

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

Facultad de Ingeniería

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil



**“COMPARACIÓN ENTRE EL DISEÑO DE PAVIMENTO RÍGIDO Y FLEXIBLE
REFORZADOS CON GEOMALLA BIAxIAL EN LA PAVIMENTACIÓN DE LA AV.
PERÚ DE LA CIUDAD DE CHOTA- CAJAMARCA”**

Tesis para optar el título profesional de:

INGENIERO CIVIL

Presentado por el Bachiller:

Bach. José Kevins Vásquez Agip

Asesor:

Ing. Ever Rodríguez Guevara

Cajamarca – Perú

2020

COPYRIGHT©2020 by
JOSÉ KEVINS VÁSQUEZ AGIP
Todos los derechos reservados

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios, por darme la vida y permitirme llegar a este momento especial que es la culminación del presente trabajo de investigación.

A mis padres y hermanos por su apoyo incondicional, su comprensión y brindarme su fuerza para seguir adelante.

Expreso mi más cordial agradecimiento a mis docentes por el tiempo y esfuerzo que dedicaron al compartir sus conocimientos, de tal forma que lo aprendido sea utilizado en la vida profesional.

Finalmente, expreso mi más sincero agradecimiento y reconocimiento a la Universidad Nacional de Cajamarca, a la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil por haberme acogido y ser parte de ella durante un periodo de tiempo para poder formarme como profesional.

EL AUTOR

DEDICATORIA

En primer lugar, este trabajo de investigación va dedicado a Dios por darme sabiduría, orientarme por el buen camino y darme la fortaleza para alcanzar mis sueños.

A mis padres: José y María, por su amor, apoyo incondicional y sacrificio en todos estos años, gracias a ustedes estoy logrando alcanzar muchas metas planteadas en mi vida profesional.

A mis hermanos: Luis, Maruja, Flor y María; por el aliento y apoyo moral para lograr culminar el presente trabajo.

A mis amigos, quienes sin esperar nada a cambio compartieron sus conocimientos, alegrías y tristezas, que se convirtieron en un gran lazo de amistad durante mi vida universitaria.

A la memoria del M.I.Ing. Héctor A. Pérez Loayza, por su ardua labor como docente, por su amistad incondicional y por contribuir en la formación de muchos hombres de bien.

ÍNDICE	
AGRADECIMIENTO	ii
DEDICATORIA	iii
CAPÍTULO I	1
I. INTRODUCCIÓN	2
1.1. Planteamiento del Problema	2
1.2. Formulación del Problema	3
1.3. Hipótesis general	3
1.4. Variables	3
1.5. Justificación de la Investigación	3
1.6. Delimitación de la investigación	4
1.7. Limitaciones	4
1.8. Objetivos	4
1.8.1. Objetivo general	4
1.8.2. Objetivos específicos	4
1.9. Descripción de capítulos:	5
CAPÍTULO II	6
II. MARCO TEÓRICO	7
2.1. Antecedentes Teóricos	7
2.1.1. Antecedentes Internacionales	7
2.1.2. Antecedentes Nacionales	7
2.1.3. Antecedentes Locales	8
2.2. Bases Teóricas	8
2.3. Utilización de la geomalla como refuerzo de la estructura del pavimento	9
2.3.1. Introducción a la geomalla	9
2.3.2. Diferentes aplicaciones de la geomalla	10
2.3.3. Tipos de geomallas y sus características	16
2.3.4. Mecanismos de refuerzo generados por las geomallas	18
2.3.5. Características específicas para geomallas utilizadas en refuerzo de pavimentos	21
2.3.6. Procedimiento de instalación en campo	22
2.3.7. Características de los materiales para bases y sub bases	29
2.3.8. Especificaciones técnicas constructivas	31
2.3.9. CBR de diseño de pavimentos rígidos y flexibles	32
2.4.1. Método AASHTO para diseño de pavimentos flexibles reforzados con geomallas	41

2.4.2.	Método AASHTO para diseño de pavimentos rígidos	43
2.4.2.1.	Pruebas de campo para medir el aporte de las geomallas	50
2.4.2.1.1.	Reporte de uso de geomallas tensor para el mejoramiento del módulo de reacción de sub-rasante	50
2.4.3.	Diseño de pavimentos rígidos método PCA	52
2.4.4.	Definición de términos básicos	64
CAPÍTULO III		65
III.	MATERIALES Y MÉTODOS	66
3.1.	Ubicación geográfica del estudio	66
3.2.	Tipo de investigación y análisis	69
3.2.1.	Tipo de investigación	69
3.2.2.	Tipo de análisis	69
3.3.	Diseño metodológico	69
3.3.1.	El universo de la investigación	69
3.4.	Población y muestra	69
3.5.	Técnicas e instrumentos de investigación	69
3.5.1.	Técnicas de investigación	69
3.5.2.	Instrumentos	70
3.6.	Metodología	70
3.6.1.	Procedimiento para el desarrollo de la investigación	70
3.6.2.	Forma de tratamiento de los datos	72
3.6.3.	Forma de análisis de las informaciones	72
3.6.4.	Presentación de resultados	73
CAPÍTULO IV		110
IV.	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	111
4.1.	Resultados de la investigación	111
4.1.1.	Características de los materiales de diseño de pavimentos rígidos y flexibles	111
4.1.2.	Análisis de espesores de capas de los diseños de pavimentos rígidos y flexibles	112
4.1.3.	Análisis de costos por m2 de pavimentos rígidos y flexibles reforzados con geomalla biaxial Bx-1200	114
4.2.	Interpretación de la información	115
4.2.1.	Análisis de resultados	115
4.3.	Contrastación de la hipótesis	116
CAPÍTULO V		117
V.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	118

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	120
ANEXOS:	122
ANEXO I: RECOPIACIÓN DE DATOS	123
ANEXO II: RESULTADOS DE ENSAYOS DE LABORATORIO	125
ANEXO III: ILUSTRACIONES DEL DESARROLLO DE LA TESIS	159
ANEXO IV: FICHA TÉCNICA DE GEOMALLA BIAxIAL BX-1200	169
ANEXO V: PUNTOS TOPOGRÁFICOS	171
ANEXO VI: NORMAS DE ENSAYOS DE LABORATORIO.....	174
ANEXO VII: CERTIFICADO DE ENSAYOS DE LABORATORIO	176
ANEXO VIII: PLANOS ILUSTRATIVOS.....	177
ANEXO IX: ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS PARA PAVIMENTO RIGIDO Y FLEXIBLE REFORZADOS CON GEOMALLA BIAxIAL BX-1200	182

ÍNDICE DE TABLAS

CONTENIDO	Página
Tabla 1. Características de los rollos de geomalla BX Tensar	10
Tabla 2. Traslapes recomendados para geomalla.....	24
Tabla 3. Gradación de materiales para sub-base granular	30
Tabla 4. Requerimientos de calidad para Sub-Base Granular	30
Tabla 5. Requerimientos Granulométricos para Base Granular.....	31
Tabla 6. Valor Relativo de Soporte, CBR NTP 339.145:1999.....	31
Tabla 7. Requisitos mínimos para diferentes tipos de pavimentos	32
Tabla 8. Categoría de Subrasante	33
Tabla 9. Tiempos de drenaje para capas granulares	39
Tabla 10. Incremento en el valor de k del suelo, según el espesor de una base granular	53
Tabla 11. Incremento en el valor de k del suelo, según el espesor de una base granular cementada	53
Tabla 12. Factores de crecimiento anual, según la tasa de crecimiento anual.....	55
Tabla 13. Factores de seguridad de carga	56
Tabla 14. Formato para el diseño de espesores por el método de la PCA.....	58
Tabla 15. Esfuerzo Equivalente para Pavimentos con Apoyo Lateral.....	60
Tabla 16. Factores de Erosión, para Pavimentos con Pasajuntas y Con Apoyo Lateral.....	62
Tabla 17. Coordenadas UTM- WGS84- 17S de la ubicación del proyecto	66
Tabla 18. Tabla de calicatas.....	70
Tabla 19. CBRs obtenidos de ensayos de laboratorio.....	73
Tabla 20. Periodo de diseño.....	74
Tabla 21. Factor de distribución por dirección	74
Tabla 22. Factor distribución por carril.....	75
Tabla 23. Número de repeticiones acumuladas de ejes equivalentes de 8.2tn, en el carril de diseño.....	76
Tabla 24. Índice de Serviciabilidad inicial	77
Tabla 25. Índice de Serviciabilidad final.....	77
Tabla 26. Nivel de confiabilidad y desviación estándar normal.....	78
Tabla 27. Datos para diseño de pavimento flexible.....	79
Tabla 28. Valores para el coeficiente estructural a_1	81
Tabla 29. Valores para el coeficiente estructural a_2	82
Tabla 30. Valores para el coeficiente estructural a_3	83
Tabla 31. Valores de los coeficientes estructurales de capa.....	83
Tabla 32. Valores de permeabilidad de las gradaciones que presenta la NTE CE. 010	84
Tabla 33. Tiempos de drenaje para capas granulares	85
Tabla 34. Coeficientes de drenaje para pavimentos flexibles (mx)	85

Tabla 35. Resultados de espesores de capa de pavimento flexible reforzado con geomalla biaxial Bx1200.....	89
Tabla 36. Datos de diseño de pavimento flexible sin reforzamiento de geomalla	90
Tabla 37. Resultados de espesores de capa de pavimento flexible sin reforzamiento de geomalla.....	91
Tabla 38. Datos para diseño de pavimento rígido	91
Tabla 39. Índice de Serviciabilidad inicial.	92
Tabla 40. Índice de Serviciabilidad final.....	92
Tabla 41. Nivel de confiabilidad y desviación estándar normal.....	93
Tabla 42. Coeficientes de drenaje para pavimentos rígidos (Cd).....	95
Tabla 43. Coeficiente de transmisión de carga (J)	95
Tabla 44. Valores para calcular el espesor de la capa de rodadura	96
Tabla 45. Resultados de espesores de capa de pavimento rígido reforzado con geomalla biaxial Bx1200	98
Tabla 46. Repeticiones esperadas para cada tipo de eje.....	99
Tabla 47. Esfuerzo Equivalente para Pavimentos con Apoyo Lateral.....	100
Tabla 48. Factores de Erosión, para Pavimentos con Pasajuntas y Con Apoyo Lateral.....	103
Tabla 49. Calculo de espesor de capa de rodadura método PCA	106
Tabla 50. Datos de diseño de pavimento rígido sin reforzamiento de geomalla método AASHTO	107
Tabla 51. Características de diseño de pavimento flexible Av. Perú.	111
Tabla 52. Características de diseño de pavimento rígido Av. Perú.....	111
Tabla 53. Características de los materiales para el diseño de pavimento flexible.....	111
Tabla 54. Características de los materiales para el diseño de pavimento rígido	111
Tabla 55. Espesores de capas para la estructura de pavimento flexible reforzado con geomalla biaxial BX-1200	112
Tabla 56. Espesores de capas para la estructura de pavimento flexible sin reforzamiento de geomalla en su estructura.....	112
Tabla 57. Comparación de espesores de capas granulares de pavimento flexible con y sin refuerzo de geomalla biaxial BX-1200.....	112
Tabla 58. Espesores de capas para la estructura de pavimento rígido reforzado con geomalla biaxial BX-1200	112
Tabla 59. Espesores de capas para la estructura de pavimento rígido sin reforzamiento de geomalla en su estructura.....	113
Tabla 60. Comparación de espesores de capas granulares de pavimento rígido con y sin refuerzo de geomalla biaxial BX-1200.....	113
Tabla 61. Comparación de espesores de capas granulares de pavimento flexible y rígido reforzados con geomalla biaxial BX-1200	113

Tabla 62. Presupuesto por m ² de pavimento rígido reforzado con Geomalla Biaxial BX-1200.	114
Tabla 63. Presupuesto por m ² de pavimento flexible reforzado con Geomalla Biaxial BX-1200.	114
Tabla 64. Cálculo del número de ESALs	124
Tabla 65. Resultados de contenido natural de humedad calicata C-1, C-2, C-3,	126
Tabla 66. Resultados de límites de consistencia calicata C-1	127
Tabla 67. Resultados de Análisis granulométrico por lavado calicata C-1	127
Tabla 68. Resultados de clasificación de suelos según SUCS calicata C-1	128
Tabla 69. Resultados de clasificación de suelos según AASHTO calicata C-1	128
Tabla 70. Resultados de ensayo de próctor modificado calicata C-1	129
Tabla 71. Resultados de ensayo de CBR calicata C-1	130
Tabla 72. Valores corregidos de ensayo CBR al 95 % de la M.D.S calicata C-1	131
Tabla 73. Resultados de Límites de consistencia calicata C-2	132
Tabla 74. Resultados de Análisis granulométrico por lavado calicata C-2	132
Tabla 75. Resultados de clasificación de suelos según SUCS calicata C-2	133
Tabla 76. Resultados de clasificación de suelos según AASHTO calicata C-2	133
Tabla 77. Resultados de ensayo de próctor modificado calicata C-2	134
Tabla 78. Resultados de ensayo de CBR calicata C-2	135
Tabla 79. Valores corregidos de ensayo CBR al 95 % de la M.D.S calicata C-2	136
Tabla 80. Resultados de Límites de consistencia calicata C-3	137
Tabla 81. Resultados de Análisis granulométrico por lavado calicata C-3	137
Tabla 82. Resultados de clasificación de suelos según SUCS calicata C-3	138
Tabla 83. Resultados de clasificación de suelos según AASHTO calicata C-3	138
Tabla 84. Resultados de ensayo de próctor modificado calicata C-3	139
Tabla 85. Resultados de ensayo de CBR calicata C-3	140
Tabla 86. Valores corregidos de ensayo CBR al 95 % de la M.D.S calicata C-3	141
Tabla 87. Resultados de Límites de consistencia calicata C-4	142
Tabla 88. Resultados de Análisis granulométrico por lavado calicata C-4	142
Tabla 89. Resultados de clasificación de suelos según SUCS calicata C-4	143
Tabla 90. Resultados de clasificación de suelos según AASHTO calicata C-4	143
Tabla 91. Resultados de ensayo de próctor modificado calicata C-4	144
Tabla 92. Resultados de ensayo de CBR calicata C-4	145
Tabla 93. Valores corregidos de ensayo CBR al 95 % de la M.D.S calicata C-4	146
Tabla 94. Resultados de Límites de consistencia calicata C-5	147
Tabla 95. Resultados de Análisis granulométrico por lavado calicata C-5	147
Tabla 96. Resultados de clasificación de suelos según SUCS calicata C-5	148
Tabla 97. Resultados de clasificación de suelos según AASHTO calicata C-5	148

Tabla 98. Resultados de ensayo de próctor modificado calicata C-5	149
Tabla 99. Resultados de ensayo de CBR calicata C-5.....	150
Tabla 100. Valores corregidos de ensayo CBR al 95 % de la M.D.S calicata C-5	151
Tabla 101. Resultados de Límites de consistencia calicata C-6	152
Tabla 102. Resultados de Análisis granulométrico por lavado calicata C-6.....	152
Tabla 103. Resultados de clasificación de suelos según SUCS calicata C-6.....	153
Tabla 104. Resultados de clasificación de suelos según AASHTO calicata C-6.....	153
Tabla 105. Resultados de ensayo de próctor modificado calicata C-6	154
Tabla 106. Resultados de ensayo de CBR calicata C-6.....	155
Tabla 107. Valores corregidos de ensayo CBR al 95 % de la M.D.S calicata C-6	156
Tabla 108. Resumen de ensayos de laboratorio calicatas C-1...C-6	157
Tabla 109. Puntos topográficos.....	172

ÍNDICE DE FIGURAS

CONTENIDO	Página
<i>Figura 1. Tramo de terreno natural sin refuerzo y con refuerzo de geomalla utilizando el material in- situ.....</i>	11
<i>Figura 2. Sistema de refuerzo de taludes.....</i>	11
<i>Figura 3. Tendido de la geomalla directo sobre una sub- rasante blanda.....</i>	12
<i>Figura 4. Principio de la raqueta de nieve.....</i>	12
<i>Figura 5. Distribución de cargas y esfuerzos sobre la sub- rasante con geomalla.....</i>	13
<i>Figura 6. Reducción del movimiento de tierras y espesor de la capa base.....</i>	14
<i>Figura 7. Ubicación de la geomalla dentro de la estructura del pavimento.....</i>	14
<i>Figura 8. Interacción entre geomalla y el material granular.....</i>	15
<i>Figura 9. Geomalla uni- axial y detalle de costilla.....</i>	17
<i>Figura 10. Geomalla bi- axial y detalle de costilla.....</i>	18
<i>Figura 11. Restricción del desplazamiento lateral y confinamiento del material.....</i>	19
<i>Figura 12. Mejora de la capacidad de soporte del suelo.....</i>	19
<i>Figura 13. Efecto de membrana tensionada producido por la geomalla.....</i>	20
<i>Figura 14. Rollos de geomalla apilados correctamente.....</i>	23
<i>Figura 15. Colocación y tendido de la geomalla.....</i>	24
<i>Figura 16. Traslape de la geomalla en campo.....</i>	25
<i>Figura 17. Colocación de la geomalla en curva.....</i>	26
<i>Figura 18. Corrección de arrugas y corte de la geomalla.....</i>	26
<i>Figura 19. Fijación de la geomalla por medio de clavijas.....</i>	27
<i>Figura 20. Grapas grandes de gran calibre para fijación de la geomalla.....</i>	27
<i>Figura 21. Geomalla alineada y tensada.....</i>	27
<i>Figura 22. Tendido de material sobre la geomalla.....</i>	28
<i>Figura 23. Procedimiento de compactación tradicional.....</i>	29
<i>Figura 24. Ejes equivalentes (ESAL) vs. Serviciabilidad ilustrando la tendencia.....</i>	37
<i>Figura 25. Estructura esquemática de un pavimento flexible.....</i>	40
<i>Figura 26. Inclusión de la Geomalla.....</i>	41
<i>Figura 27. LCR Vs CBR para dos profundidades de ahuellamiento.....</i>	43
<i>Figura 28. Esquema del comportamiento de pavimentos.....</i>	44
<i>Figura 29. Sección de una base permeable con una berma de concreto.....</i>	49
<i>Figura 30. Sección de una base permeable con una berma de asfalto.....</i>	49
<i>Figura 31. Transferencia de cargas en pavimentos rígidos.....</i>	50
<i>Figura 32. Estimación de incremento para "K" en base y sub base.....</i>	51
<i>Figura 33. Proporción de vehículos en el carril de la derecha.....</i>	56
<i>Figura 34. Análisis de fatiga (Repeticiones permisibles basadas en el factor de relación de esfuerzo, con o sin apoyo lateral).....</i>	61

Figura 35. Análisis de Erosión (Repeticiones permisibles basadas en el factor de relación de esfuerzo, con apoyo lateral).....	63
Figura 36. Ubicación geográfica del estudio.....	67
Figura 37. Ubicación geográfica de la Av. Perú	68
Figura 38. Ubicación de calicatas	71
Figura 39. Gráfico de los valores de CBR	74
Figura 40. Nomograma para el cálculo de los números estructurales.....	80
Figura 41. Factor de tiempo T_{50}	84
Figura 42. Criterio de drenajes para capas granulares	86
Figura 43. Coeficiente de aporte de la geomalla para pavimento flexible Vs CBR (%).....	87
Figura 44. Espesores de capas granulares en (cm) del diseño de pavimento flexible reforzado con geomalla biaxial BX-1200.	89
Figura 45. Nomograma para el cálculo del espesor de pavimento rígido.....	97
Figura 46. Espesores de capas granulares en (cm) del diseño de pavimento rígido reforzado con geomalla biaxial BX-1200	98
Figura 47. Análisis de Fatiga (Repeticiones permisibles basadas en el factor de relación de esfuerzo, con o sin apoyo lateral).....	102
Figura 48. Análisis de Erosión (Repeticiones permisibles basadas en el factor de relación de esfuerzo, con apoyo lateral).....	105
Figura 49. Nomograma para el cálculo del espesor de pavimento rígido sin refuerzo de geomalla	109
Figura 50. Curvas esfuerzo Vs penetración calicata C-1	131
Figura 51. Curvas esfuerzo Vs penetración calicata C-2	136
Figura 52. Curvas esfuerzo Vs penetración calicata C-3	141
Figura 53. Curvas esfuerzo Vs penetración calicata C-4	146
Figura 54. Curvas esfuerzo Vs penetración calicata C-5	151
Figura 55. Curvas esfuerzo Vs penetración calicata C-6	156
Figura 56. Instrumentos para la toma de datos de campo (Calicatas)	160
Figura 57. Medicación de tramos cada 70 m para ubicación de Calicatas.....	160
Figura 58. Realización de calicata N° 1	160
Figura 59. Realización de calicata N° 2.....	161
Figura 60. Realización de calicata N° 3.....	161
Figura 61. Realización de calicata N° 4.....	161
Figura 62. Realización de calicata N° 5.....	162
Figura 63. Realización de calicata N° 6.....	162
Figura 64. Peso de muestra para realizar el ensayo de análisis granulométrico por lavado	162
Figura 65. Vertido de la muestra para lavado.....	163
Figura 66. Realización del lavado de la muestra.....	163

Figura 67. Muestra lavada para su posterior secado	163
Figura 68. Tamizado de la muestra por las mallas correspondientes para el ensayo de granulometría	163
Figura 69. Ensayo de limite líquido y plástico.....	164
Figura 70. Peso de muestras en tara.....	164
Figura 71. Limite líquido	164
Figura 72. Peso de cada una de las muestras para el ensayo de compactación.....	164
Figura 73. Muestra para realización del ensayo de compactación	164
Figura 74. Mezclado de cada una de las muestras con su respectivo porcentaje de agua	164
Figura 75. Llenado del molde por capas y compactación de la misma con su respectivo número de golpes.....	165
Figura 76. Enrazado de la muestra en el molde.....	165
Figura 77. Materiales para el ensayo de CBR.....	165
Figura 78. Moldes para el ensayo de CBR.....	165
Figura 79. Peso del molde	166
Figura 80. Agregando el porcentaje de agua necesaria a la muestra	166
Figura 81. Enrazado de muestra compactada.....	166
Figura 82. Compactación por capas según el número de golpes.....	166
Figura 83. Peso de muestra compactada más molde	166
Figura 84. Muestras preparadas para Hinchamiento.	166
Figura 85. Muestras colocadas en el agua 4 días.....	167
Figura 86. Lecturas del deformímetro debido al hinchamiento	167
Figura 87. Toma de lecturas de hinchamiento	167
Figura 88. Moldes listos para la prueba de Penetración	167
Figura 89. Máquina para realizar la prueba de penetración.....	167
Figura 90. Realización de prueba de penetración calicata N°1	168
Figura 91. Realización de prueba de penetración calicata N°5	168

RESUMEN

Esta investigación se basa en el análisis comparativo de su comportamiento funcional y económico entre el diseño de pavimento rígido y flexible reforzados con geomalla biaxial en la pavimentación de la Av. Perú de la ciudad de Chota- Cajamarca. Para el cálculo de pavimentos flexibles, primero se realizó el diseño tradicional sin refuerzo (método AASHTO), luego para el diseño reforzado se halló el número estructural según metodología AASHTO para la estructura sin refuerzo, para luego calcular el nuevo espesor de la capa de base y sub-base con refuerzo empleando una geomalla Biaxial BX 1200 y la verificación del aporte estructural con los nuevos espesores de capas de material granular e inclusión de geomalla. En cuanto al diseño del pavimento rígido, primero se realizó el diseño tradicional (AASHTO) sin refuerzo, luego para el diseño reforzado (método AASHTO), utilizando el CBR de la sub-rasante, se calculó el módulo de reacción de la sub-rasante, en función a este valor y el espesor de sub-base previsto, determinamos en valor de K_c con inclusión de geomalla Bx-1200 del reporte preparado por el Dr. Steve Perkins, el cual con este valor se determinó el espesor de la capa de rodadura, también utilizando la misma metodología anterior para calcular el valor de K_c , se verificó el espesor de pavimento rígido reforzado con geomalla utilizando la metodología PCA.

