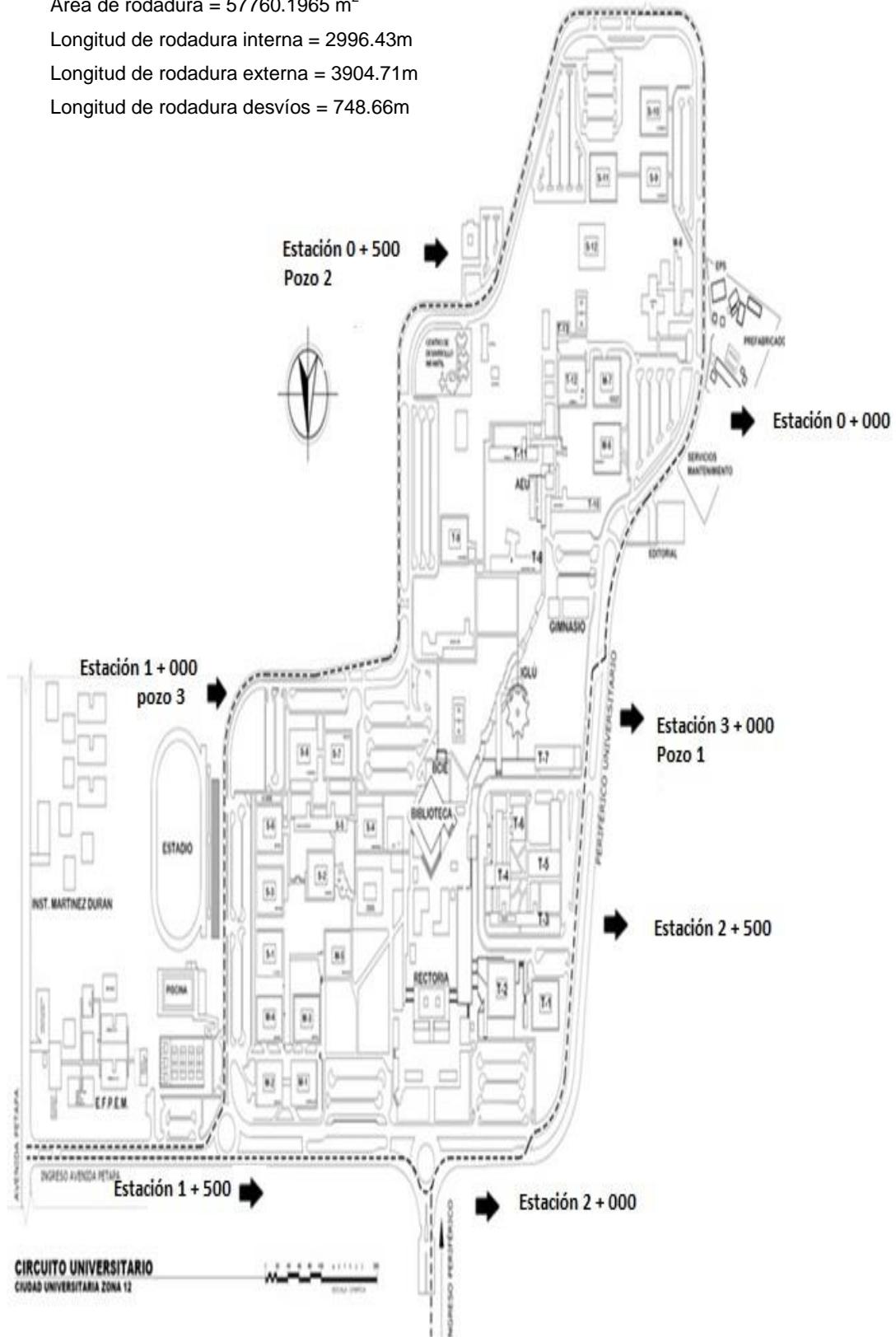
Anexo 28. Localización de las muestras extraídas y recorrido de ensayos de medición de deflexiones con la viga Benkelman

Área de rodadura = 57760.1965 m²

Longitud de rodadura interna = 2996.43m

Longitud de rodadura externa = 3904.71m

Longitud de rodadura desvíos = 748.66m



Fuente: elaboración propia, empleando figura 41.