Se determinó el CBR de la sub-rasante de: 3.15%, 3.45%, 2.50%, 4.00%, 3.80% y 4.00%, obtenida según el ensayo de próctor modificado, utilizando como CBR de diseño el valor más crítico de todos los anteriores (2.50%). Se determinó la comparación de capas granulares de pavimentos flexibles con y sin refuerzo de geomalla, respectivamente, teniendo como resultados una disminución debido a la inclusión de geomalla, de 17.65% para la capa de base y 39.29% para la capa de sub-base, de la misma manera se determinó la comparación de pavimentos rígidos con y sin refuerzo de geomalla, la disminución del espesor de la capa granular de sub-base debido a la inclusión de geomalla es de 50%. Finalmente se realizó la comparación de diseños de pavimento rígido y flexible reforzados con geomalla Bx-1200 desde el punto de vista funcional y económico, en el cual está involucrado el valor inicial de la construcción de cada alternativa de éstos durante un periodo de diseño determinado.

Palabras Clave: Pavimentos, Geomalla, Diseño (AASHTO).

ABSTRACT

This research is based on the comparative analysis of its functional and economic behavior between the design of rigid and flexible pavement reinforced with biaxial geogrid in the paving of Av. Perú in the city of Chota-Cajamarca. For the calculation of flexible pavements, first the traditional design without reinforcement (AASHTO method) was carried out, then for the reinforced design the structural number was found according to the AASHTO methodology for the structure without reinforcement, to then calculate the new thickness of the base layer and sub-base with reinforcement using a BX 1200 Biaxial geogrid and the verification of the structural contribution with the new thicknesses of layers of granular material and inclusion of geogrid. Regarding the rigid pavement design, first the traditional design (AASHTO) without reinforcement was carried out, then for the reinforced design (AASHTO method), using the CBR of the subgrade, the reaction modulus of the subgrade was calculated. Based on this value and the predicted sub-base thickness, we determined the Kc value including the Bx-1200 geogrid from the report prepared by Dr. Steve Perkins, which with this value determined the thickness of the layer of rolling, also using the same previous methodology to calculate the Kc value, the thickness of the rigid pavement reinforced with geogrid was verified using the PCA methodology.

The CBR of the sub-grade was determined as: 3.15%, 3.45%, 2.50%, 4.00%, 3.80% and 4.00%, obtained according to the modified protrusion test, using the most critical value of all the previous ones as design CBR (2.50%). The comparison of granular layers of flexible pavements with and without geogrid reinforcement, respectively, was determined, resulting in a decrease due to the inclusion of geogrid, of 17.65% for the base layer and 39.29% for the sub-base layer. In the same way, the comparison of rigid pavements with and without geogrid reinforcement was determined, the decrease in the thickness of the granular sub-base layer due to the inclusion of geogrid is 50%. Finally, a comparison was made of rigid and flexible pavement designs reinforced with Bx-1200 geogrid from the functional and economic point of view, in which the initial value of the construction of each alternative of these during a determined design period is involved.

Key Words: Pavements, Geogrid, Design (AASHTO).

CAPÍTULO I

I. INTRODUCCIÓN

La aplicación de geomallas en la actualidad permite realizar diseños más eficientes de pavimentos rígidos y flexibles, los cuales se pueden optimizar mediante el conocimiento claro de las características estructurales del uso de este material, según la presente investigación; el efecto del uso de geomalla biaxial en el diseño de pavimento rígido y en el diseño de pavimento flexible en la pavimentación de la Av. Perú de la ciudad de Chota, debido al incremento de la resistencia a la tracción de todo el conjunto generada por la geomalla colocada sobre la sub-rasante, permite reducir espesores de capas granulares (base y sub-base) que lo conforman, debido al mejoramiento en la distribución de cargas vehiculares sobre la subrasante, así de esta manera contrarrestar los esfuerzos generados por el aumento del volumen vehicular.

1.1. Planteamiento del Problema

Las vías pavimentadas se ven sometidos desde su puesta en servicio y a lo largo de toda su vida útil a diversos procesos de deterioro. Es por esto, y dada la necesidad de optimizar los recursos que se emplean en el diseño, ejecución y conservación de los mismos nos lleva a realizar un análisis comparativo entre el pavimento flexible y el rígido reforzados con geomalla biaxial BX-1200, con el fin de definir criterios que permitan saber cuál de los dos tiene un mejor comportamiento funcional y económico ya que las características geomorfológicas de las regiones de América y sobre todo de Perú son muy diversas.

En la Av. Perú de la ciudad de chota, según los ensayos de CBRs calculados, se determina que los suelos que conforman la sub-rasante son relativamente blandos. Debido a esto surge la inquietud de comparar los diseños de pavimentos rígidos y flexibles reforzados con geomalla biaxial BX-1200, ya que esta genera un incremento en la capacidad portante del suelo, mejora la distribución de cargas sobre la sub-rasante generadas por el tráfico, así como la posibilidad de otros factores adicionales como la rapidez en el proceso constructivo, reducción de movimiento de tierras y de compactar materiales sobre sub-rasantes blandas y así determinar que pavimentos reforzados con geomalla Biaxial, podría ser más recomendable en vías urbanas y se pueda elegir una correcta solución funcional y económica.

1.2. Formulación del Problema

¿En la pavimentación de la Av. Perú de la ciudad de Chota- Cajamarca qué diseño es el más adecuado el de pavimento rígido o pavimento flexible reforzados con geomalla biaxial BX-1200 en relación a su comportamiento funcional y económico?

1.3. Hipótesis general

Si utilizamos los diseños de pavimento rígido y flexible reforzados con geomalla biaxial BX-1200, serán adecuados para la pavimentación de la Av. Perú de la Ciudad de Chota- Cajamarca.

1.4. Variables

1.4.1. Variable independiente

X = Los diseños de pavimento rígido y flexible reforzados con geomalla biaxial BX-1200.

1.4.2. Variable dependiente

Y = La pavimentación de la Av. Perú de la Ciudad de Chota.

1.5. Justificación de la Investigación

Los resultados de la presente investigación, servirá de base para estudiantes e interesados en investigar sobre este tema, además podrán contribuir en la toma de decisiones, al momento de optar por el tipo de diseño en la elaboración y/o ejecución de proyectos relacionados a carreteras pavimentadas de la zona de estudio.

Este estudio nos permitirá contribuir con la comunidad y brindarles un análisis comparativo entre el pavimento flexible y el rígido, con el fin de definir criterios que permitan saber cuál de los dos tiene un mejor comportamiento funcional y económico, adecuado para sub-rasantes blandas, generando así beneficios sociales para la comunidad, a través del acercamiento a nuevas alternativas en las pavimentaciones de vías urbanas.

1.6. Delimitación de la investigación

La presente investigación solo es válida para analizar un comportamiento funcional y económico de pavimento flexible y rígido reforzados con geomalla biaxial BX-1200 de vías pavimentadas como es el caso de la Av. Perú de la ciudad de Chota- Cajamarca, en el tramo ubicado entre la carretera 3N y Av. Inca Garcilaso de la Vega.

1.7. Limitaciones

En esta investigación se tiene como limitación que los diseños de pavimento rígido y flexible reforzado con geomalla biaxial BX-1200 no han sido muy estudiados en zonas alto andinas como es el caso de la ciudad de Chota.

1.8. Objetivos

1.8.1. Objetivo general

Analizar el diseño de pavimento rígido y el diseño de pavimento flexible reforzados con geomalla biaxial BX-1200 en la pavimentación la Av. Perú de la ciudad de Chota-Cajamarca.

1.8.2. Objetivos específicos

- a) Diseñar los pavimentos rígido y flexible con y sin refuerzo de geomalla Biaxial Bx-1200 en su estructura.
- b) Cotejar el diseño de pavimento rígido con y sin refuerzo de geomalla Biaxial Bx-1200.
- c) Examinar el diseño de pavimento flexible con y sin refuerzo de geomalla Biaxial Bx-1200.
- d) Comparar el diseño de pavimento rígido y flexible reforzados con geomalla Biaxial Bx-1200.
- e) Observar las propiedades de la geomalla biaxial Bx-1200, como el sistema que mejora la capacidad de soporte de la estructura de pavimentos rígidos y flexibles.
- f) Establecer un análisis económico para el pavimento rígido y flexible reforzados con geomalla biaxial BX-1200.

1.9. Descripción de capítulos:

La presente tesis se estructura en base a los siguientes capítulos que se indica a continuación:

Capítulo I – Introducción

Presenta las variables de Problema, Formulación del problema, la Hipótesis, Justificación de la investigación, Delimitación de la investigación, Limitaciones, Los objetivos generales y específicos que se desarrollan en la presente investigación.

Capítulo II – Marco teórico

Se resumen los Antecedentes, bases teóricas y estudios principales sobre pavimentos reforzados con geomallas.

Capítulo III - Materiales y Métodos

Describe la manera en la que se desarrolló el estudio y se plasman los datos necesarios para la realización de la presente tesis.

Capítulo IV – Análisis y Discusión de Resultados

Donde se abarca: el resultado de la investigación, análisis de la información, contrastación de la hipótesis y la interpretación de la información.

Capítulo V – Conclusiones y Recomendaciones

Se presentan los resultados obtenidos del estudio y del análisis de resultados y las recomendaciones que contribuyan a mejorar el diseño de pavimentos.

CAPÍTULO II

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes Teóricos

2.1.1. Antecedentes Internacionales

Cruz Vargas E. (2013). Realizó una tesis con la finalidad de presentar de manera clara, explícita y experimental la teoría básica que le da sustento al uso de geomallas y sobre el impacto en el comportamiento mecánico de los suelos. En su investigación describe el método de diseño para carreteras no pavimentadas reforzadas con geomallas Tensar, desarrollado por el Dr. J.P. Giroud y el Dr. Jie Han., De la misma manera describe el método para carreteras reforzadas con geomallas de US Army Corps of Engineers. ETL- 1110- 1- 189. Concluyendo que, entre los dos métodos planteados, el de mayor utilidad práctica es el procedimiento de diseño de pavimento flexible con ETL- 1110- 1- 189.

2.1.2. Antecedentes Nacionales

Velasquez Lujerio E.P. (2009). Elaboró una investigación con el fin de ilustrar acerca de las ventajas ocasionadas por la utilización de geomallas para el refuerzo de bases, sub-bases y subrasantes en caminos pavimentados o sin pavimentar, mediante la utilización del Software SpectraPave2™, el cual permite diseñar un pavimento flexible sin reforzar como reforzado con geomalla biaxial, además el programa incluye un desglose de los ahorros en agregado, en sobre- excavaciones y generales para el proyecto. El estudio concluye que el uso de las geomallas contribuye al mejoramiento de la sección estructural de los caminos y su colocación generalmente posibilita la utilización de suelos naturalmente malos para conformar la subrasante del camino.

Orrego Cabanillas D.A. (2014). Elaboró una investigación con el fin de determinar si el uso de las geomallas como refuerzo en base granulares dentro de una estructura de pavimento flexible es una alternativa económicamente viable sin disminuir la capacidad estructural de la vía. La metodología de la investigación consistió en diseñar un pavimento de tres formas diferentes, una es una sección convencional o no reforzada (AASHTO 1993) y la otra sección reforzada con geomalla biaxial y multiaxial (GMA WHITE PAPER II). Concluyendo que los espesores obtenidos en las secciones no reforzadas son mayores en todos los casos a los espesores obtenidos en las secciones reforzadas, siendo en promedio un 35% mayor para el caso de geomallas biaxiales y en un 45 % mayor para el caso de geomallas multiaxiales.

2.1.3. Antecedentes Locales

Tingal Huatay W. (2013). Realizo una investigación en donde comparó el diseño de pavimento tradicional AASHTO y el diseño con geomalla en la pavimentación de la Av. Salomon Vilchez Murga de la ciudad de Cutervo, la metodología que utilizó fue diseñar el pavimento de dos maneras a lo largo de la progresiva 0+600 y la progresiva 0+800, una con el método convencional AASTHO y la otra con la utilización de la geomalla BX 1100. El resultado de esta investigación fue que el espesor de la capa base de la sección reforzada fue menor a la capa base de la sección no reforzada en un 21% promedio en todo el tramo.¹

2.2. Bases Teóricas

2.2.1.- AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials, US), mediante el documento M288; especifica las funciones que deben cumplir los geotextiles, en relación al valor del CBR.

$1 < \text{CBR} \leq 3.0$: La función principal que cumple el producto es el de estabilización.

$3 < \text{CBR} \leq 8.0$: la función principal que cumple el producto es la de separación.

2.2.2.- USACE (Army Corps of Engineers, US), ETL 1110-1-189, (2003), documento que sirve como guía para el uso de geomallas para el diseño y construcción de pavimentos. Establece los siguientes parámetros:

$0.5 \geq \text{CBR}$: mejoramiento de la subrasante. No se recomienda realizar reducciones de espesores a pesar del uso de la geomalla.

$0.5 < \text{CBR} \leq 4.0$: mejoramiento de la subrasante y refuerzo de base o subbase. Se debe enfocar el diseño a la reducción de espesores de las capas reforzadas y al aumento de la vida útil de la sección.

$\text{CBR} > 4.0$: refuerzo de base o subbase. Se debe hacer un análisis del costo de vida del proyecto para determinar si es económico el uso de la geomalla.

¹ Mera Heredia, J. 2017

2.3. Utilización de la geomalla como refuerzo de la estructura del pavimento

2.3.1. Introducción a la geomalla

Las carreteras están sometidas a importantes cargas dinámicas debido a la circulación de los vehículos, cargas que provocan la aparición de grietas, que, en conjunto con el agua, aceleran el proceso de deterioro de la estructura de los pavimentos, La existencia de grietas interrumpe la transmisión de las fuerzas transversales inducidas por la acción del tráfico, disminuyendo las propiedades mecánicas de las capas que la conforman. Tradicionalmente el procedimiento que se emplea para solucionar este problema es el tendido de una nueva capa de asfalto, sin embargo, la experiencia ha demostrado que las fisuras con el paso del tiempo, si las condiciones del tráfico no varían o disminuyen, aparecen nuevamente en la nueva capa. Para intentar retrasar este fenómeno, se han empleado carpetas de rodadura con espesores mayores, lo cual representa una solución anti económica, y poco práctica, ya que la transmisión de esfuerzos cortantes entre ambas capas es mínima, causado principalmente por una discontinuidad entre estas, que en algunos casos puede provocar hasta deslizamientos entre la capa superior e inferior, además de originar una mayor altura en los hombros de la carretera.

Con un sistema de refuerzo lo que se busca es lograr un incremento de la resistencia a tracción de todo el conjunto, no creando posibles discontinuidades dentro de las capas de la estructura del pavimento flexible. La utilización de la geomalla surge como solución práctica en los años ochenta en Estados Unidos de Norte América.

Las geomallas pueden ser flexibles de hilos de poliéster, nylon o bien fibra de vidrio de alta densidad, fabricados con polietileno de alta densidad y polipropileno, formadas por una red regular de elementos tensiles de tracción conectados en forma integral, con aberturas, uniones y costillas lo suficientemente grandes como para permitir una traba mecánica importante entre el suelo, el material y agregados circundantes, funcionando principalmente como refuerzo, agregando resistencia a las deformaciones y aumentando la capacidad soporte a las capas que conforman la estructura del pavimento flexible.

Tabla 1. Características de los rollos de geomalla BX Tensar

Características de los rollos de geomalla BX Tensar								
Producto	Ancho del rollo		Longitud del rollo		Peso del rollo		Área del rollo	
	(m)	(pies)	(m)	(pies)	(kg)	(libras)	(m ²)	(yarda ²)
BX110047	3	9.8	75	246	45.6	100.5	225	268
BX110075	4	13.1	75	246	61.2	135	300	358.6
BX120040	3	9.8	50	164	46.3	102	150	179.3
BX120060	4	13.1	50	164	62.6	138	200	239.1
BX130060	4	13.1	50	164	50.5	111.5	200	239.1

Fuente: The Tensar Corporation. Design guideline for flexible pavements with tensar geogrid reinforced base layers: Estado Unidos, abril 1996. Versión en inglés. 121 pp

2.3.2. Diferentes aplicaciones de la geomalla

El movimiento de tierras es cada vez más costoso, las cargas son cada vez más pesadas, y nos encontramos con grandes espesores de relleno. Para solucionar este y otros problemas, es necesario encontrar una solución práctica y económicamente atractiva para poder desarrollar los diferentes proyectos de ingeniería. Esta solución la constituye la utilización e implementación de la geomalla, brindando tecnología de aplicación innovadora con productos alternativos que mejoran la construcción y el movimiento de tierras, entre otros, sirviendo a una gran variedad de mercados industriales y comerciales, centrado principalmente en los siguientes campos de aplicación:

- A.** Sistemas de mejoramiento de caminos
- B.** Taludes reforzados
- C.** Sistema de mejoramiento de cimentación
- D.** Sistema de muros de retención
- E.** Sistema de muros de retención temporales
- F.** Sistema de retención de taludes
- G.** Sistemas mineros
- H.** Sistemas costeros y fluviales
- I.** Sistemas de gestión de residuos

2.3.2.1. Sistemas de mejoramiento de caminos

Ya sea que el sistema se utilice para mejorar la sub rasante, para reforzar la capa de base, o ambas, se obtiene como resultado un mejor rendimiento y economía de los pavimentos flexibles.

Figura 1. Tramo de terreno natural sin refuerzo y con refuerzo de geomalla utilizando el material in- situ

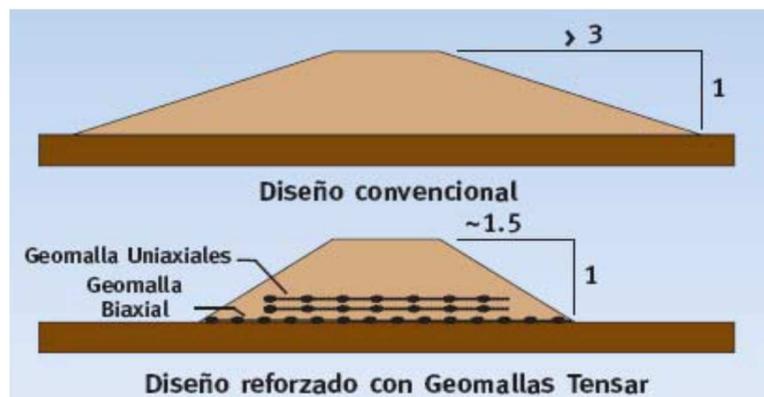


Fuente: Tensar International Corporation

2.3.2.2. Taludes reforzados

El sistema minimiza la “superficie” del terraplén, así como sus requisitos de relleno y potencial de asentamiento.

Figura 2. Sistema de refuerzo de taludes



Fuente: Tensar International Corporation

2.3.2.3. La geomalla como refuerzo de la sub rasante

En suelos blandos las sub-rasantes débiles representan un problema común en la construcción de pavimentos, el fallo de la misma conduce al deterioro rápido de la estructura del pavimento.

Tradicionalmente, estas sub-rasantes débiles, pobres o contaminadas han sido removidas para ser reemplazadas con relleno de material importado, o bien estabilizadas químicamente. Sin embargo, estas opciones son sumamente caras y consumen mucho tiempo durante el proceso constructivo.

Con la incorporación de la geomalla se aumenta el rendimiento de la sub-rasante, formando una estructura de pavimento más resistente, dando a la misma una capa de cimentación estable y mucho más resistente, actuando como una plataforma constructiva, mejorando la compactación, reduciendo la oscilación y el punzonamiento maximizando la capacidad de carga de la sub-rasante, además de reducir costos y tiempos provocados por el movimiento de tierras.²

Figura 3. *Tendido de la geomalla directo sobre una sub- rasante blanda*



Fuente: Tensar Earth Technologies, Inc.

Esto se logra mediante la distribución de cargas de manera más eficiente, reduciendo la presión sobre la sub-rasante, mejorando de este modo su desempeño, utilizando el mismo principio de las raquetas para nieve, que soportan el peso de un hombre sobre la nieve blanda, transformando la carga puntual en una carga distribuida.

Figura 4. *Principio de la raqueta de nieve*

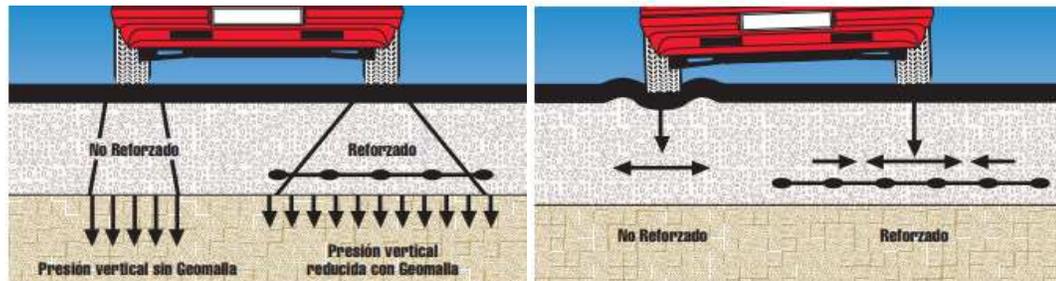


Fuente: Tensar Earth Technologies, Inc.

² U.S Army Corps of Engineers, Geotechnical Laboratory

La geomalla debe tener la capacidad de distribuir cargas eficazmente sobre la sub-rasante, de manera amplia y pareja, debe de existir una interacción compleja entre la geomalla y el material.

Figura 5. Distribución de cargas y esfuerzos sobre la sub-rasante con geomalla



Fuente: Tensar International Corporation

En la medida en que la resistencia de la sub-rasante se incrementa, la aplicación de la geomalla va de estabilización mecánica de la misma, a refuerzo de la capa de base granular, en general, la utilización de la geomallas se recomienda para sub-rasantes, en los rangos de:

- ✓ CBR, entre cero y dos, para permitir la construcción de una plataforma de trabajo (mejoramiento de la sub-rasante) y proteger la sub-rasante ante fallas por capacidad soporte.
- ✓ CBR entre dos y cuatro, para garantizar la estabilidad de las capas granulares.
- ✓ CBR, mayor a cuatro, para reducir el espesor de las capas de base granular y aumentar la vida útil de la estructura del pavimento flexible.

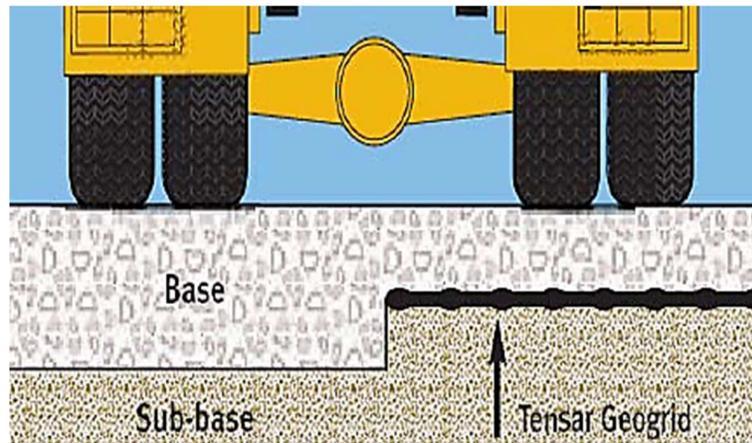
2.3.2.4. La geomalla como refuerzo de la base de la estructura del pavimento flexible

Con frecuencia, las estructuras de pavimento flexible fallan prematuramente porque el material de la capa de base se esparce lateralmente de los senderos de las ruedas, produciendo el ahuellamiento, alejándose de las cargas del tránsito. Dando como resultado la rotura de la superficie del pavimento.

Se ha podido demostrar que la utilización de la geomalla aumenta significativamente la vida útil de la estructura del pavimento flexible, además de contribuir con la reducción de las capas de base, y aumentar la capacidad soporte de la misma, dando como

resultado un ahorro significativo en los costos tanto de construcción como de operación.³

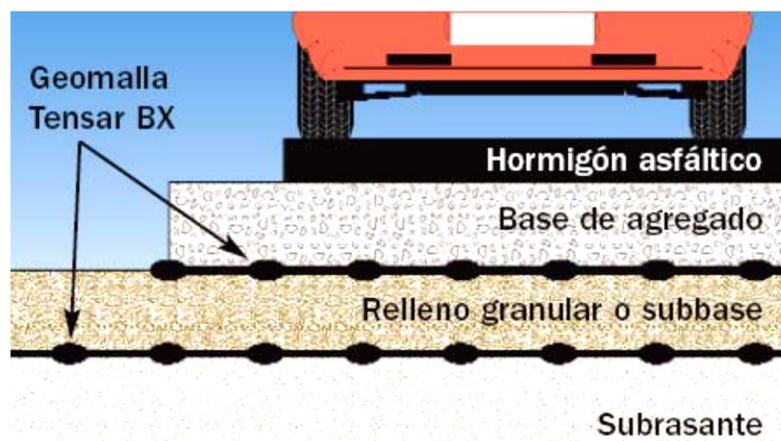
Figura 6. Reducción del movimiento de tierras y espesor de la capa base



Fuente: Tensar International Corporation

Las geomallas han sido utilizadas con éxito como refuerzo de estructuras granulares en pavimentos flexibles desde el año de 1980 en Estados Unidos. Este tipo de refuerzo se ha definido como refuerzo de base, como efecto de restricción lateral o de refuerzo de confinamiento, debido a la unión que se genera en la interacción del suelo granular con la geomalla. El agregado no reforzado se desplaza lateralmente bajo las cargas del tráfico, causando el ahuellamiento, y finalmente el fallo de la estructura del pavimento flexible. Las capas reforzadas con geomalla resisten este movimiento lateral y brindan un mejor desempeño a largo plazo.

Figura 7. Ubicación de la geomalla dentro de la estructura del pavimento



Fuente: Tensar International Corporation

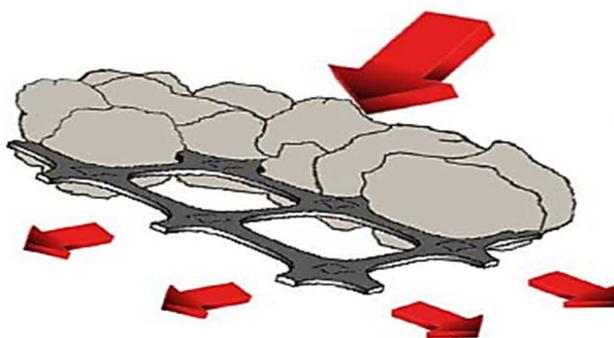
³ U.S Army Corps of Engineers, Geotechnical Laboratory

La restricción al desplazamiento lateral hace referencia al confinamiento que restringe el desplazamiento del material granular ante la aplicación de cargas. Dado que la mayoría de los materiales utilizados para la construcción de pavimentos flexibles son esfuerzo – dependientes, la restricción al desplazamiento lateral hace que queden trabajando permanentemente a compresión, obteniendo como resultado un aumento en el módulo mecánico de la capa de base, lo que significa una mayor capacidad soporte y de distribución de esfuerzo, por lo tanto, menores deformaciones sobre la sub-rasante.

La geomalla actúa como una barrera que controla la superficie inferior de la envolvente de falla que se genera, confinándola completamente a la capa de base granular, que ofrece mayor resistencia que la sub-rasante.

El refuerzo a tensión que ejerce la geomalla interactuando con el suelo y el mecanismo vertical resultante, están en función del módulo de deformación elástica de la geomalla y de la restricción lateral al movimiento del suelo granular, utilizando para ello, de preferencia suelos granulares con mayor cantidad de partículas angulares, para obtener un mayor efecto de refuerzo como resultado de la interacción de las partículas y la geomalla.

Figura 8. Interacción entre geomalla y el material granular



Fuente: Tensar International Corporation

La colocación de una o varias capas de geomalla dentro o en el fondo de la capa de base, permite la interacción por cortante entre el agregado y la geomalla, a medida que la base trata de desplazarse lateralmente. La carga por cortante es transmitida desde el agregado de la capa granular hacia la geomalla y la coloca en tensión. La relativamente alta rigidez de la geomalla actúa para retardar el desarrollo de la deformación por tensión en el material adyacente a esta. Una deformación lateral más pequeña de la base se traduce en menor deformación vertical de la superficie de rodadura.

Cuando se diseña un refuerzo de la estructura granular de un pavimento flexible, debe tenerse en cuenta que las aperturas de la geomalla permitan una buena interacción con el suelo y especialmente que garantice una baja deformación a lo largo de la vida útil de la misma, ante la permanente repetición de cargas dinámicas, que exigen a la geomalla mantener su resistencia a la tensión, para no permitir deformaciones en la estructura del pavimento flexible.

2.3.3. Tipos de geomallas y sus características

Las geomallas pueden ser flexibles de hilos de poliéster, nylon o fibra de vidrio de alta tenacidad, u homogéneos de alta densidad fabricados con polietileno, polipropileno, o bien fibra de vidrio para casos especiales.

La geomalla es una red regular de elementos tensiles conectados integralmente, con una geometría de apertura suficiente para permitir una traba mecánica importante con el suelo, agregados y material que le rodea.

Para todos los tipos de geomalla el porcentaje del área abierta debe estar entre el cincuenta y ochenta por ciento, según recomendación del Cuerpo de Ingenieros de los Estado Unidos.

Todas las geomallas deberán tener una resistencia mínima en las costillas, o juntas, de cuarenta libras, si esto no se cumple entonces deberá tener una masa mínima de 8 onzas por yarda cuadrada, y una rigidez flexional de 30.000 mg-cm.

Las mallas de polietileno y de polipropileno, deben contar con los tratamientos antioxidantes para estabilizarlos dentro del proceso de fabricación, para protegerlos durante la construcción y su vida útil, introduciendo la cantidad de carbón necesario para lograr dicho efecto.

Todas estas características forman una cadena de propiedades que confiere a las geomallas su capacidad para mejorar el rendimiento de la estructura del pavimento flexible.

2.3.3.1. Geomallas uni-axiales

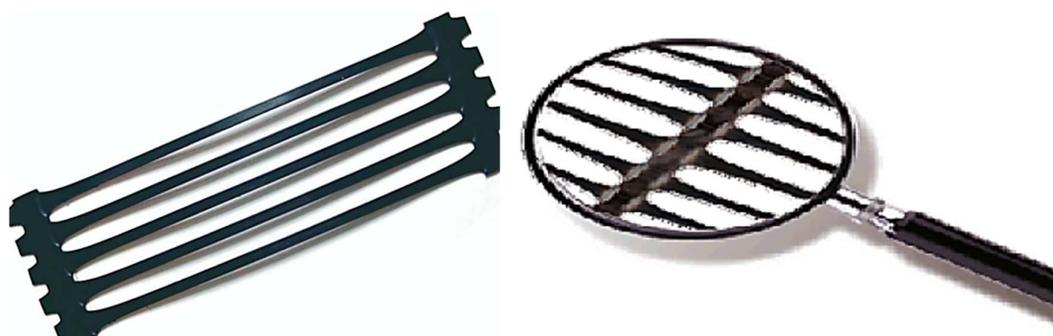
Las geomallas uni-axiales poseen toda su capacidad alineada en una única dirección, con juntas transversales, éstas, se utilizan en aplicaciones donde se conoce a ciencia cierta la dirección de aplicación de la carga, soportando así grandes cargas de

tracción en la dirección del rollo, por ejemplo, en el refuerzo de taludes y muros, fabricadas principalmente con polietileno.

Estas suelen utilizarse como un refuerzo primario del suelo, brindándole resistencia al mismo, permitiendo en el caso de taludes, tomar ángulos de inclinación prácticamente verticales.

Actúan mediante dos mecanismos, por un lado, transfieren las tensiones resistentes al suelo por el empuje pasivo que se genera en los miembros transversales de la misma, y por el otro lado, crean esfuerzos de fricción entre el suelo y sus superficies horizontales (costillas). Ambos mecanismos se resisten al movimiento o *pull out* de la malla, creando un refuerzo eficaz.

Figura 9. Geomalla uni-axial y detalle de costilla



Fuente: Tensar International Corporation

2.3.3.2. Geomallas bi-axiales

Las geomallas bi-axiales poseen su capacidad de carga en ambas direcciones, aproximadamente perpendiculares entre sí, y se utilizan para refuerzos con cargas en direcciones variables, por ejemplo, carreteras.

Resisten altas cargas, a corto plazo o cargas moderadas durante períodos prolongados de tiempo, aplicadas en cualquier dirección del plano de colocación de la misma.

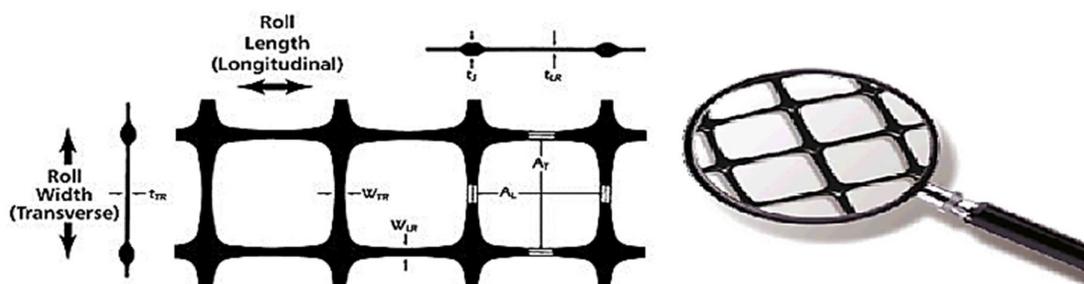
Estas son fabricadas principalmente con resinas selectas de polipropileno, son química y biológicamente inertes y muy resistentes a procesos degenerativos de los suelos, además de ser resistentes al desgaste, rasgaduras y punzonamiento, a fin de resistir cargas dinámicas aplicadas en cualquier dirección del plano de la malla.

Dentro de las geomallas bi-axiales, pueden diferenciarse otros dos grupos, las geomallas rígidas y las geomallas flexibles. Las primeras son aquellas fabricadas de polipropileno, y las segundas fabricadas generalmente con fibras de poliéster unidas en los puntos de encuentro mediante diferentes métodos de tejido con un revestimiento generalmente de PVC.

La función más importante que debe cumplir la geomalla bi-axial es la de servir de refuerzo de las capas de la estructura de pavimento flexible, ayudando efectivamente a soportar las cargas vehiculares sobre la misma, ya sea durante el proceso constructivo, o bien durante su funcionamiento.

A partir de investigaciones realizadas en Estado Unidos, se ha demostrado que para el refuerzo de bases granulares en pavimentos flexibles, se requiere que la geomalla bi-axial esté a una profundidad óptima entre 25 y 35 cm de la superficie de rodadura, para lograr un mejor desempeño de la misma y obtener todos los beneficios proporcionados por la geomalla.

Figura 10. Geomalla bi-axial y detalle de costilla



Fuente: Tensar International Corporation

La presencia de la geomalla bi-axial en la capa de base ha demostrado contribuir con el cambio en las condiciones de carga y deformación del material de la sub-rasante, ya que la rigidez incrementada en esta capa da lugar a una reducción en las tensiones verticales actuantes sobre la sub-rasante.

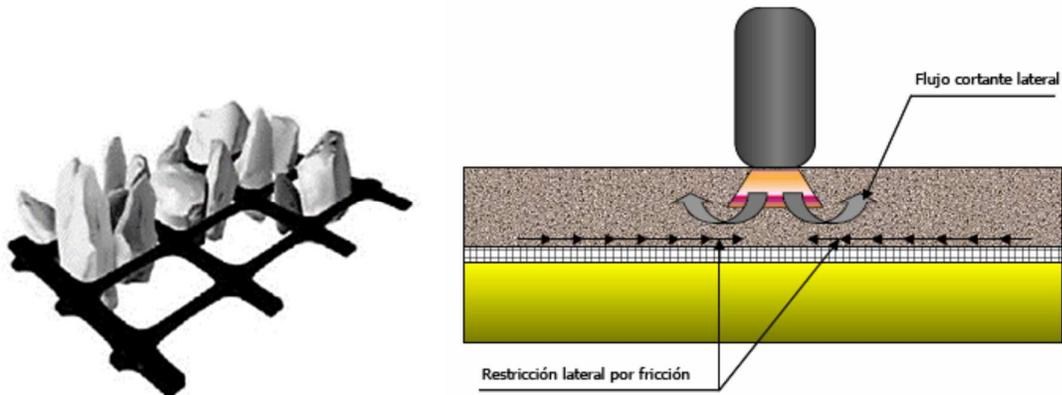
2.3.4. Mecanismos de refuerzo generados por las geomallas

A través de múltiples investigaciones (Giroud y Noiray, 1,981; Giroud et al. 1,985; Berg et al, 2,000), se ha encontrado que los 3 mecanismos principales de refuerzo que proporciona una geomalla biaxial son los siguientes:

2.3.4.1. Confinamiento lateral de la base o subbase

El cual se logra a través de la fricción y trabazón de la geomalla con el agregado. Esto se presenta debido a que los módulos de los materiales granulares son dependientes del estado de esfuerzos, al aumentar el confinamiento lateral, aumenta el módulo de la capa granular sobre la geomalla.

Figura 11. Restricción del desplazamiento lateral y confinamiento del material

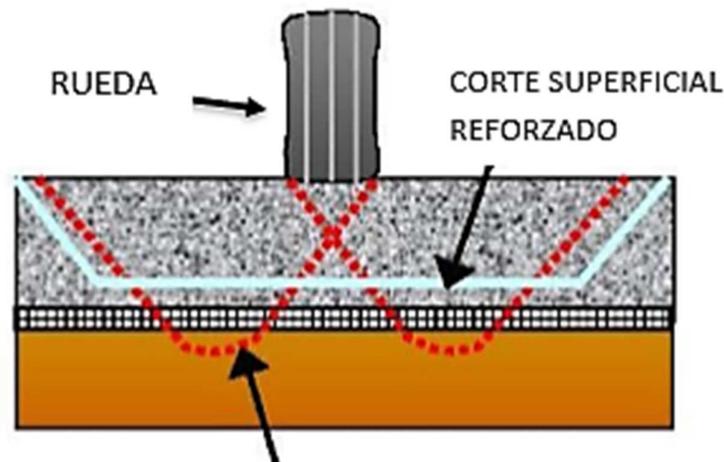


Fuente: U.S Army corps of Engineers ETL 1110-1-189

2.3.4.2. Mejoramiento de la capacidad portante

Se logra desplazando la superficie de falla del sistema de la subrasante blanda hacia la capa granular de mucha más resistencia. Este mecanismo tiende a tener mayor validez en vías sin pavimentar o cuando el estado de esfuerzos sobre la subrasante es alto.

Figura 12. Mejora de la capacidad de soporte del suelo

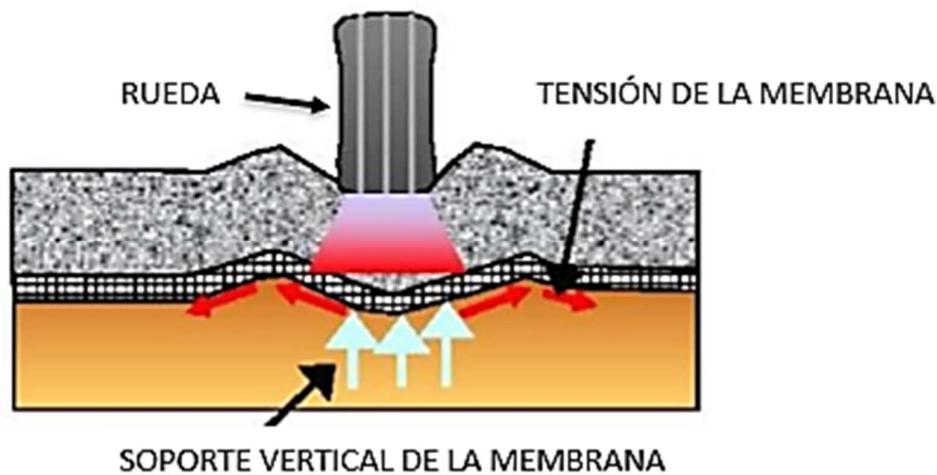


Fuente: U.S Army corps of Engineers ETL 1110-1-189

2.3.4.3. Membrana tensionada

Este efecto se origina en la propiedad por la cual un material flexible elongado, al adoptar una forma curva por efecto de la carga, el esfuerzo normal sobre su cara cóncava es mayor que el esfuerzo sobre la cara convexa, lo cual se traduce en que bajo la aplicación de carga el esfuerzo vertical transmitido por la geomalla hacia la subrasante es menor que el esfuerzo vertical transmitido hacia la geomalla. Sin embargo, este mecanismo solo ocurre a niveles de deformación demasiados altos como los que ocurren en vías sin pavimentar después de un número de repeticiones de carga elevado.

Figura 13. Efecto de membrana tensionada producido por la geomalla



Fuente: U.S Army corps of Engineers ETL 1110-1-189

De acuerdo con lo anterior, el mecanismo de mayor importancia para las estructuras viales es el confinamiento lateral, mediante el cual se alcanzarían 4 beneficios principales:

- ❖ **Restricción del desplazamiento lateral de los agregados de la base o subbase.**

La colocación de una o varias capas de la geomalla dentro o en el fondo de la capa de base permite la interacción por cortante entre el agregado y la geomalla, a medida que la base trata de desplazarse lateralmente. La carga por cortante es transmitida desde el agregado de la capa granular hacia la geomalla y la coloca en tensión. La alta rigidez de la geomalla actúa para retardar el desarrollo de la deformación por tensión en el material adyacente a esta, situación que se generará constantemente en la zona donde se encuentra un diferencial de tipos de estructura. Una deformación lateral más pequeña de la base o subbase se traduce en menor deformación vertical de la superficie de la vía.

❖ **Aumento del confinamiento y de la resistencia de la base o subbase en la vecindad del refuerzo.**

Se espera un incremento en la rigidez de la capa granular cuando se desarrolla una adecuada interacción entre esta y la geomalla. Un aumento en el módulo de la base resultaría también en menores deformaciones verticales dinámicas recuperables de la superficie de la vía, implicando una reducción en la fatiga del pavimento.

❖ **Mejoramiento en la distribución de esfuerzos sobre la subrasante.**

En sistemas estratificados, cuando existe un material menos rígido por debajo de la base o subbase, un aumento en el módulo de la capa de base o subbase resulta en una distribución de los esfuerzos verticales más amplia sobre la subrasante. En términos generales, el esfuerzo vertical en la subbase o subrasante directamente por debajo de la geomalla y de la carga aplicada debe disminuir a medida que aumenta la rigidez de la base. Esto se refleja en una deformación superficial menor y más uniforme.

❖ **Reducción del esfuerzo y deformación por corte sobre la subrasante.**

La disminución de la deformación por corte transmitida desde la base o subbase hacia la subrasante a medida que el cortante de la base transmite las cargas tensionales hacia el refuerzo, sumado a los menores esfuerzos verticales genera un estado de esfuerzos menos severo que lleva a una menor deformación vertical de la subrasante.

2.3.5. Características específicas para geomallas utilizadas en refuerzo de pavimentos

2.3.5.1. Tamaño de la abertura

Las aberturas de las geomallas deben ser lo suficientemente grandes, como para permitir que los agregados y el suelo penetren a través de ellas, pero lo suficientemente pequeñas para proporcionar una trabe eficaz. Se ha demostrado que una abertura entre 0.9 y 1.5 pulgadas tiene el mejor desempeño con la mayor parte de las combinaciones de agregados y suelos de las bases para carreteras.

2.3.5.2. Área de la abertura

El área de abertura es un porcentaje del área total de la geomalla medida en sentido horizontal. Para todos los tipos de geomalla este porcentaje debe de ser entre el 50 y 80% del área total. Las geomallas con mayor estabilidad de apertura tienen un mejor desempeño en campo.

2.3.5.3. Grosor de las costillas y uniones

Las costillas cuadradas o rectangulares y gruesas proporcionan mejor interacción con los suelos al momento de confinar las partículas, en comparación a las costillas redondeadas y angostas.

2.3.5.4. Resistencia a la torsión

También es conocido como módulo de estabilidad de la abertura, es la resistencia al movimiento de rotación en el plano de una carga aplicada a la unión central de una muestra.

2.3.5.5. Resistencia a la flexión

Esta característica simplifica la instalación en campo ya que ofrece resistencia a la deformación durante y después de la instalación de la geomalla.

2.3.5.6. Resistencia a la tensión

Para el caso de las geomallas uni-axiales esta resistencia se da únicamente en un sentido, en el sentido longitudinal de la misma, o bien el sentido del rollo.

Para el caso de la geomallas bi-axiales esta resistencia se presenta en ambos sentidos, sin embargo, presentan mayor capacidad a la tensión en el sentido longitudinal, o bien el sentido del rollo.

2.3.5.7. Resistencia de las juntas

Todas las geomallas deben tener una resistencia mínima en las uniones o costillas de cuarenta libras, con el fin de transmitir eficazmente las cargas de costilla a costillas, a lo largo y ancho de toda la geomalla.

2.3.6. Procedimiento de instalación en campo

Al recibir el producto en campo, debe de asegurarse de haber recibido el producto solicitado, ya que las geomallas tienen un aspecto similar a simple vista, pero distintas características estructurales. Examinar la geomalla para asegurarse que no tiene defectos o daños que pudieron haberse producido durante el envío y manipulación del producto. Es indispensable almacenar las geomallas de tal modo que no tengan contacto excesivo con lodo, concreto húmedo y otros materiales nocivos que puedan quedar adheridos a ella. Se pueden almacenar descubiertas durante seis meses a la intemperie, en forma vertical o tradicionalmente en forma horizontal en pilas de hasta cinco rollos de altura.

Figura 14. Rollos de geomalla apilados correctamente



Fuente: Tensar International Corporation

- ✓ Remover la capa vegetal, eliminando raíces troncas y toda clase de vegetación y desechos que se encuentren dentro del ancho de la vía a construir.
- ✓ Nivelar con equipo adecuado para lograr una superficie lo más uniforme posible.
- ✓ La instalación de la geomalla debe de realizarse durante el día, en ausencia de lluvia, es recomendable no extender los rollos de geomalla durante la noche ya que la iluminación artificial no garantiza suficiente visibilidad ni permite identificar y corregir de inmediato los defectos que pudieran surgir durante la instalación.
- ✓ Sobre la vía, desenrollar la geomalla en la dirección del tráfico, de manera que el eje largo del rollo ruede paralelo a los patrones del tráfico, para sub-rasantes muy blandas es aconsejable desenrollar la geomalla en forma transversal o perpendicular a la alineación del terraplén del camino.

Figura 15. Colocación y tendido de la geomalla



Fuente: Tensar International Corporation

Traslapar los rollos adyacentes en sus costados y extremos, de acuerdo con los datos de la tabla 2.

Tabla 2. Traslapes recomendados para geomalla

Resistencia de la subrasante	¿Se debe eliminar la vegetación?	Orientación de BX ³	Traslape de BX ⁴	¿Ataduras? ^{1,2}	¿Tráfico directo? ⁵
CBR ≤ 0,5	N	T o L	90 cm	S	N
0.5 ≤ CBR ≤ 2	Usualmente	L	60cm – 90cm	N	N
2 ≤ CBR ≤ 4	S	L	30cm – 60cm	N	LIMITADO
4 ≤ CBR	S	L	30 cm	N	S

Notas:

1. El resumen es una presentación general, consulte el texto para obtener información específica.
2. S= Si, normalmente se requiere; N=No, normalmente no se requiere.
3. Orientación de la geomalla (eje del rollo en relación con el tráfico): T=Transversal, L=Longitudinal.
4. Regla general de traslape de la geomalla: Traslape= 90 cm para CBR≤1; Traslape =30 cm para CBR≥3; interpolar.
5. Trafico directo se refiere solo a equipos convencionales con neumáticos.

Traslapar las geomallas en la dirección que se esparcirá el relleno para evitar que se levante en los traslapes a medida que avanza el mismo. Para acelerar el proceso de traslape de la geomalla es recomendable colocar los rollos en el extremo más alejado del

área de cobertura primero, avanzada hacia el extremo desde donde se esparcirá el relleno.

Figura 16. *Traslape de la geomalla en campo*



Fuente: Tensar International Corporation

Para el caso de las sub-rasantes muy blandas, es recomendable la utilización de ataduras de cable de nylon, para ayudar a mantener las dimensiones del traslape, es importante tomar en cuenta que estas ataduras no son consideradas como conexiones estructurales, simplemente son medios auxiliares durante el proceso constructivo.

Para segmentos de curva, tapaderas de drenajes y otras estructuras y obras inamovibles que se encuentren a lo largo del trayecto, se puede realizar el corte de la geomalla con cualquier instrumento similar a un cuchillo o con una sierra mecánica de mano, siempre y cuando se utilice el equipo de seguridad adecuado y respetando los traslapes correspondientes.

Figura 17. Colocación de la geomalla en curva



Fuente: Tensar International Corporation

Figura 18. Corrección de arrugas y corte de la geomalla



Fuente: Tensar International Corporation

Es importante colocar la geomalla en sesiones de trabajo diarias, para mantener la correcta alineación durante todo el tramo.

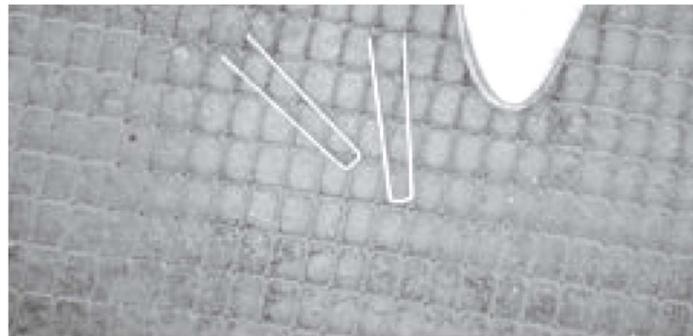
Para mantener los traslapes y la alineación en toda el área de cobertura se debe de sujetar, antes de desenrollar totalmente la geomalla, al comienzo del rollo, en el centro y las esquinas. Esto se puede lograr con pequeñas pilas de material, con arandelas, clavijas o bien utilizando grapas grandes de gran calibre, colocándolas a través de las aperturas de la geomalla, nunca rasgando el producto.

Figura 19. Fijación de la geomalla por medio de clavijas



Fuente: Tensar International Corporation

Figura 20. Grapas grandes de gran calibre para fijación de la geomalla



Fuente: Tensar International Corporation

Para que ésta quede bien tensa, se debe desenrollar la geomalla, alinearla y estirla en forma manual para eliminar las arrugas. Puede ser necesario, dependiendo del proyecto, la utilización de clavijas o grapas adicionales para mantener la geomalla en posición, antes de colocar el material de relleno.

Figura 21. Geomalla alineada y tensada



Fuente: Tensar International Corporation

Al momento de esparcir el material sobre la geomalla con maquinaria, es común que el desplazamiento genere ondulaciones de la geomalla delante del relleno que avanza, provocando que estas ondulaciones se eleven a tal grado que puedan ser dañadas por el equipo de tendido. Para solucionar esto, se debe de tensar nuevamente la geomalla en el sector afectado, eliminando en este caso la ondulación si fuera pequeña. Por otro lado, si la ondulación es considerablemente grande y la geomalla no está lo suficientemente tensa, deben eliminarse por completo las clavijas o el material apilado para permitir que las ondulaciones se disipen en los extremos y bordes del rollo.

No se debe, por ningún motivo, conducir directamente los vehículos de oruga sobre la geomalla. Para poder hacer esto, se debe de contar con una capa de por lo menos 15 cm de espesor de relleno, entre la geomalla y las orugas.

Debe tenerse cuidado que los dispositivos y accesorios de la maquinaria pesada, no queden atrapadas con la geomalla, las cuchillas deben de levantarse gradualmente a medida que se vierta el material de relleno, procurando que el mismo caiga en forma de cascada sobre la geomalla, en lugar de ser empujado sobre ella.

Figura 22. *Tendido de material sobre la geomalla*



Fuente: Tensar International Corporation

Pueden utilizarse los métodos de compactación estándar, en el caso de suelos muy blandos, se recomienda la compactación estática, en lugar de la vibratoria, con un rodillo liviano, manteniendo el porcentaje de humedad óptimo del relleno para lograr una compactación más eficaz. Si se forman surcos debido al tráfico de camiones o niveladoras, deberá colocarse el material de relleno de inmediato para reforzar la sección.

Una compactación inadecuada producirá la formación de surcos en la superficie debajo de las cargas de las ruedas, estos reducen el espesor efectivo total del relleno y aumentan la tensión en la sub-rasante.

Figura 23. Procedimiento de compactación tradicional



Si la geomalla se daña durante o después de la instalación, se debe de reparar colocando un parche en el área dañada, sustituir el relleno y colocar el parche extendiéndolo un metro más allá del área dañada en todas las direcciones.

Si se forman surcos debajo de las ruedas de los camiones, no se deben de nivelar. Los surcos normalmente indican que el relleno es demasiado delgado, está demasiado húmedo o no está bien compactado. Los surcos se deben de rellenar y compactar, proporcionando un relleno extra en las áreas donde se necesite.

2.3.7. Características de los materiales para bases y sub bases

Todos los materiales deberán cumplir los requerimientos que se dan a continuación. Los materiales que incumplan los requisitos y sus tolerancias (ver 3), será rechazados por la Supervisión y serán restituidos por el Contratista a su costo, en los plazos que indique la *Supervisión*.

- 2.3.7.1. De los Geosintéticos: Estos materiales deberían cumplir los requisitos mínimos establecidos en la Normas Técnicas Peruanas del INDECOPI, en las Normas de Ensayo de Materiales del MTC o en ausencia de ellas, en las Normas Técnicas internacionales vigentes.

2.3.7.2. De la sub-base: Estos materiales deberán cumplir los requisitos mínimos establecidos en las siguientes tablas:

Tabla 3. Gradación de materiales para sub-base granular

Tamiz	Porcentaje que Pasa en Peso			
	Gradación A*	Gradación B	Gradación C	Gradación D
50 mm (2")	100	100	---	---
25 mm (1")	---	75 - 95	100	100
9,5 mm (3/8")	30 - 65	40 - 75	50 - 85	60 - 100
4,75 mm (N°4)	25 - 55	30 - 60	35 - 65	50 - 85
2,0 mm (N°10)	15 - 40	20 - 45	25 - 50	40 - 70
4,25 µm (N°40)	8 - 20	15 - 30	15 - 30	25 - 45
75 µm (N°200)	2 - 80	5 - 15	5 - 15	8 - 15

Fuente: Sección 303 de las EG-2000 del MTC

*La curva de gradación "A" deberá emplearse en zonas cuya altitud sea igual o superior a 3000 msnm.

Además, el material también deberá cumplir con los siguientes requisitos de calidad:

Tabla 4. Requerimientos de calidad para Sub-Base Granular

Ensayo	Norma	Requerimiento	
		< 3000 msnmm	≥ 3000 msnmm
Abrasión Los Ángeles	NTP 339.135:1999	50 % máximo	
CBR de laboratorio	NTP 339.135:1999	30-40 % mínimo *	
Limite Liquido	NTP 339.135:1999	25% máximo	
Índice de Plasticidad	NTP 339.135:1999	6% máximo	4% máximo
Equivalente de Arena	NTP 339.135:1999	25% máximo	35% mínimo
Sales Solubles Totales	NTP 339.135:1999	1% máximo	

* 30% para pavimentos rígidos y de adoquines. 40% para pavimentos flexibles.

Fuente: Norma NTE. CE.010 Pavimentos Urbanos

2.3.7.3. De la base: Estos materiales deberán cumplir los requisitos de gradación establecidos en la siguiente tabla:

Tabla 5. Requerimientos Granulométricos para Base Granular

Tamiz	Porcentaje que Pasa en Peso			
	Gradación A*	Gradación B	Gradación C	Gradación D
50 mm (2")	100	100	---	---
25 mm (1")	---	75 - 95	100	100
9,5 mm (3/8")	30 – 65	40 – 75	50 – 85	60 – 100
4,75 mm (N°4)	25 – 55	30 – 60	35 – 65	50 – 85
2,0 mm (N°10)	15 – 40	20 – 45	25 – 50	40 – 70
4,25 µm (N°40)	8 – 20	15 – 30	15 – 30	25 – 45
75 µm (N°200)	2 – 80	5 – 15	5 – 15	8 – 15

Fuente: Sección 305 de las EG-2000 del MTC

*La curva de gradación "A" deberá emplearse en zonas cuya altitud sea igual o superior a 3000 msnm.

El material de base Granular deberá cumplir además con las siguientes características físico-mecánicas y químicas que a continuación se indica:

Tabla 6. Valor Relativo de Soporte, CBR NTP 339.145:1999

Vías Locales y Colectoras	Mínimo 80%
Vías Arteriales y Expresas	Mínimo 100%

Fuente: Norma CE.010 Pavimentos urbanos

2.3.8. Especificaciones técnicas constructivas

Los requisitos mínimos para los diferentes tipos de pavimentos, son los indicados en la tabla 7.

Tabla 7. Requisitos mínimos para diferentes tipos de pavimentos

Tipo de Pavimento		Flexible	Rígido	Adoquines
Elemento				
Sub-rasante		95% de compactación: Suelos Granulares – Próctor Modificado Suelos Cohesivos – Próctor Estándar		
		Espesor compactado: ≥ 250 mm – Vías locales y colectoras ≥ 300 mm – Vías arteriales y expresas		
Sub-base		CBR ≥ 40% 100% Compactación Próctor Modificado	CBR ≥ 30% 100% compactación Próctor Modificado	
Base		CBR ≥ 80% 100% Compactación Próctor Modificado	N.A.*	CBR ≥ 80% 100% Compactación Próctor Modificado
Imprimación/capa de apoyo		Penetración de la imprimación ≥ 5 mm	N.A.*	Cama de arena fina, de espesor comprendido entre 25 y 40mm
Espesor de la capa de rodadura	Vías locales	≥ 50 mm	≥ 150 mm	≥ 60 mm
	Vías colectoras	≥ 60 mm		≥ 80 mm
	Vías arterias	≥ 70 mm		NR**
	Vías expresas	≥ 80 mm	≥ 200 mm	NR**

Fuente: Norma CE.010 Pavimentos urbanos

2.3.9. CBR de diseño de pavimentos rígidos y flexibles

Para la obtención del valor CBR de diseño de la subrasante, se debe considerar lo siguiente:

- a. En los sectores con 6 o más valores de CBR realizados por tipo de suelo representativo o por sección de características homogéneas del suelo se determina el valor del CBR de diseño de la subrasante considerando el promedio total de los valores analizados por sector de características homogéneas.
- b. En los sectores con menos de 6 valores de CBR realizados por tipo de suelo representativo o por sección de características homogéneas de suelos, se determinará el valor de CBR de diseño de la subrasante en función a los siguientes criterios:
 - ✓ Si los valores son parecidos o similares, tomar el valor promedio.
 - ✓ Si los valores no son parecidos tomar el valor más crítico (el más bajo) o en todo caso subdividir la sección a fin de agrupar los subsectores con valores de CBR

parecidos o similares y definir el promedio. La longitud de los subsectores no será menor a 100m. Son valores CBR parecidos o similares los que se encuentran dentro de un determinado rango de categoría subrasante, según tabla 8.

- c. Una vez definido el valor del CBR de diseño, para cada sector de características homogéneas, se clasificará a que categoría de subrasante pertenece el sector o subtramo, según lo siguiente:

Tabla 8. Categoría de Subrasante

Categorías de Subrasante	CBR
S ₀ : Subrasante Inadecuada	CBR < 3%
S ₁ : Subrasante Pobre	De CBR ≥ 3% A CBR < 6%
S ₂ : Subrasante Regular	De CBR ≥ 6% A CBR < 10%
S ₃ : Subrasante Buena	De CBR ≥ 10% A CBR < 20%
S ₄ : Subrasante Muy Buena	De CBR ≥ 20% A CBR < 30%
S ₅ : Subrasante Excelente	De CBR ≥ 30%

Fuente: Manual carreteras. Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos del MTC.

2.4. Método AASHTO para diseño de pavimentos flexibles

Según el Manual de diseño de pavimentos flexibles método AASHTO. Los modelos matemáticos respectivos también requieren de una calibración para las condiciones locales del área donde se pretenden aplicar.

A. Ecuación básica de diseño usada para pavimentos flexibles

$$\log_{10} W_{18} = Z_r S_0 + 9.36 \log_{10} (SN + 1) - 0.20 + \frac{\log_{10} \left(\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5} \right)}{0.40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 \log_{10} M_r - 8.07$$

Dónde:

SN = Número Estructural requerido

W18 = Número de aplicaciones de carga de 80 KN (8.2 Ton) u ejes equivalentes (ESAL)

ZR = Desviación estándar normal So = Error estándar combinado de la predicción de tránsito y de la predicción de comportamiento u desviación estándar global

Δ PSI = Diferencia entre el índice de servicio inicial (p_i) y el final (p_f)

MR = Módulo Resiliente (psi)

El modelo de ecuación de diseño está basado en la pérdida del índice de serviciabilidad (Δ PSI) durante la vida de servicio del pavimento; siendo éste un parámetro que representa las bondades de la superficie de rodadura para circular sobre ella.

Para una mejor descripción de las variables, estas se han clasificado de la siguiente manera:

1. **Variables de diseño:** Esta categoría se refiere al grupo de criterios que debe ser considerado para el procedimiento de diseño.
2. **Criterio de comportamiento:** Representa el grupo de condiciones de fronteras especificado por el usuario, dentro del que una alternativa de diseño deberá comportarse.
3. **Propiedades de los materiales para el diseño estructural:** Esta categoría cubre todas las propiedades de los materiales del pavimento y del suelo de fundación, requeridas para el diseño estructural.
4. **Características estructurales:** Se refiere a ciertas características físicas de la estructura del pavimento, que tienen efecto sobre su comportamiento.

1. Variables de diseño para pavimentos flexibles

a. Variables de tiempo

Se consideran dos variables: período de análisis y vida útil del pavimento. La vida útil se refiere al tiempo transcurrido entre la puesta en operación del camino y el momento en el que el pavimento requiera rehabilitarse, es decir, cuando éste alcanza un grado de serviciabilidad mínimo. El período de análisis se refiere al período de tiempo para el cual va a ser conducido el análisis, es decir, el tiempo que puede ser cubierto por cualquier estrategia de diseño.

El manual del MTC de diseño para pavimentos flexibles recomienda el periodo de diseño de 10 años para pavimentos de bajo volumen de tránsito, periodo de diseño por dos etapas de 10 años y periodo de diseño en una etapa de 20 años.

b. Transito

El efecto del tránsito se mide en la unidad definida, por AASHTO, como Ejes Equivalentes (EE) acumulados durante el periodo de diseño tomado en el análisis. AASHTO definió como un EE, al efecto de deterioro causado sobre el pavimento por un eje simple de dos ruedas convencionales cargado con 8.2 tn o 18 Kips de peso, con neumáticos a la presión de 80 lbs/pulg². Los Ejes Equivalentes (EE) son factores de equivalencia que representan el factor destructivo de las distintas cargas, por tipo de eje que conforman cada tipo de vehículo pesado, sobre la estructura del pavimento.

El número de aplicaciones de ejes ESAL de 18 Kips esperado en la carretera es afectada por la dirección y luego por el número de vías (si son más de dos), dando como resultado la siguiente ecuación que permite definir el tráfico (W_{18}) en el carril de diseño.

$$W_{18(20 \text{ años})} = ESAL \times DD \times DL \times FC$$

Donde:

ESAL: Unidades de 18 Kips acumulada, previstas para una sección específica de la carretera en el periodo de análisis.

DD: Factor de distribución direccional, expresada como una relación que toma en cuenta las unidades ESAL por dirección. Este factor es generalmente de 0.5 (50%) para la mayor parte de vías vehiculares.

DL: Factor de distribución de carril, expresado como una relación que considera la distribución del tráfico cuando dos o más carriles existen en una dirección de tráfico.

✓ **Factor de distribución por dirección**

En general es 0.5, es decir que, del total del flujo vehicular censado, la mitad va por cada dirección, pero en algunos casos puede ser mayor en una dirección que en otra, lo que debería deducirse del censo de tránsito. Según la dirección que adopte el tráfico en la carretera (1.0 para un sentido, 0.5 para dos sentidos).

✓ **Factor de distribución por carril**

El carril de diseño es aquel que recibe el mayor número de ESALs. Para un camino de dos carriles, cualquiera puede ser el carril de diseño, ya que el tránsito por dirección forzosamente se canaliza en ese carril. En este caso $LD = 1$. Para caminos multicarril, el carril de diseño es el que está más al extremo, dado que los camiones circulan más por

ese carril, por lo tanto, la mayor parte de los ESALs, usan ese carril. En este caso LD puede variar entre 1 y 0.5.

✓ **Factor de crecimiento**

La tasa anual de crecimiento del tránsito se define en correlación con la dinámica de crecimiento socio-económico. Normalmente se asocia la tasa de crecimiento del tránsito de vehículos de pasajeros con la tasa anual de crecimiento poblacional; y la tasa de crecimiento del tránsito de vehículos de carga con la tasa anual del crecimiento de la economía expresada como el Producto Bruto Interno (PBI). Normalmente las tasas de crecimiento del tráfico varían entre 2% y 6%.

El factor de crecimiento del tráfico se calculó con la siguiente fórmula:

$$\text{Factor de crecimiento} = ((1 + r)^n - 1)/r$$

Donde:

r : tasa de crecimiento anual (%)

n : periodo de diseño en años

Caminos pavimentados

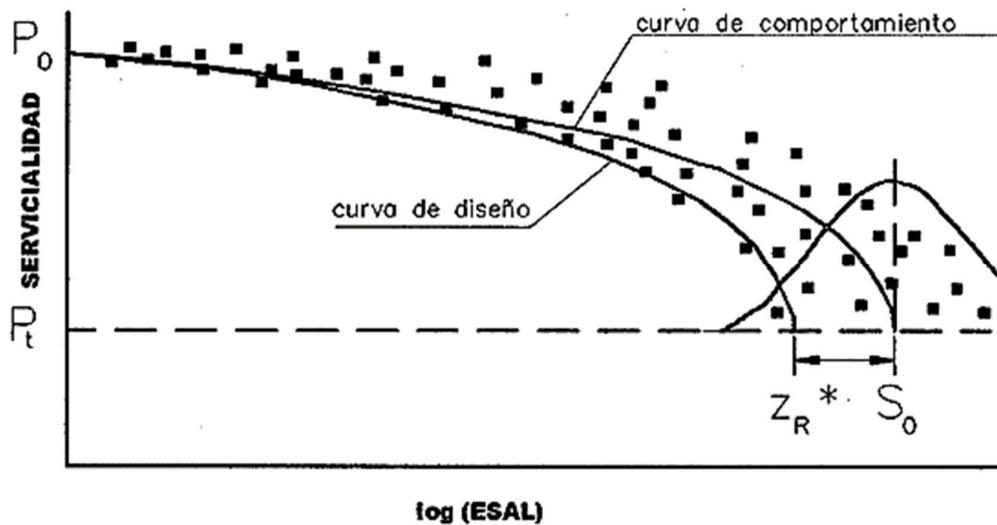
Según el Manual de carreteras. Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos del MTC. Los caminos pavimentados como pavimentos flexibles, semirrígidos y rígidos, están clasificados en quince (15) rangos de Número de repeticiones de EE en el carril y periodo de diseño, desde 75,000 EE hasta 30'000,000 EE.

c. Confiabilidad para pavimentos flexibles

El concepto de confiabilidad ha sido incorporado con el propósito de cuantificar la variabilidad propia de los materiales, procesos constructivos y de supervisión que hacen que pavimentos construidos presenten comportamientos de deterioro diferentes. La confiabilidad es en cierta manera un factor de seguridad, que equivale a incrementar en una proporción el tránsito previsto a lo largo del periodo de diseño, siguiendo conceptos estadísticos que consideran una distribución normal de las variables involucradas.

El rango típico sugerido por AASHTO para pavimentos flexibles está comprendido entre $0.40 < S_o < 0.50$, en el Manual de carreteras. Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos recomienda $S_o = 0.45$.

Figura 24. Ejes equivalentes (ESAL) vs. Serviciabilidad ilustrando la tendencia



Fuente: Guía para pavimentos flexibles de la AASHTO

2. Criterios de comportamiento

2.1. Serviciabilidad

Está definido como el cambio o pérdida en la calidad de servicio que la vía proporciona al usuario, se estima por la pérdida o diferencia entre índices de servicio inicial y terminal.

2.1.1. Índice de serviciabilidad inicial (P₀)

El índice de serviciabilidad inicial (P₀) se establece como la condición original del pavimento inmediatamente después de su construcción o rehabilitación. AASHTO estableció para pavimentos flexibles un valor inicial deseable de 4.2, si es que no se tiene información disponible para el diseño.

2.1.2. Índice de serviciabilidad final (P_t)

El índice de serviciabilidad final (P_t), ocurre cuando la superficie del pavimento ya no cumple con las expectativas de comodidad y seguridad exigidas por el usuario. Dependiendo de la importancia de la vialidad, y corresponde al valor más bajo antes de que sea necesario rehabilitar o reconstruir un pavimento.

La pérdida de serviciabilidad se define como la diferencia entre el índice de servicio inicial y terminal.

$$\Delta PSI = P_0 - P_t$$

Los factores que influyen mayormente en la pérdida de serviciabilidad de un pavimento son: tráfico, medio ambiente y edad del pavimento.

3. Propiedades de los materiales

3.1. Módulo resiliente y/o elástico (Mr)

Cuando se calculan los espesores del pavimento siguiendo la metodología AASHTO, versión 2008, la caracterización del suelo de fundación está basado en el módulo resiliente y/o elástico.

$$M_r(Psi) = 2555 \times CBR^{0.64}$$

4. Características estructurales

4.1. Drenaje

Un buen drenaje mantiene la capacidad soporte de la subrasante (mantiene el módulo de resiliencia cuando la humedad es estable) lo que hace un camino de mejor calidad, así como permite en determinado momento el uso de capas de soporte de menor espesor. Una vez caracterizado el material y su calidad de drenaje, se calcula el Cd correlacionándolo con el grado de exposición de la estructura a niveles de humedad próximos a la saturación.

La calidad del drenaje se define en términos del tiempo en que el agua tarda en ser eliminada de las capas granulares (capa base y sub-base):

Para calcular el tiempo en que el agua es eliminada será necesario conocer la permeabilidad, k, pendientes, espesores de los materiales a utilizar como capa base y sub-base, respectivamente.

4.1.1. Consideraciones de drenaje en el diseño de pavimentos

En la tabla 9 se dan los tiempos de drenaje que recomienda AASHTO. Dichas recomendaciones se basan en el tiempo que es necesario para que la capa de base elimine la humedad cuando ésta tiene un grado de saturación del 50%; pero es de hacer notar que un grado de saturación del 85% reduce en buena medida el tiempo real necesario para seleccionar la calidad de un drenaje.

Tabla 9. Tiempos de drenaje para capas granulares

Calidad del Drenaje	50% saturación	85% saturación
Excelente	2 horas	2 horas
Bueno	1 día	2 a 5 horas
Regular	1 semana	5 a 10 horas
Pobre	1 mes	de 10 a 15 horas
Muy pobre	El agua no drena	mayor de 15 horas

Fuente: Guía para Diseño de Pavimentos, AASHTO 1,993

4.1.2. Elementos del drenaje

✓ Bombeo

Pendiente transversal para permitir la caída de la lluvia de la calzada directamente hacia las cunetas a fin de reducir el peligro en la circulación vehicular y las posibilidades de infiltración, el manual del MTC recomienda para pavimentos flexibles valores entre 1.5%-3.0%.

✓ Cuneta

Conducen el agua hacia una caja de recolección, en la que es captada para llevarla hacia un curso natural mediante una tubería o conducto rectangular denominado alcantarilla de alivio de la cuneta para que esta no se rebalse.

✓ Alcantarilla

Sirve para conducir el agua atravesando el camino por debajo de la superficie y luego canalizándola hacia cursos de agua existentes.

5. Determinación del número estructural requerido (SN)

El número estructural está representado por la siguiente ecuación de diseño, que relaciona los espesores de capa y drenaje según la expresión.

$$SN = a_1D_1 + a_2D_2m_2 + \dots + a_nD_nm_n$$

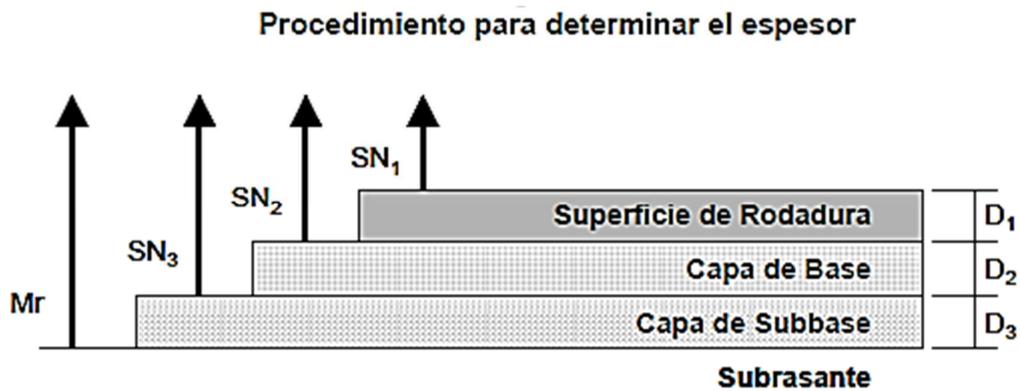
a = coeficiente estructural de la capa

D = espesor, en pulgadas, de la capa

m = coeficiente de drenaje de la capa

n = número de capas

Figura 25. Estructura esquemática de un pavimento flexible



Fuente: Guía para diseño de estructuras de pavimento, AASHTO, 1993.

6. Coeficientes estructurales de capa

Los materiales usados en cada una de las capas de la estructura de un pavimento flexible, de acuerdo a sus características ingenieriles, tienen un coeficiente estructural "a". Este coeficiente representa la capacidad estructural del material para resistir las cargas solicitantes.

Estos coeficientes están basados en correlaciones obtenidas a partir de la prueba AASHTO de 1958-60 y ensayos posteriores que se han extendido a otros materiales y otras condiciones para generalizar la aplicación del método.

6.1. Coeficiente estructural de la carpeta asfáltica (a_1)

Tomado del Manual de Carreteras. Suelos, geología, geotecnia y pavimentos del MTC. Para este diseño se va a utilizar una carpeta asfáltica en caliente, módulo de resiliencia =2695 Mpa (430 000 Psi) a 20C°, 68°F, el cual nos recomienda un coeficiente de capa asfáltica $a_1 = 0.17/\text{cm}$ (capa superficial recomendada para todos los tipos de tráfico), equivalente a 0.43/plg.

6.2. Coeficiente estructural para la capa base (a_2)

Tomado del Manual de Carreteras. Suelos, geología, geotecnia y pavimentos del MTC. Para este diseño se va a utilizar una base granular CBR=80% compactada al 100% de la MDS, el cual nos recomienda un coeficiente estructural de capa base $a_2 = 0.052/\text{cm}$ (Capa de base recomendada para tráfico $\leq 5' 000,000$ EE), equivalente a 0.13/plg.

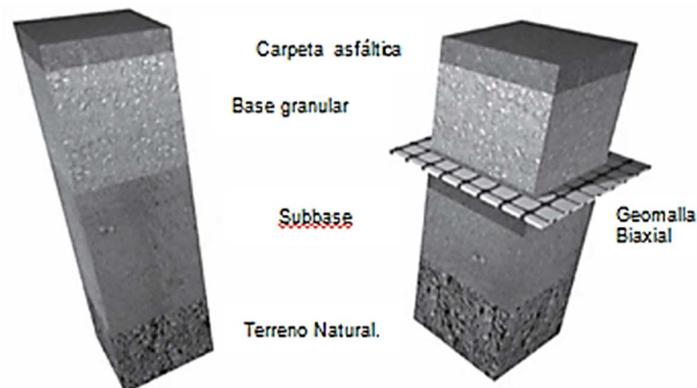
6.3. Coeficiente estructural para la capa sub-base (a_3)

Tomado del Manual de Carreteras. Suelos, geología, geotecnia y pavimentos del MTC. Para este diseño se va a utilizar una sub-base granular CBR=40% compactada al 100% de la MDS, el cual nos recomienda un coeficiente estructural de capa base $a_2 = 0.047/\text{cm}$ (Capa de sub-base recomendada para tráfico $\leq 15' 000,000$ EE), equivalente a $0.12/\text{plg}$.

2.4.1. Método AASHTO para diseño de pavimentos flexibles reforzados con geomallas.

Para explicar la contribución estructural de las Geomallas biaxiales coextruídas, según la investigación desarrollada por Filippo Montanelli, Aigen Zhao y Pietro Rimoldo, Ingenieros investigadores de Geosintéticos. En la figura 26 se muestra la inclusión de la Geomalla entre capas de la estructura de un pavimento.

Figura 26. Inclusión de la Geomalla.



La contribución estructural de una geomalla de un sistema de pavimento flexible puede cuantificarse con el incremento al refuerzo del coeficiente de capa de la sub-base de la vía. Por lo anterior se presenta la ecuación:

$$SN = a_1 D_1 + a_2 D_2 m_2 + a_3 (LCR) D_3 m_3$$

Donde:

a_1 , a_2 y a_3 = Coeficientes de capa representativos de carpeta base y sub- base respectivamente.

D_1 , D_2 y D_3 = Espesores de la carpeta, base y sub- base respectivamente.

m_1, m_2 = Coeficientes de drenaje de carpeta base y sub- base respectivamente.

Donde LCR tiene un valor superior a uno. Este valor es determinado basándose en los resultados de laboratorio y en pruebas de campo en sistemas de pavimentos flexibles con y sin utilización de las geomallas, como se describe en la ecuación.

$$LCR = \frac{SN_r - SN_u}{a_3 D_3 m_3} + 1$$

Donde:

SN_r = Número estructural de la sección reforzada.

SN_u = Número estructural de la sección no reforzada.

Basándose en la ecuación se puede calcular el valor de LCR el cual se obtuvo de los ensayos realizados a la sección típica de la vía de pavimentos empíricos para la estructura sin refuerzo y reforzada con Geomallas de 20 KN/m y 30 KN/m de resistencia a la tensión. El valor de LCR oscila entre 1.3 a 1.7 dependiendo básicamente del valor de CBR del terreno natural y los ESAL para una profundidad de ahuellamiento de la carpeta asfáltica (Rut) de 12.5mm.

La reducción en espesor de la sub-base puede ser evaluada con el uso de una geomalla, asumiendo que no existe una capa de base.

$$D_3 = \frac{SN_r - a_1 D_1}{(LCR) a_3 m_3}$$

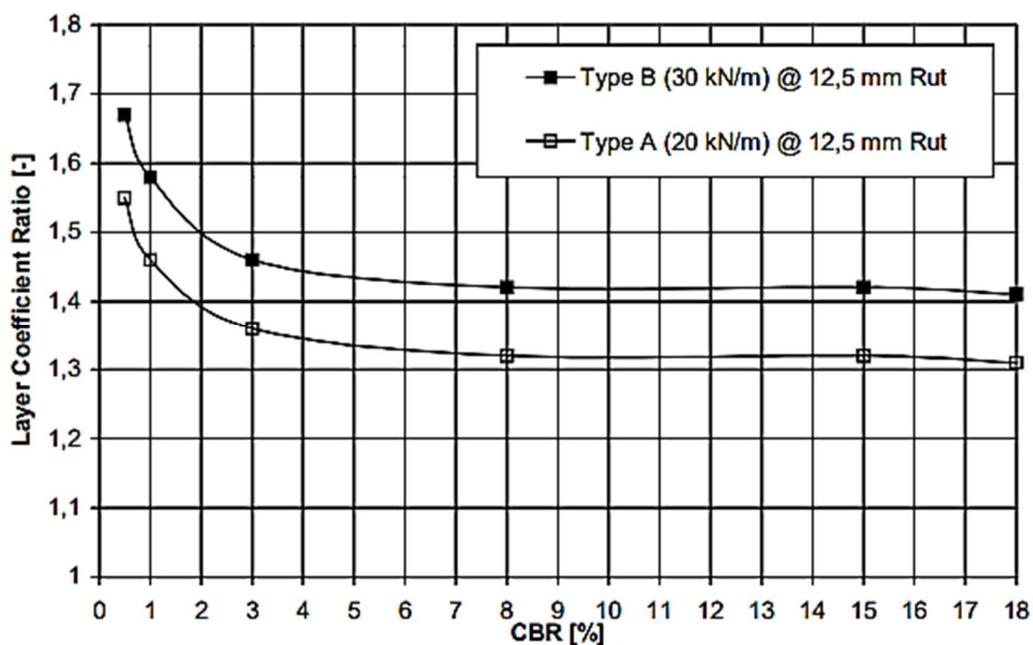
Se puede reducir el espesor de la capa de asfalto mediante la ecuación:

$$D_1 = \frac{SN_r - LCR a_2 D_2 m_2}{a_1}$$

Usando el siguiente gráfico de diseño es posible calcular el espesor de D_3 de la sub-base en una vía reforzada en pavimentos flexibles. De acuerdo a los valores ($D_1, D_2, D_3, a_1, a_2, m_2$).

De una sección no reforzada es posible determinar el SN (número estructural), para una sección reforzada considerando que el CBR de la sub-rasante es proporcional al valor del LCR dada la gráfica de diseño.

Figura 27. LCR Vs CBR para dos profundidades de ahuellamiento

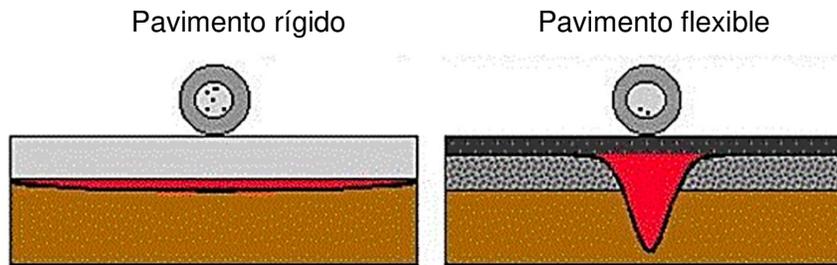


Fuente: Tensar International Corporation

2.4.2. Método AASHTO para diseño de pavimentos rígidos

Según la guía AASHTO 93 para el diseño de pavimentos rígidos. Un pavimento de concreto o pavimento rígido consiste básicamente en una losa de concreto simple o armado, apoyada directamente sobre una base o subbase, o combinación de ambas capas granulares. La losa, debido a su rigidez y alto módulo de elasticidad, absorbe gran parte de los esfuerzos que se ejercen sobre el pavimento lo que produce una buena distribución de las cargas de la rueda, dando como resultado tensiones muy bajas en la subrasante. Todo lo contrario, sucede en los pavimentos flexibles, que al tener menor rigidez, transmiten los esfuerzos hacia las capas inferiores lo cual trae como consecuencia mayores tensiones en la subrasante, como se puede apreciar.

Figura 28. Esquema del comportamiento de pavimentos



Fuente: Guía AASHTO “Diseño de pavimentos rígidos, 1993”.

Los elementos que conforman un pavimento rígido son: subrasante, subbase (base o subbase) y la losa de concreto. A continuación, se hará una breve descripción de cada uno de los elementos que conforman el pavimento rígido.

A. Factores de diseño

El diseño del pavimento rígido involucra el análisis de diversos factores: tráfico, drenaje, clima, características de los suelos, capacidad de transferencia de carga, nivel de serviciabilidad deseado, y el grado de confiabilidad al que se desea efectuar el diseño acorde con el grado de importancia de la carretera. Todos estos factores son necesarios para predecir un comportamiento confiable de la estructura del pavimento y evitar que el daño del pavimento alcance el nivel de colapso durante su vida en servicio.

La fórmula que propone la guía AASHTO 93 para el diseño del espesor de la losa de pavimento rígido se muestra en la ecuación.

$$\log_{10}W_{8.2} = Z_r S_0 + 7.35 \log_{10}(D + 25.4) - 10.39 + \frac{\log_{10}\left(\frac{\Delta PSI}{4.5 - 1.5}\right)}{1 + \frac{1.25 \times 10^{19}}{(D + 25.4)^{8.46}}} + (4.22 - 0.32 P_t) \times \log_{10}\left(\frac{M_r C_{dx}(0.09D^{0.75} - 1.132)}{1.51xJ(0.09D^{0.75} - \frac{7.38}{\left(\frac{E_c}{K}\right)^{0.25}})}\right)$$

Fuente: Guía de diseño de pavimentos 1993

Las variables que intervienen en la ecuación se detallan a continuación:

En donde:

$W_{8.2}$ = Numero previsto de ejes equivalentes de 8.2 toneladas métricas, a lo largo del periodo de diseño.

Z_r = Desviación estándar normal.

S_0 = Error estándar combinado en la predicción del tránsito y en la variación del comportamiento esperado del pavimento.

D = Espesor de pavimento de concreto, en milímetros.

ΔPSI = Diferencia entre los índices de servicio inicial y final.

P_t = Índice de serviciabilidad o servicio final.

M_r = Resistencia media del concreto (en Mpa) a flexo tracción a los 28 días (método de carga en los dos tercios de la luz).

C_d = Coeficiente de drenaje.

J = Coeficiente de transmisión de cargas en las juntas.

E_c = Módulo de elasticidad del concreto, en Mpa.

K = Módulo de reacción, dado en Mpa/m de la superficie (base, subbase o subrasante) en la que se apoya el pavimento de concreto.

La guía AASHTO 93 propone la solución de la ecuación por medio de un nomograma, con el cual se obtiene directamente el espesor de la capa de rodadura de la estructura de pavimento rígido.

1. Variables de diseño para pavimentos rígidos

1.1. Variables de tiempo

Para el caso en el que no se considere rehabilitaciones, el período de análisis es igual al período de vida útil, Según el manual de suelos, geología, geotecnia y pavimentos, para pavimentos rígidos el periodo de diseño será mínimo de 20 años.

1.2. Tránsito

El cálculo de EE de diseño estará de acuerdo a lo establecido en el ítem de pavimentos flexibles.

Para el caso del tráfico en el diseño de pavimentos rígidos, Manual de carreteras. Suelos, geología, geotecnia y pavimentos, se definen tres categorías.

- ✓ Caminos de bajo volumen de tránsito, de 150,001-1'000,000 EE, en el carril y periodo de diseño.
- ✓ Caminos que tienen un tránsito, de 1'000,001-30'000,000 EE, en el carril y periodo de diseño.

- ✓ Caminos que tienen un tránsito mayor a 30'000,000 EE, en el carril y periodo de diseño.

1.3. Confiabilidad

El rango típico sugerido por AASHTO está comprendido entre $0.30 < S_o < 0.40$, en el Manual de carreteras. Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos recomienda $S_o = 0.35$.

2. Criterios de comportamiento

2.1. Serviciabilidad

Está definido como el cambio o pérdida en la calidad de servicio que la vía proporciona al usuario, se estima por la pérdida o diferencia entre índices de servicio inicial y terminal.

2.1.1. Índice de serviciabilidad inicial (P_0)

AASHTO estableció para pavimentos rígidos un valor inicial deseable de 4.5, si es que no se tiene información disponible para el diseño. El manual de carreteras. Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos, dispone valores de acuerdo al tipo de tráfico.

2.1.2. Índice de serviciabilidad final (P_t)

El índice de serviciabilidad final (P_t) recomendado en el manual de carreteras. Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos está en función del tipo de tráfico calculado.

La pérdida de serviciabilidad se define como la diferencia entre el índice de servicio inicial y terminal.

$$\Delta PSI = P_0 - P_t$$

Los factores que influyen mayormente en la pérdida de serviciabilidad de un pavimento son: tráfico, medio ambiente y edad del pavimento.

3. Propiedades de los materiales

3.1. Módulo de reacción de la subrasante (k)

El parámetro que caracteriza al tipo de subrasante es el módulo de reacción de la subrasante (K). Adicionalmente se contempla una mejora en el nivel de soporte de la subrasante con la colocación de capas intermedias granulares o tratadas, efecto que mejora las condiciones de apoyo y puede llegar a reducir el espesor calculado de concreto. Esta mejora se introduce con el módulo de reacción combinado (Kc). Las unidades de K son Mpa /m o Psi; para el efecto se presenta las siguientes fórmulas presentadas en la guía AASHTO 93.

Si $CBR \leq 10\%$, entonces: $K = 2.55 + 52.5 \text{ LOG } (CBR)$

Si $CBR > 10\%$, entonces: $K = 46 + 9.08 (\text{LOG } (CBR))^{4.34}$

Módulo de reacción compuesto de la subrasante:

$$K_c = \left[1 + \left(\frac{h}{38} \right)^2 \times \left(\frac{K_1}{K_0} \right)^{2/3} \right]^{0.5} \times K_0$$

Donde:

K_c = Módulo de reacción combinado o equivalente (Mpa/m).

h = Espesor de la capa granular en cm.

K_1 = Módulo de reacción del relleno estructural - capa granular (Mpa/m).

K_0 = Módulo de reacción del terreno natural (Mpa/m).

3.2. Módulo de rotura del concreto

Es un parámetro muy importante como variable de entrada para el diseño de pavimentos rígidos, ya que va a controlar el agrietamiento por fatiga del pavimento, originado por las cargas repetitivas de camiones. Se le conoce también como resistencia a la tracción del concreto por flexión.

El módulo de rotura también se puede determinar a través de las siguientes correlaciones (Guía AASHTO 93):

3.2.1. Estimación a través de la resistencia a compresión del concreto.

$$Mr = k (f'c)^{0.5} \quad 7 < k < 12$$

Donde:

$f'c$ = Resistencia a compresión del concreto en psi.

3.2.2. Estimación a través de la resistencia a la tracción indirecta.

$$Mr = 210 + 1.02IT$$

Donde:

IT = Tracción indirecta medida en las probetas en psi.

Los valores del módulo de rotura varían entre 2.8 MPa (400 psi) y 4.8 MPa (700 psi), llegando incluso a valores de 8.2 MPa (1200 psi), en concretos con alta resistencia

3.3. Módulo de elasticidad del concreto

Es un parámetro que indica la rigidez y la capacidad de distribuir cargas que tiene una losa de pavimento. Es la relación entre la tensión y la deformación. Las deflexiones, curvaturas y tensiones están directamente relacionadas con el módulo de elasticidad del concreto. En los pavimentos de concreto armado continuo, el módulo de elasticidad junto con el coeficiente de expansión térmica y el de contracción del concreto, son los que rigen el estado de tensiones en la armadura. Para concreto de peso normal, el Instituto del Concreto Americano (ACI) sugirió:

$$E_c = 57000(f'c)^{0.5}$$

Donde E_c y $f'c$ están dados en psi

4. Características estructurales

4.1. Drenaje

Como es imposible impedir el ingreso del agua a la estructura del pavimento; es necesario la construcción de un sistema de subdrenaje que permita remover rápidamente esta agua. En la actualidad se están utilizando subbases altamente permeables y drenes laterales para evacuar rápidamente el agua. La sección típica de una subbase permeable con diferentes tipos de berma se muestra en la figura 29 y 30.

Los materiales de drenaje incluyen: agregados, geotextiles y tuberías. Los agregados se usan como capas de drenaje y drenes franceses o como material de filtro

para sus protecciones. Los geotextiles son usados para reemplazar agregados como filtros. Las tuberías pueden ser perforadas, ranuradas o de junta abierta, siendo colocadas dentro de los drenes franceses para recolectar agua.

Figura 29. Sección de una base permeable con una berma de concreto

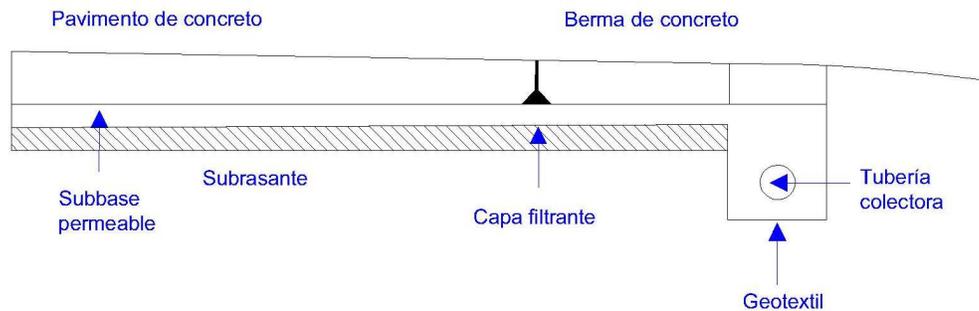
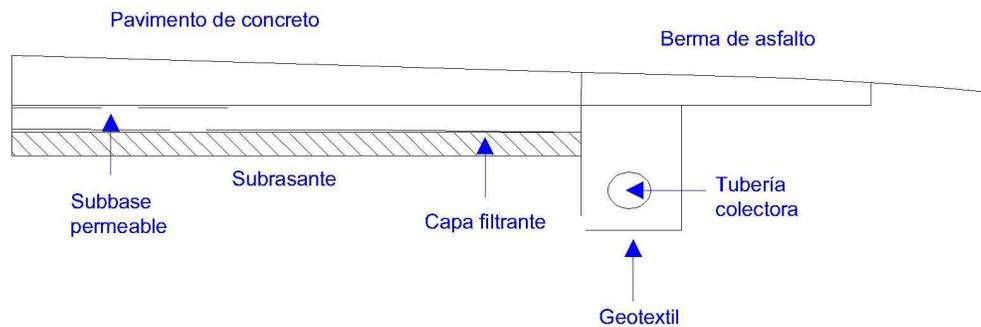


Figura 30. Sección de una base permeable con una berma de asfalto



Fuente: Guía AASHTO “Diseño de estructuras de pavimentos, 1993”.

4.1.1. Elementos del drenaje

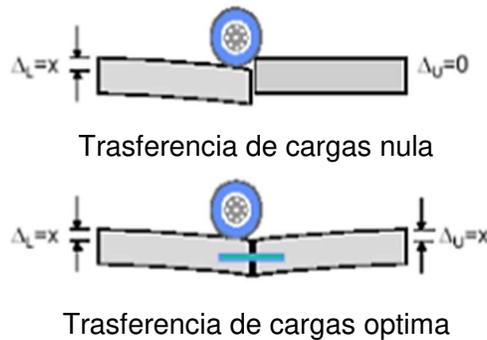
✓ Bombeo

El manual del MTC recomienda para pavimentos rígidos valores entre 1.5%-2.5%.

4.2. Transferencia de carga

El concepto de transferencia de cargas en las juntas transversales se refiere a la capacidad de una losa de transferir una parte de su carga a la losa vecina. De este modo, una junta con el 100% de transferencia de carga será aquella que transfiera la mitad de su carga a la losa vecina, reduciendo por tanto sus tensiones de borde según se muestra en la figura:

Figura 31. *Transferencia de cargas en pavimentos rígidos*



Fuente: Guía AASHTO “Diseño de estructuras de pavimentos, 1993”.

2.4.2.1. Pruebas de campo para medir el aporte de las geomallas.

2.4.2.1.1. Reporte de uso de geomallas tensor para el mejoramiento del módulo de reacción de sub-rasante.

Este reporte fue preparado por el Dr. Steve Perkins de la Universidad Estatal de Montana inmediatamente después de terminar su trabajo “Pavimentos Flexibles Reforzados con Geosintéticos”, realizado conjuntamente entre la Universidad de Montana y la FHWA. Se escogió complementar este trabajo con un ensayo de Mejoramiento de Sub-rasante relativamente simple (uno de los cuales podría aplicarse a pavimentos rígidos). El reporte demuestra a escala natural, que para una sub-rasante relativamente blanda, la inclusión de Geomallas Tensor incrementan el Módulo de Reacción de Sub-rasante (“k”) aproximadamente de 50 a 100%.

Específicamente, este informe muestra que una capa de geomalla Tensar BX1200 debajo de 6” de agregado de sub-base incrementan el Módulo de Reacción de Sub-rasante de 148 pci a 217 pci (46.3% de incremento). Bajo 12” de agregado de sub-base el incremento fue de 270 pci a 517 pci (91.8% de incremento). La sub-rasante para ambos ensayos fue arcilla. El CBR de diseño fue de 1.5% ($k=75$ pci). El agregado de sub-base fue una grava de río triturada bien graduada.

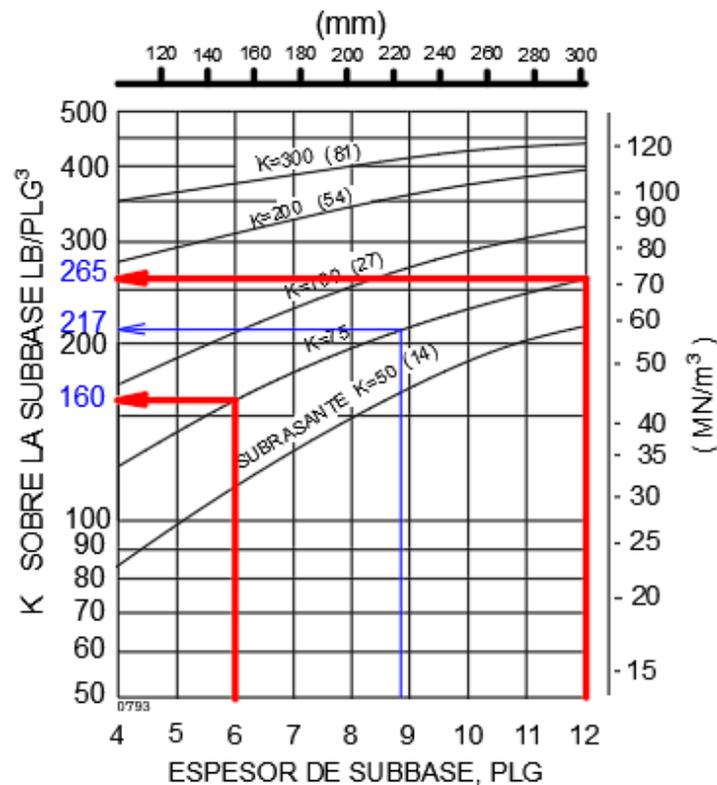
Usando solo Agregado de sub-base (sin geomalla) sobre la Sub-rasante, podría esperarse un 'k' en la parte superior de la sub-base mayor que el “k” de la sub-rasante sola, esto verificado a través de un ensayo de platos de carga. Este incremento puede ser estimado del siguiente ábaco extraído de FAA Advisory Circular (AC) 150/5320-6D. Para 6” de espesor en una subrasante de $k=75$ pci, el ábaco estima un 'k' en la parte superior

de la subbase de $k = 160$ pci, comparado con el ensayo de Perkins de $k = 148$ pci. Para 12" de espesor, el ábaco estima un "k" en la parte superior de la subbase de $k = 265$ pci, comparado con el ensayo de Perkins de $k = 270$ pci. Esta aproximación es buena; por tanto, los resultados del ensayo de Perkins son razonables y creíbles.

El espesor equivalente de la estructura del pavimento, geomalla vs. agregado, puede establecerse de este ensayo y del ábaco. Considere el caso de 6" de espesor de subbase en una sub-rasante de "k" = 75 pci.

Perkins determina que una capa de geomalla BX1200 en la interfase resulta en un 'k' en la parte superior de la sub-base = 217 pci. Este mismo 'k' puede ser obtenido aproximadamente en la parte superior de la subbase usando un espesor mayor de agregado no-reforzado. El ábaco muestra que este espesor es aproximadamente 9". La eficiencia neta es que, para esta resistencia de sub-rasante y espesor de agregado, la Geomalla Tensar BX1200 reemplaza (9-6=) 3" de agregado.⁴

Figura 32. Estimación de incremento para "K" en base y sub base



Fuente. Tomado de FAA advisory circular (AC) 150/5320-6D

⁴ Tingal. W. Comparación entre el diseño de pavimento tradicional y el diseño con geomalla, 2013.

2.4.3. Diseño de pavimentos rígidos método PCA

Según el manual de diseño método PCA. A continuación, se describen los lineamientos generales del método del Portland Cement Association (PCA).

1. Factores de diseño

1.1. Resistencia a la flexión del concreto

La consideración de la resistencia a la flexión del concreto es aplicable en el procedimiento de diseño para el criterio de fatiga que controla el agrietamiento del pavimento bajo la repetición de cargas. La resistencia a la flexión del concreto es determinada por la prueba del módulo de ruptura, aplicada en 3 puntos a L/3 en una viga de 6x6x30plg (American Society for Testing and Materials, ASTM C78).

1.2. Terreno de apoyo o base

El soporte dado a los pavimentos de concreto por la base y la subbase, es el segundo factor en el diseño de espesores. El terreno de apoyo está definido en términos del módulo de reacción de la subrasante de Wastergaard (k). Los valores de k son expresados como (Psi/in) o más comúnmente (Pci).

Para determinar este valor se debe realizar la prueba de placa de carga, dado que la prueba de placa toma tiempo y dinero, los valores de k son usualmente estimados mediante una correlación de pruebas más simples como la del CBR (Valor Relativo de Soporte), el resultado es válido porque no se requiere una exacta determinación del valor k; ya que variaciones normales de este no afectan significativamente los requerimientos del espesor del pavimento.

El contar con una sub-base permite incrementar en parte el valor de k del suelo que deberá usarse en el diseño de espesor. Si la base es de material granular no tratada ó mejorada el incremento puede no ser muy significativo como se aprecia en los valores presentados en la tabla.

Tabla 10. Incremento en el valor de k del suelo, según el espesor de una base granular

K Suelo- Subbase (Pci)				
K del Suelo (Pci)	Espesor de la sub base			
	4"	6"	9"	12"
50	65	75	85	110
100	130	140	160	190
200	220	230	270	320
300	320	330	370	430

Fuente: Manual de diseño método PCA

Las bases mejoradas ó tratadas con cemento aportan mayor capacidad de carga y su comportamiento a largo plazo es mucho mejor y son ampliamente empleadas para pavimentos de concreto con tráfico pesado. Se construyen con materiales granulares como los tipos de suelos AASHTO A-1, A-2-4, A-2-5 y A-3, el contenido de cemento es determinado mediante las pruebas de Congelación - Descongelación y Mojado - Secado y el criterio de pérdidas admisibles de la PCA.

Los valores de diseño de módulo de sub-reacción (k) para bases cementadas que cumplen con éste criterio se muestran en la tabla 11.

Tabla 11. Incremento en el valor de k del suelo, según el espesor de una base granular cementada

K Suelo- Subbase (Pci)				
K del Suelo (Pci)	Espesor de la sub base			
	4"	6"	9"	12"
50	170	230	310	390
100	280	400	520	640
200	470	640	830	---

Fuente: Manual de diseño método PCA

1.3. Periodo de diseño

El termino de periodo de diseño en algunas veces considerado sinónimo de periodo de análisis de tráfico. Dado que el tráfico muy probablemente no puede ser supuesto con precisión por un periodo muy largo, el periodo de diseño de 20 años es el comúnmente empleado en el diseño de pavimentos rígidos.

1.4. Número de repeticiones esperadas por cada eje

Toda la información referente al tráfico termina siendo empleada para conocer el número de repeticiones esperadas, durante todo el periodo de diseño, de cada tipo de eje. Para poder conocer estos valores tendremos que conocer varios factores referentes al tránsito, como lo es el tránsito promedio diario anual (TPDA), el % que representa cada tipo de eje en el TPDA, el factor de crecimiento del tráfico, el factor de sentido, el factor de carril y el periodo de diseño.

Repeticiones esperadas

$$R_e = TPDA \times \%Te \times FS \times FC \times Pd \times FCA \times 365$$

Donde:

TPDA = Tránsito promedio diario anual

%Te = % del TPDA para cada tipo de eje

FS = Factor de sentido

FC = Factor de carril

Pd = Periodo de diseño

FCA = Factor de crecimiento anual

365 = Días del año

✓ **Tránsito promedio diario anual (TPDA)**

El TPDA puede obtenerse de aforos especializados o de algún organismo relacionado con el transporte, ya sea municipal, estatal o federal. Lo importante es que se especifique la composición de este tráfico, es decir se detalle el tráfico por tipo de vehículo, para que de esta manera se pueda identificar los tipos y pesos de los ejes que van a circular sobre el pavimento.

El método de diseño PCA recomienda considerar únicamente el tráfico pesado, es decir que se desprecie todo el tráfico ligero como automóviles y pick-ups de 4 llantas. De cualquier modo, no es tan importante hacer caso a esta recomendación, debido a que el tráfico ligero no influye demasiado en el diseño de espesores.

✓ **Factor de Crecimiento Anual (FCA)**

Para conocer el factor de crecimiento anual se requiere únicamente del período de diseño en años y de la tasa de crecimiento anual. Con estos datos podemos saber el factor de crecimiento de manera rápida con la ayuda de la tabla 12 que presenta relaciones entre tasas de crecimiento anual y factores de crecimiento anual para períodos

de diseño de 20 y 40 años. Si se desea obtener el factor de crecimiento anual del tráfico (FCA) de manera más exacta, se puede obtener a partir de la siguiente formula:

$$FC = \frac{(1 + g)^n - 1}{(g)(n)}$$

Donde:

FC= Factor de crecimiento anual

n= Vida útil en años

g= Tasa de crecimiento, en %

Tabla 12. Factores de crecimiento anual, según la tasa de crecimiento anual

TASAS DE CRECIMIENTO ANUAL DE TRAFICO Y SUS CORRESPONDIENTES FACTORES DE CRECIMIENTO		
TASA DE CRECIMIENTO ANUAL DEL TRAFICO, %	FACTOR DE CRECIMIENTO ANUAL PARA 20 AÑOS	FACTOR DE PROYECCION ANUAL PARA 40 AÑOS
1	1.1	1.2
1 ½	1.2	1.3
2	1.2	1.5
2 ½	1.3	1.6
3	1.3	1.8
3 ½	1.4	2.0
4	1.5	2.2
4 ½	1.6	2.4
5	1.6	2.7
5 ½	1.7	2.9
6	1.8	3.2

Fuente: Manual de diseño método PCA

En un problema de diseño el factor de proyección se multiplica por el TPDA presente para obtener el TPDA de diseño representando el valor promedio para el período de diseño.

Los efectos combinados provocan tasas de crecimiento anual de 2 al 6%. Estas tasas corresponden como se muestra en la tabla 12 a factores de crecimiento del tráfico de 1.2 a 1.8, diseñando a 20 años.

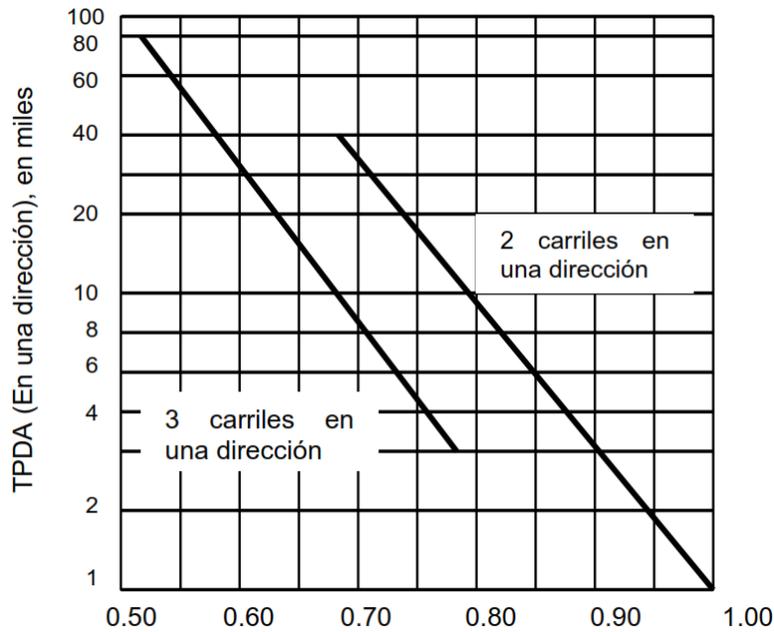
✓ Factor de Sentido

El factor de sentido se emplea para diferenciar las vialidades de un sentido de las de doble sentido, de manera que para vialidades en doble sentido se utiliza un factor de sentido de 0.5 y para vialidades en un solo sentido un factor de 1.0

✓ **Factor de Carril.**

Después de verse afectado el tráfico por el factor de sentido, también debemos de analizar el número de carriles por sentido mediante el factor de carril. El factor de carril nos va a dar el porcentaje de vehículos que circulan por el carril de la derecha, que es el carril con más tráfico. Para esto, la PCA recomienda emplear la figura 33 en donde este factor depende del número de carriles por sentido ó dirección del tráfico y del tránsito promedio diario anual en un solo sentido.

Figura 33. Proporción de vehículos en el carril de la derecha



Fuente: Manual de diseño método PCA

1.5. Factor de Seguridad de Carga.

Una vez que se conoce la distribución de carga por eje, es decir ya que se conoce cuantas repeticiones se tendrán para cada tipo y peso de eje, se utiliza el factor de seguridad de carga para multiplicarse por las cargas por eje.

Los factores de seguridad de carga recomendados son:

Tabla 13. Factores de seguridad de carga

1.3	Casos especiales con altos volúmenes de tráfico pesado
1.2	Para autopistas de varios carriles en donde se presentara un flujo interrumpido de tráfico y altos volúmenes de tráfico pesado
1.1	Autopistas y viabilidades urbanas con volúmenes moderados de tráfico pesado
1.0	Caminos y calles secundarias con muy poco tráfico pesado

Fuente: Manual de diseño método PCA

2. Procedimiento de diseño

En la tabla 14 se presenta un formato empleado para resolver el diseño de pavimentos, el cual requiere de conocer algunos factores de diseño, como:

- ✓ Tipo de junta y acotamiento.
- ✓ Resistencia a la flexión del concreto (MR) a 28 días.
- ✓ El valor del módulo de reacción K del terreno de apoyo.
- ✓ Factor de seguridad de la carga (LSF)
- ✓ Número de repeticiones esperadas durante el período de diseño, para cada tipo y peso de eje.

El método considera dos criterios de diseño:

a. Fatiga

b. Erosión

El Análisis por fatiga (para controlar el agrietamiento por fatiga) influye principalmente en el diseño de pavimentos de tráfico ligero (calles residenciales y caminos secundarios independientemente de si las juntas tienen ó no pasajuntas) y pavimentos con tráfico mediano con pasajuntas en las juntas.

El análisis por erosión (el responsable de controlar la erosión del terreno de soporte, bombeo y diferencia de elevación de las juntas) influye principalmente el diseño de pavimentos con tráfico mediano a pesado con transferencia de carga por trabazón de agregados (sin pasajuntas) y pavimentos de tráfico pesado con pasajuntas.

Para pavimentos que tienen una mezcla normal de pesos de ejes, las cargas en los ejes sencillos son usualmente más severas en el análisis por fatiga y las cargas en ejes tandem son más severas en el análisis por erosión.

El diseño del espesor se calcula por tanteos con ayuda del formato de diseño de espesores por el método de la PCA que se presenta en la tabla 14.

Tabla 14. Formato para el diseño de espesores por el método de la PCA

CÁLCULO DEL ESPESOR DE PAVIMENTO METODO PCA						
Espesor estimado				Factor de Seguridad de Carga		
Modulo de rotura				Con pasajuntas		
K subrasante				Apoyo lateral		
K subrasante + geomalla+ subbase)				Posee Subbase		
Periodo de Diseño				Tipo		
				Espesor Subbase [cm]		
Cargas de ejes Tn	Cargas por F.S.C.	Repeticiones esperadas	Análisis de fatiga		Análisis de erosión	
			Repeticiones admisibles	Consumo de fatiga	Repeticiones admisibles	Daños por erosión
1	2	3	4	5	6	7
EJES SIMPLES						
8	Tensión equivalente					
9	Factor de relación de tensión		10	Factor de erosión		
Suma Parcial						
EJES TANDEM						
11	Tensión equivalente					
12	Factor de relación de tensión		13	Factor de erosión		
Suma Parcial						
EJES TRIDEM						
14	Tensión equivalente					
15	Factor de relación de tensión		16	Factor de erosión		
Suma Parcial						
Daños por fatiga (%)			Daños por erosión (%)			
Consumo total (%)						

Fuente: Elaboración propia

a. Análisis por Fatiga

Se emplean las mismas tablas y figuras para pavimentos con ó sin pasajuntas, mientras que la única variable es si se cuenta ó no con apoyo lateral, de manera que: Para este estudio se evaluara el diseño con apoyo lateral.

- ✓ Con apoyo lateral.
- ✓ Use la tabla 15 y la figura 34.

Procedimiento:

- ✓ Introducir como datos los valores de esfuerzo equivalente en las celdas 8, 11, 14 del formato de diseño de espesores. Estos valores se obtienen de las tablas apropiadas de factores de esfuerzos equivalentes (tablas 15), dependiendo del espesor inicial y el valor de k.

- ✓ Dividir los valores de esfuerzo equivalente entre el módulo de ruptura del concreto, al resultado le llamamos relación de esfuerzos y vamos a obtener una para cada tipo de eje (sencillo, tándem y tridem). Estos valores los anotamos en el formato de diseño de espesores (tabla 15) en las celdas 9, 12 y 15.
- ✓ Llenar la columna 4 de “repeticiones permisibles” obtenidas en la figura 34.
- ✓ Obtener el % de fatiga de cada eje. El % de fatiga se anota en la columna 5 y se obtiene dividiendo las repeticiones esperadas (columna 3) entre las repeticiones permisibles (columna 4) por 100; esto se hace para cada eje y posteriormente se suman todos los porcentajes de daño por fatiga para obtener el porcentaje total de daño por fatiga.

b. Análisis por Erosión

- ✓ Con apoyo lateral.
- ✓ Para pavimentos con pasajuntas ó continuamente reforzados, emplear la tabla 16 y la figura 35.

Procedimiento:

- ✓ Anote en las celdas 10, 13 y 16 del formato de diseño de espesores, los correspondientes factores de erosión obtenidos de las tablas adecuadas (tabla 16)
- ✓ Calcule las “repeticiones permisibles” con ayuda de la figura 35, y anótelos en la columna 6 del formato de diseño de espesores.
- ✓ Calcule el porcentaje de daño por erosión (columna 7) para cada eje dividiendo las repeticiones esperadas (columna 3) entre las repeticiones permitidas (columna 6) y multiplicando el resultado por 100, para posteriormente totalizar el daño por erosión.

Al emplear las gráficas no es necesario una exacta interpolación de las repeticiones permisibles. Si la línea de intersección corre por encima de la parte superior de la gráfica, se considera que las repeticiones de carga permisibles son ilimitadas.

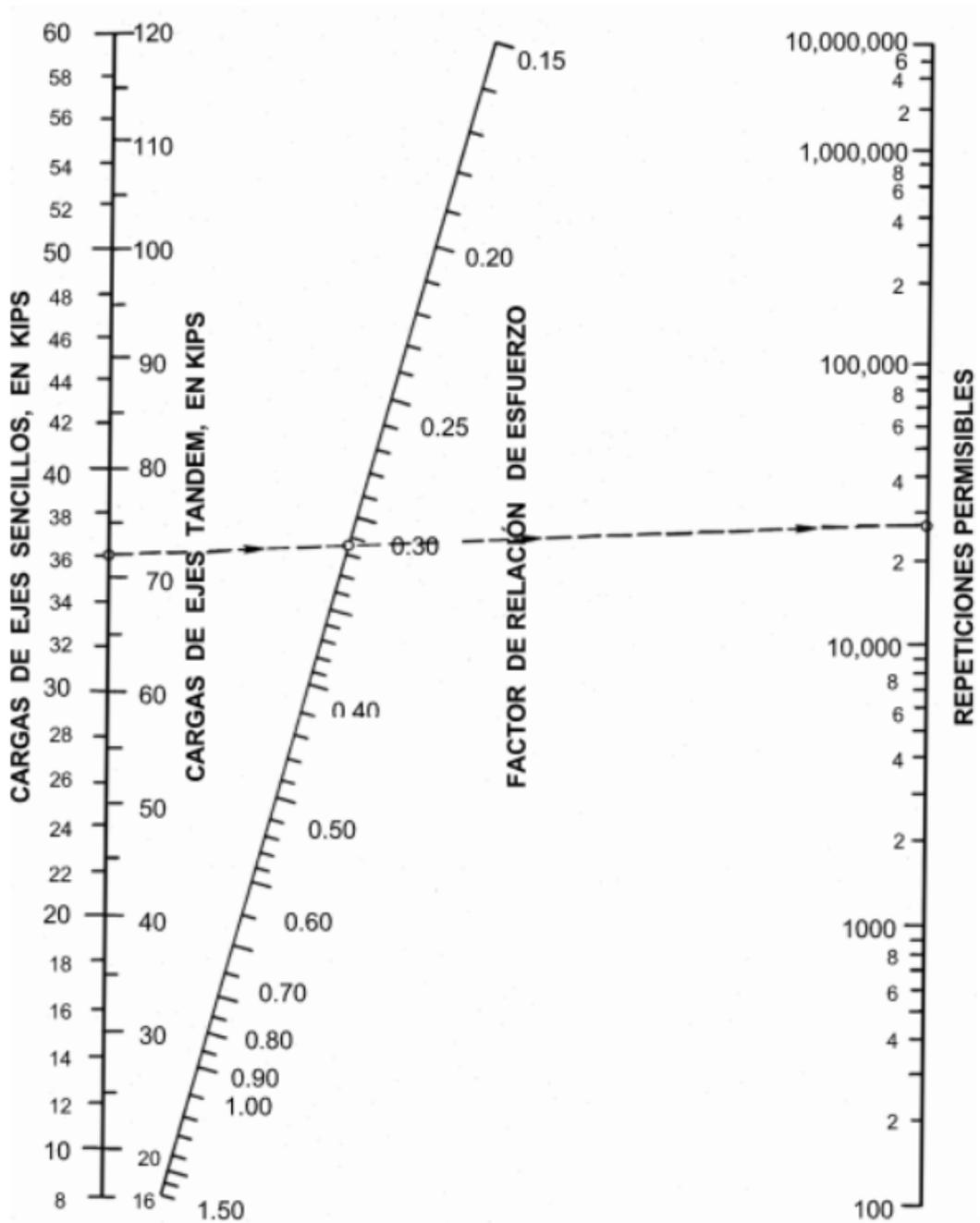
Tabla 15. Esfuerzo Equivalente para Pavimentos con Apoyo Lateral

Esfuerzo equivalente - con Apoyo Lateral
Eje Sencillo / Eje Tandem / Eje Tridem

Espesor de losa (pulg.)	k de la subrasante, pci																				
	50			100			150			200			300			500			700		
	Sen	Tán	Tri	Sen	Tán	Tri	Sen	Tán	Tri	Sen	Tán	Tri	Sen	Tán	Tri	Sen	Tán	Tri	Sen	Tán	Tri
4.0	640	534	431	559	468	392	517	439	377	489	422	369	452	403	362	409	388	360	383	384	359
4.5	547	461	365	479	400	328	444	372	313	421	356	305	390	338	297	355	322	292	333	316	291
5.0	475	404	317	417	349	281	387	323	266	367	308	258	341	290	250	311	274	244	294	267	242
5.5	418	360	279	368	309	246	342	285	231	324	271	223	302	254	214	276	238	208	261	231	206
6.0	372	325	249	327	277	218	304	255	204	289	241	196	270	225	187	247	210	180	234	203	178
6.5	334	295	225	294	251	196	274	230	183	260	218	175	243	203	166	223	188	159	212	180	156
7.0	302	270	204	266	230	178	248	210	165	236	198	158	220	184	149	203	170	142	192	162	138
7.5	275	250	187	243	211	162	226	193	151	215	182	143	201	168	135	185	155	127	176	148	124
8.0	252	232	172	222	196	149	207	179	138	197	168	131	185	155	123	170	142	116	162	135	112
8.5	232	216	159	205	182	138	191	166	128	182	156	121	170	144	113	157	131	106	150	125	102
9.0	215	202	147	190	171	128	177	155	119	169	146	112	158	134	105	146	122	98	139	116	94
9.5	200	190	137	176	160	120	164	146	111	157	137	105	147	126	98	136	114	91	129	108	87
10.0	186	179	127	164	151	112	153	137	104	146	129	98	137	118	91	127	107	84	121	101	81
10.5	174	170	119	154	143	105	144	130	97	137	121	92	128	111	88	119	101	79	113	95	76
11.0	164	161	111	144	135	99	135	123	92	129	115	87	120	105	81	112	95	74	106	90	71
11.5	154	153	104	136	128	93	127	117	86	121	109	82	113	100	76	105	90	70	100	85	67
12.0	145	146	97	128	122	88	120	111	88	114	104	78	107	95	72	99	86	66	95	81	63
12.5	137	139	91	121	117	83	113	106	78	108	99	74	101	91	68	94	82	63	90	77	60
13.0	130	133	85	115	112	79	107	101	74	102	95	70	96	86	65	89	78	60	85	73	57
13.5	124	124	80	109	107	75	102	97	70	97	91	67	91	83	62	85	74	57	81	70	54
14	118	122	75	104	103	71	97	93	67	93	87	63	87	79	59	81	71	54	77	67	51

Fuente: Manual de diseño método PCA

Figura 34. Análisis de fatiga (Repeticiones permisibles basadas en el factor de relación de esfuerzo, con o sin apoyo lateral)



Fuente: Manual de diseño método PCA

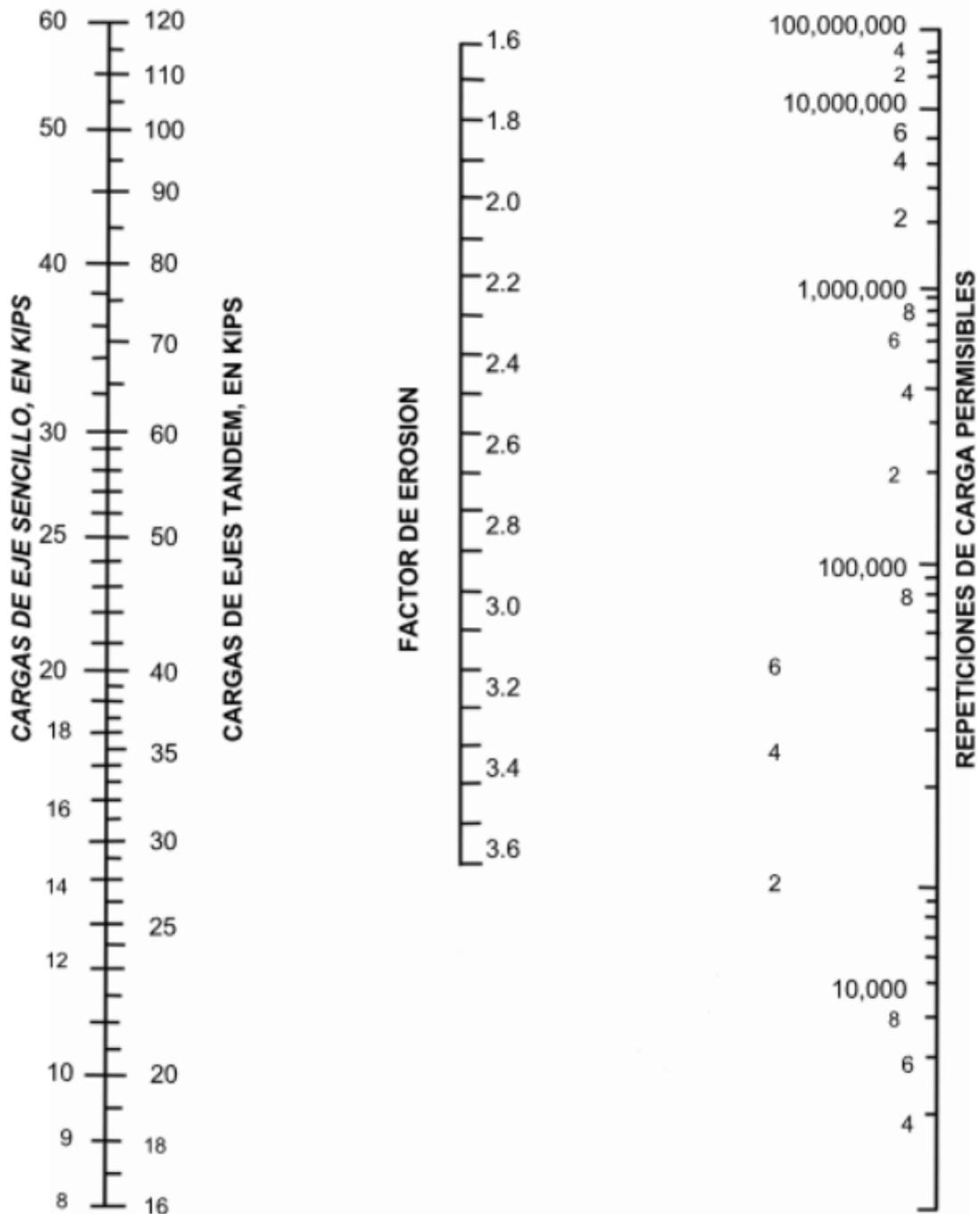
Tabla 16. Factores de Erosión, para Pavimentos con Pasajuntas y Con Apoyo Lateral

Factores de Erosión - Con Pasajuntas - Con Apoyo Lateral
Eje Sencillo / Eje Tándem / Eje Tridem

Espesor de losa (pulg.)	k de la subrasante, pci																	
	50			100			200			300			500			700		
	Sen	Tán	Tri	Sen	Tán	Tri	Sen	Tán	Tri	Sen	Tán	Tri	Sen	Tán	Tri	Sen	Tán	Tri
4	3.28	3.30	3.33	3.24	3.20	3.20	3.21	3.13	3.13	3.19	3.10	3.10	3.15	3.09	3.05	3.12	3.08	3.00
4.5	3.13	3.19	3.24	3.09	3.08	3.10	3.06	3.00	2.99	3.04	2.96	2.95	3.01	2.93	2.91	2.98	2.91	2.87
5	3.01	3.09	3.16	2.97	2.98	3.01	2.93	2.89	2.89	2.90	2.84	2.83	2.87	2.79	2.79	2.85	2.77	2.75
5.5	2.90	3.01	3.09	2.85	2.89	2.94	2.81	2.79	2.80	2.79	2.74	2.79	2.76	2.68	2.67	2.73	2.65	2.64
6	2.79	2.93	3.03	2.75	2.82	2.87	2.70	2.71	2.73	2.68	2.65	2.66	2.65	2.58	2.58	2.62	2.54	2.54
6.5	2.70	2.86	2.97	2.65	2.75	2.82	2.61	2.63	2.67	2.58	2.57	2.59	2.55	2.50	2.50	2.52	2.45	2.45
7	2.61	2.79	2.92	2.56	2.68	2.76	2.52	2.56	2.61	2.49	2.50	2.53	2.46	2.42	2.43	2.43	2.38	2.37
7.5	2.53	2.73	2.87	2.48	2.62	2.72	2.44	2.50	2.56	2.41	2.44	2.47	2.38	2.36	2.37	2.35	2.31	2.31
8	2.46	2.68	2.83	2.41	2.56	2.67	2.36	2.44	2.51	2.33	2.38	2.42	2.30	2.30	2.32	2.27	2.24	2.25
8.5	2.39	2.62	2.79	2.34	2.51	2.63	2.29	2.39	2.47	2.26	2.32	2.38	2.22	2.24	2.27	2.20	2.18	2.20
9	2.32	2.57	2.75	2.27	2.46	2.59	2.22	2.34	2.43	2.19	2.27	2.34	2.16	2.29	2.23	2.13	2.13	2.15
9.5	2.26	2.52	2.71	2.21	2.41	2.55	2.16	2.29	2.39	2.13	2.22	2.30	2.09	2.14	2.18	2.07	2.08	2.11
10	2.20	2.47	2.67	2.15	2.36	2.51	2.10	2.25	2.35	2.07	2.18	2.26	2.03	2.09	2.15	2.01	2.03	2.07
10.5	2.15	2.43	2.64	2.09	2.32	2.48	2.04	2.20	2.32	2.01	2.14	2.23	1.97	2.05	2.11	1.95	1.99	2.04
11	2.10	2.39	2.60	2.04	2.28	2.45	1.99	2.16	2.29	1.95	2.09	2.20	1.92	2.01	2.08	1.89	1.95	2.00
11.5	2.05	2.35	2.27	1.99	2.24	2.42	1.93	2.12	2.26	1.90	2.05	2.16	1.87	1.97	2.05	1.84	1.91	1.97
12	2.00	2.31	2.24	1.94	2.20	2.39	1.88	2.09	2.23	1.85	2.02	2.13	1.82	1.93	2.02	1.79	1.87	1.94
12.5	1.95	2.27	2.51	1.89	2.16	2.36	1.84	2.05	2.20	1.81	1.98	2.11	1.77	1.89	1.99	1.74	1.84	1.91
13	1.91	2.23	2.48	1.85	2.13	2.33	1.79	2.01	2.17	1.76	1.95	2.08	1.72	1.86	1.96	1.70	1.80	1.88
13.5	1.86	2.20	2.46	1.81	2.09	2.30	1.75	1.98	2.14	1.72	1.91	2.05	1.68	1.83	1.93	1.65	1.77	1.86
14	1.82	2.17	2.43	1.76	2.06	2.28	1.71	1.95	2.12	1.67	1.88	2.03	1.64	1.80	1.91	1.61	1.74	1.83

Fuente: Manual de diseño método PCA

Figura 35. Análisis de Erosión (Repeticiones permisibles basadas en el factor de relación de esfuerzo, con apoyo lateral)



Fuente: Manual de diseño método PCA

2.4.4. Definición de términos básicos

AASHTO: American Association of State Highway and Transportation Officials o Asociación Americana de Autoridades Estatales de Carreteras y Transporte.

PCA: Método del Portland Cement Association.

ASTM: American Society for Testing and Materials o Sociedad Americana para Ensayos y Materiales.

NTP: Norma Técnica Peruana.

Calicata: Que se realiza en un terreno, con la finalidad de permitir la observación de los estratos del suelo a diferentes profundidades y eventualmente obtener muestras generalmente disturbadas.

Carril: Parte de la calzada destinada a la circulación de una fila de vehículos. Para Construcción de Carreteras.

CBR (California Bearing Ratio): Valor soporte de un suelo o material, que se mide por la penetración de una fuerza dentro de una masa de suelo.

Compactación: Densificación de un suelo por medio de una manipulación mecánica.

Granulometría: Gradación o distribución del tamaño de las partículas de agregado, que se determina por la separación a través de tamices normalizados.

Subrasante: El suelo preparado para sostener una estructura o un sistema de pavimento. Es la fundación de la estructura del pavimento. El suelo de subrasante es llamado a veces suelo de fundación.

Base: La base constituye la capa intermedia entre la subbase y la carpeta de rodadura y utiliza materiales granulares de excelente gradación.

Subbase: Es la capa que está apoyada sobre la subrasante, compuesta por materiales granulares de buena gradación. Deberá ser perfilada y compactada entre el 95% y 100% de su máxima densidad seca mediante el ensayo próctor modificado.

Geomalla: Son estructuras bidireccionales que se elaboran en diferentes polímeros para que interactúen con el suelo, de tal manera que complementen la resistencia a la tensión de este, y así crear una resistencia Geomalla-suelo competente para recibir cargas y distribuirlas uniformemente.

CAPÍTULO III

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ubicación geográfica del estudio

País : Perú
Departamento: Cajamarca
Provincia : Chota
Distrito : Chota

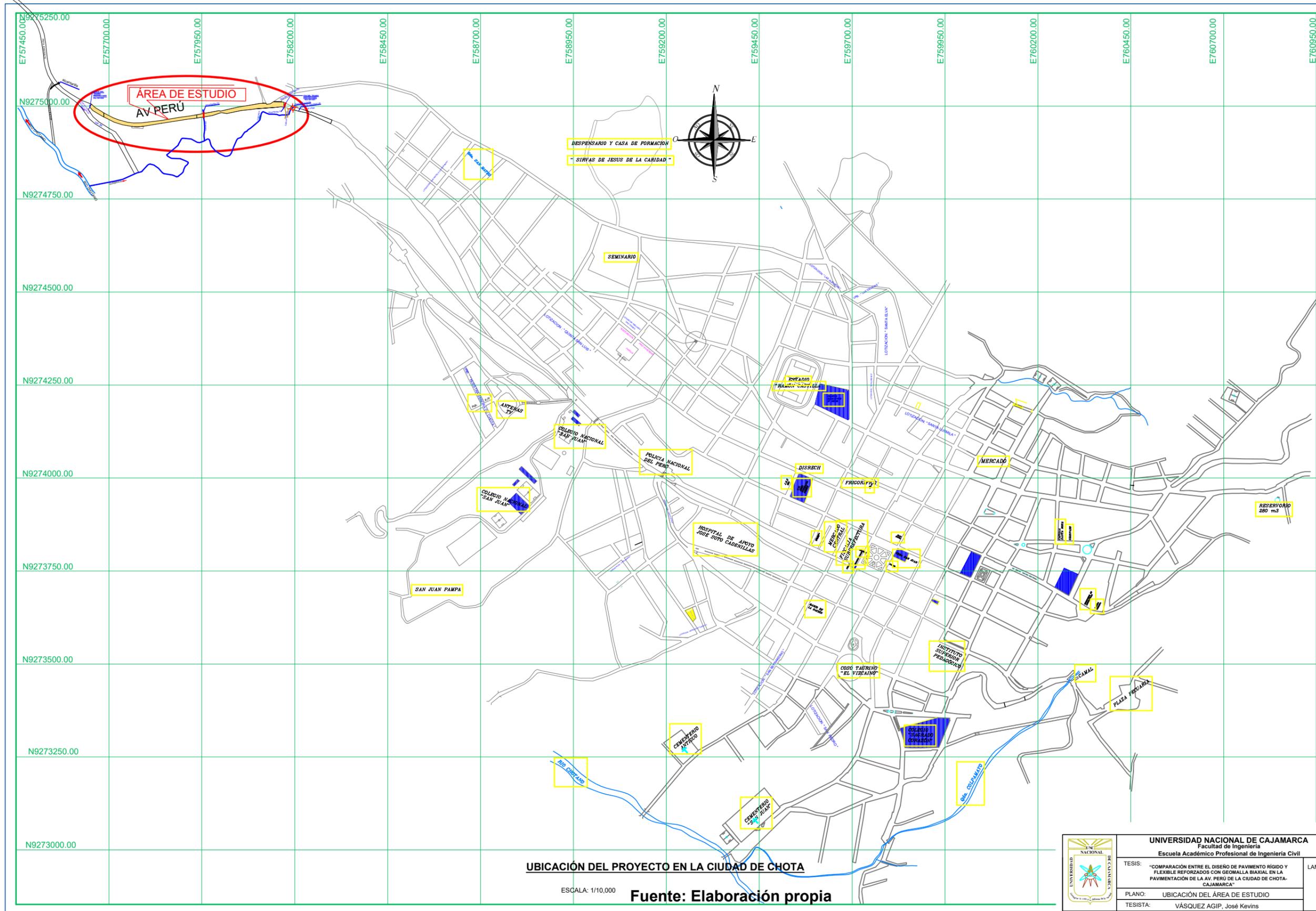
El presente estudio tuvo lugar en la Av. Perú de acceso a la ciudad de Chota, Región Cajamarca. En las coordenadas presentadas en la siguiente tabla.

Tabla 17. *Coordenadas UTM- WGS84- 17S de la ubicación del proyecto*

COORDENADAS UTM. WGS84 17S	ESTE	NORTE	ALTURA (m.s.n.m.)
Punto inicial (Cruce de vía 3N)	757662.643	9275015.697	2262.485
Punto final (Ciudad de Chota)	758141.572	9275081.612	2273.000
COORDENADAS GEOGRÁFICAS	LONGITUD (ϕ)	LATITUD (λ)	ALTURA (m.s.n.m.)
Punto inicial (Cruce de vía 3N)	-78°40'12.16"	-6°33'12.20"	2262.485
Punto final (Ciudad de Chota)	-78°40'12.16"	-78°40'12.16"	2273.000

Fuente: Elaboración propia

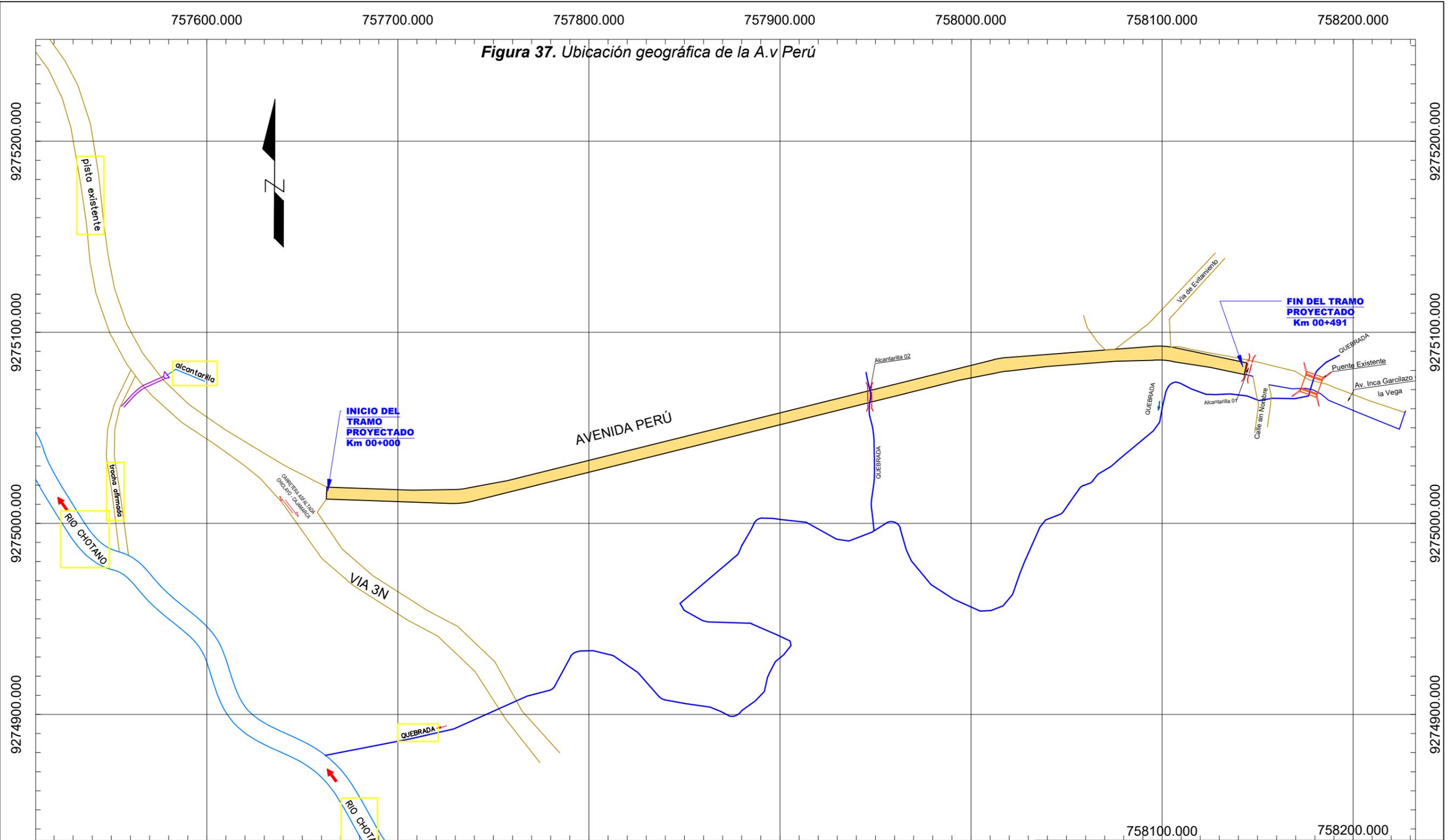
Figura 36. Ubicación geográfica del estudio



UBICACIÓN DEL PROYECTO EN LA CIUDAD DE CHOTA
 ESCALA: 1/10,000
 Fuente: Elaboración propia

	UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA	
	Facultad de Ingeniería	
	Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil	
	TESIS: "COMPARACIÓN ENTRE EL DISEÑO DE PAVIMENTO RÍGIDO Y FLEXIBLE REFORZADOS CON GEOMALLA BIAXIAL EN LA PAVIMENTACIÓN DE LA AV. PERÚ DE LA CIUDAD DE CHOTA-CAJAMARCA"	LAMINA N°:
PLANO: UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	01	
TESISTA: VÁSQUEZ AGIP, José Kevins		
ASESOR: ING. EVER RODRÍGUEZ GUEVARA	ESCALA: IND.	

Figura 37. Ubicación geográfica de la A.v Perú



	UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA Facultad de Ingeniería Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil		LAMINA N°: 02
	TESIS: "COMPARACIÓN ENTRE EL DISEÑO DE PAVIMENTO RÍGIDO Y FLEXIBLE REFORZADOS CON GEOMALLA BIAXIAL EN LA PAVIMENTACIÓN DE LA AV. PERÚ DE LA CIUDAD DE CHOTA-CAJAMARCA"		
	PLANO: UBICACIÓN DE LA AVENIDA PERÚ		
	TESISTA: VÁSQUEZ AGIP, José Kevins		
ASESOR: ING. EVER RODRÍGUEZ GUEVARA		ESCALA: 1/2000	

3.2. Tipo de investigación y análisis

3.2.1. Tipo de investigación

La investigación será de tipo Aplicativo, nivel Explicativo, método y diseño Descriptivo.

3.2.2. Tipo de análisis

El análisis será del tipo visual y personalizado. El procesamiento de la información será manual.

La metodología a utilizar, para el desarrollo adecuado de la investigación, con el fin de dar cumplimiento a los objetivos planteados será:

- ✓ Recopilación o de antecedentes preliminares: en esta etapa se realizará la búsqueda, el ordenamiento, análisis y validación de los datos existentes y de toda la información necesaria que ayuden a cumplir con los objetivos de la investigación.
- ✓ Estudio de la aplicación del programa de diagnóstico y seguimiento de pavimentos flexibles y rígidos enfocados a las Normas internacionales y normas peruanas para zonas de sub rasantes blandas o de mala calidad.

3.3. Diseño metodológico

3.3.1. El universo de la investigación.

La investigación está enmarcada en el área de pavimentos

3.4. Población y muestra

Para el presente estudio se tomó como población las vías de la ciudad de Chota y como muestra la Av. Perú, tramo: Carretera 3N y AV. Inca Garcilozo de la Vega.

3.5. Técnicas e instrumentos de investigación

3.5.1. Técnicas de investigación

3.5.1.1. Información indirecta

Se realizó la selección de la información existente en fuentes bibliográficas como reglamentos, artículos de investigación, manuales, tesis de investigación y páginas web de internet, para analizar temas generales sobre la investigación a realizar, recurriendo a las fuentes originales en lo posible.

3.5.1.2. Observación

La observación directa se realizó con el fin de hacer un reconocimiento general y verificar el estado actual en que se encuentra la avenida Perú. Además de ubicar los puntos donde se realizaron las calicatas.

3.5.2. Instrumentos

3.5.2.1. Instrumentos para la realización de calicatas.

Estos instrumentos (picos, palanas, barretas) se utilizaron para la realización de calicatas, las cuales fueron excavadas cada 70 m. a una profundidad de 1.5m, en un área aproximada de 1.05 m². (0.7m x 1.5m.), y sirvieron para recolectar una muestra de suelo, para determinar sus propiedades en el laboratorio de mecánica de suelos.

3.6. Metodología

3.6.1. Procedimiento para el desarrollo de la investigación

3.6.1.1. Realización de calicatas.

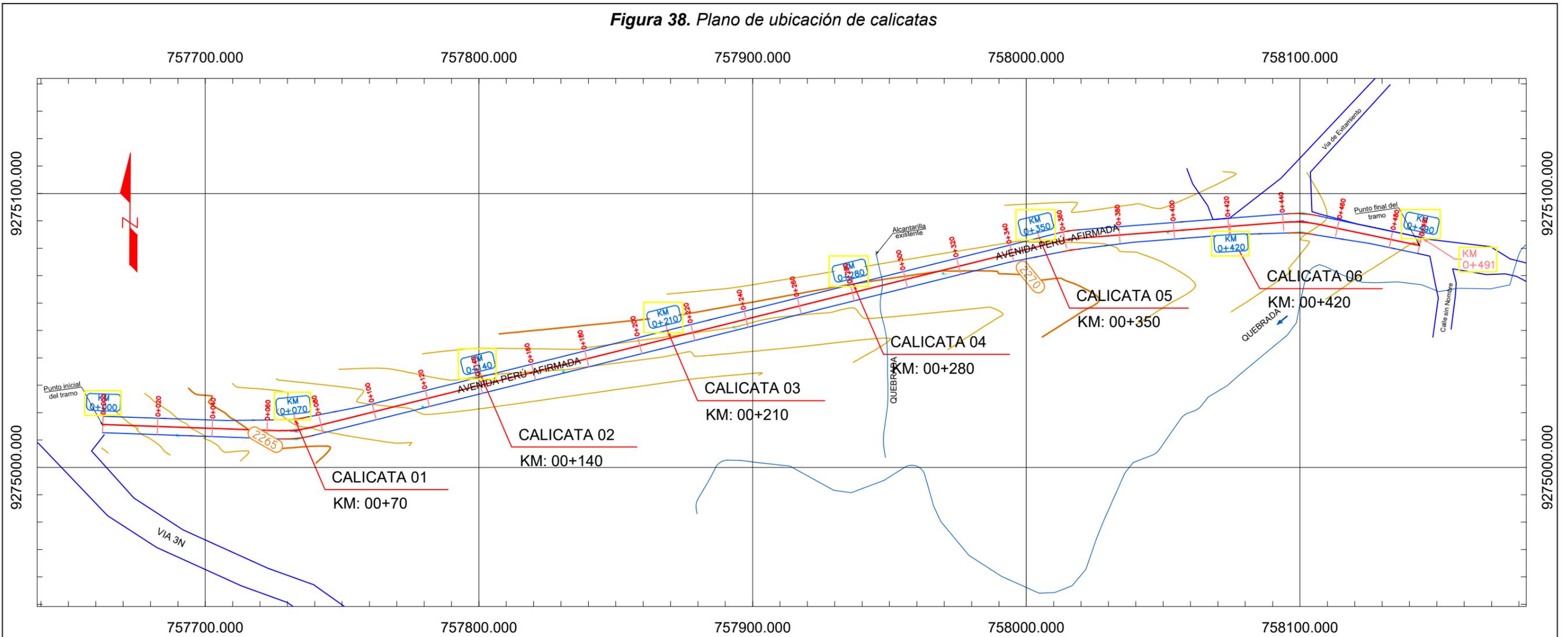
En el presente estudio se realizaron calicatas cada 70 metros desde el nivel de la subrasante a una profundidad de 1.50 m, las mismas que están identificadas con sus respectivas coordenadas y progresiva, tal y como se muestra en la tabla 18 y se aprecia en la Figura 38, esto con la finalidad de obtener muestras de suelo para realizar ensayos, determinando sus propiedades físico-mecánicas: como su granulometría, plasticidad, humedad natural, clasificación de suelos, próctor y CBR.

Tabla 18. Tabla de calicatas

CALICATAS	MUESTRAS	PROGRESIVA (km)	COORDENADAS		PROFUNDIDAD (m)
			ESTE	NORTE	
C-1	M-1	000+70	757732.612	9275017.451	1.50
C-2	M-1	000+140	757801.855	9275032.750	1.50
C-3	M-1	000+210	757778.644	9275050.056	1.50
C-4	M-1	000+280	757937.542	9275068.100	1.50
C-5	M-1	000+350	758004.750	9275083.646	1.50
C-6	M-1	000+420	758073.155	9275084.975	1.50

Fuente: Elaboración propia

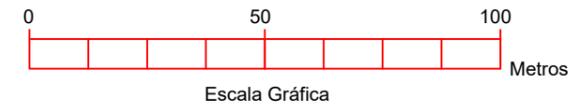
Figura 38. Plano de ubicación de calicatas



CALICATAS	MUESTRAS	PROGRESIVA (km)	COORDENADAS		PROFUNDIDAD (m)
			ESTE	NORTE	
C-1	M-1	000+70	757732.612	9275017.451	1.50
C-2	M-1	000+140	757801.855	9275032.750	1.50
C-3	M-1	000+210	757778.644	9275050.056	1.50
C-4	M-1	000+280	757937.542	9275068.100	1.50
C-5	M-1	000+350	758004.750	9275083.646	1.50
C-6	M-1	000+420	758073.155	9275084.975	1.50

Fuente: Elaboración propia

UBICACIÓN DE CALICATAS
E: 1/1500



	UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA Facultad de Ingeniería Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil		LAMINA N°: <h1 style="text-align: center;">C-01</h1>
	TESIS: "COMPARACIÓN ENTRE EL DISEÑO DE PAVIMENTO RÍGIDO Y FLEXIBLE REFORZADOS CON GEOMALLA BIAIXIAL EN LA PAVIMENTACIÓN DE LA AV. PERÚ DE LA CIUDAD DE CHOTA-CAJAMARCA"		
	PLANO: UBICACIÓN DE CALICATAS TESISISTA: VÁSQUEZ AGIP, José Kevins		
ASESOR :		ING. EVER RODRÍGUEZ GUEVARA	
		ESCALA: 1/1500	

3.6.2. Forma de tratamiento de los datos.

- ✓ Investigación histórica documental.
A través de estudiar y revisar gradualmente la construcción de pavimentos y sus procedimientos en la ciudad de Chota.
- ✓ Mediante la aplicación de la bibliografía propuesta, buscando respuesta a la hipótesis planteada.

3.6.3. Forma de análisis de las informaciones

Para la elaboración del trabajo de investigación se empleará como fuente de consulta la documentación de las firmas especializadas en la producción de Geomalla Biaxial (TENSAR) las cuales presentan sus características, detalles, trabajos ejecutados (Testimoniales de obra) y ventajas particulares de cada sistema; también se empleará la metodología tradicional de la AASHTO para el diseño de pavimentos, tanto rígidos como flexibles.

El desarrollo se hace de la siguiente manera:

a) Diseño de pavimentos flexibles reforzados.

1. Se calculará los números estructurales de cada capa según metodología AASHTO para la estructura inicial.
2. Cálculo de los nuevos espesores de capas granulares con refuerzo empleando una geomalla Biaxial BX1200 y verificación del aporte estructural con los nuevos espesores de capa de material granular e inclusión de geomalla.

b) Diseño de pavimentos flexibles sin reforzar.

1. Se aplica la metodología tradicional según el procedimiento establecido en el marco teórico.

c) Diseño de pavimentos rígidos reforzados.

1. Cálculo del espesor de la capa de rodadura (Método AASHTO) con refuerzo empleando una geomalla Biaxial BX1200 sobre la sub-rasante, utilizando el aporte del Dr. Steve Perkins para determinar el módulo de reacción combinado de la sub-rasante como parámetro de diseño en función de un espesor de subbase asignado previamente.
2. Verificación del espesor de capa de rodadura de pavimento rígido calculado por el método AASHTO utilizando la metodología PCA, con refuerzo empleando una geomalla Biaxial BX1200 sobre la sub-rasante.

d) Diseño de pavimentos rígidos sin reforzar.

1. Se aplica la metodología tradicional según el procedimiento establecido en el marco teórico.

3.6.4. Presentación de resultados

3.6.4.1. Diseño de pavimento flexible reforzados con geomalla biaxial BX-1200

Debido a la presencia de suelos de mala capacidad portante en la subrasante, según resultados de CBRs obtenidos en los ensayos de laboratorio, para este estudio se recomienda la utilización de geomalla biaxial BX-1200 como mejoramiento de la subrasante.

a. Clasificación de la vía en estudio

- Según su funcionalidad

La Av. Perú es una vía colectoras según la clasificación de vías urbanas, de bajo volumen de tránsito IMD=468 Veh/día (Ref. anexo I), además tiene dos carriles de circulación, uno en cada dirección (Bidireccional).

b. Determinación del CBR de diseño

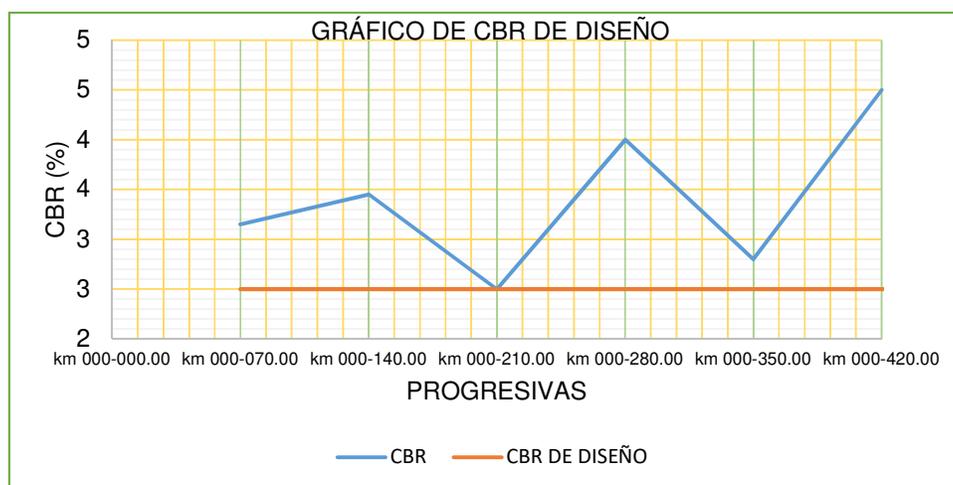
Tabla 19. CBRs obtenidos de ensayos de laboratorio

CALICATA	PROGRESIVA	CBR (%)
C-01	km 000-070.00	3.15%
C-02	km 000-140.00	3.45%
C-03	km 000-210.00	2.50%
C-04	km 000-280.00	4.00%
C-05	km 000-350.00	3.80%
C-06	km 000-420.00	4.00%

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a la tabla 19 tenemos los CBRs presentados por cada calicata, de acuerdo a la tabla 8 que hace referencia a las categorías por rangos de CBRs, nos encontramos con dos categorías S0 y S1, por lo que en este caso se tomará la categoría más crítica (S0: CBR<3%), por lo tanto, el CBR de diseño será de **2.50%**.

Figura 39. Gráfico de los valores de CBR



Fuente: Elaboración propia

c. Variable de tiempo

De acuerdo a la clasificación de la vía urbana en estudio, utilizamos la tabla 20 para obtener el periodo de diseño.

Tabla 20. Periodo de diseño

TIPO DE CARRETERA	PERIODO DE DISEÑO
Urbana con altos volúmenes de tránsito	30-50 años
Interurbana con altos volúmenes de tránsito	20-50 años
Pavimentada con bajos volúmenes de tránsito	15-25 años
Revestida con bajos volúmenes de tránsito	10- 20 años

Fuente: Guía de diseño de pavimentos. 1993.

$$\text{Periodo de diseño} = 20 \text{ años}$$

d. Análisis de tráfico

- Factor de distribución por dirección

Tabla 21. Factor de distribución por dirección

Número de carriles en ambas direcciones	LD 10
2	0.5
4	0.45
6 o más	0.40

Fuente: Guía de diseño de pavimentos. 1993.

Según la distribución por dirección del tráfico se adoptó:

$$FDD = 0.5$$

- **Factor de distribución por carril**

Tabla 22. Factor distribución por carril

Número de carriles en cada sentido	% ejes simples equivalentes de 82kN en carril de diseño
1	1.00
2	0.80 - 1.00
3	0.60 - 0.80
4	0.50 - 0.75

Fuente: Guía de diseño de pavimentos. 1993.

Se tiene un carril en cada sentido, $FDC = 1.00$

- **Factor de crecimiento**

La tasa de crecimiento para este estudio de tráfico se ha determinado por separado: Para autos=4.5%, camionetas=4.0%, combi rural=3.0%, buses=3.0%, camiones unitarios 2E=3.0%, camiones unitarios 3E=4.5%, camiones unitarios 4E=4.0%, vehículos semitrailer=3.0%. Estas tasas de crecimiento se determinaron de acuerdo al crecimiento poblacional en la ciudad de Chota.

Fuente: Expediente técnico (MEJORAMIENTO DEL SERVICIO DE TRANSITABILIDAD EN LA AV. PERÚ TRAMO CARRETERA 3N- AV. INCA GARCILAZO DE LA VEGA, DISTRITO DE CHOTA, PROVINCIA DE CHOTA - CAJAMARCA - ETAPA I)

Nota: El cálculo del número de ESALs se ha tomado del expediente técnico realizado por la municipalidad Provincial de Chota, para el cálculo se ha tomado como valores de la variable tiempo y el análisis del tráfico los descritos anteriormente en el ítem c) y d) (Ver Anexo I).

Tabla 23. Número de repeticiones acumuladas de ejes equivalentes de 8.2tn, en el carril de diseño.

Tipos tráfico pesado expresado en EE	Rangos de tráfico pesado expresado en EE
T _{P0}	> 75,000 EE ≤ 150,000 EE
T _{P1}	> 150,000 EE ≤ 300,000 EE
T _{P2}	> 300,000 EE ≤ 500,000 EE
T _{P3}	> 500,000 EE ≤ 750,000 EE
T _{P4}	> 750,000 EE ≤ 1'000,000 EE
T _{P5}	> 1'000,000 EE ≤ 1'500,000 EE
T _{P6}	> 1'500,000 EE ≤ 3'000,000 EE
T_{P7}	> 3'000,000 EE ≤ 5'000,000 EE
T _{P8}	> 5'000,000 EE ≤ 7'500,000 EE
T _{P9}	> 7'500,000 EE ≤ 10'000,000 EE
T _{P10}	> 10'000,000 EE ≤ 12'500,000 EE
T _{P11}	> 12'500,000 EE ≤ 15'000,000 EE
T _{P12}	> 15'000,000 EE ≤ 20'000,000 EE
T _{P13}	> 20'000,000 EE ≤ 25'000,000 EE
T _{P14}	> 25'000,000 EE ≤ 30'000,000 EE
T _{P15}	> 30'000,000 EE

Fuente: Manual de carreteras. Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos. 2013.

Según la tabla 23 se obtuvo un tráfico pesado T_{p7} para el carril de diseño, ya que el valor del número de ESAL's calculado está en el rango de 3'000,000 EE y 5'000,00.

Por lo tanto, el tráfico de diseño pertenece al T_{p7}:

$$\text{Tipo de tráfico para diseño} = T_{p7}$$

e. Serviciabilidad

- **Serviciabilidad inicial (P_o)**

Tabla 24. Índice de Serviciabilidad inicial

TIPO DE CAMINO	TRÁFICO	(P ₀)
Caminos de bajo volumen de tránsito	Tp ₁	3.80
	Tp ₂	3.80
	Tp ₃	3.80
	Tp ₄	3.80
Resto de caminos	Tp ₅	4.00
	Tp ₆	4.00
	Tp₇	4.00
	Tp ₈	4.00
	Tp ₉	4.00
	Tp ₁₀	4.00
	Tp ₁₁	4.00
	Tp ₁₂	4.20
	Tp ₁₃	4.20
	Tp ₁₄	4.20
	Tp ₁₅	4.20

Fuente: Manual de carreteras. Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos. 2013.

$$P_0 = 4.0$$

- **Serviciabilidad final (*pf*)**

Tabla 25. Índice de Serviciabilidad final

TIPO DE CAMINO	TRÁFICO	(P _f)
Caminos de bajo volumen de tránsito	Tp ₁	2.00
	Tp ₂	2.00
	Tp ₃	2.00
	Tp ₄	2.00
Resto de caminos	Tp ₅	2.50
	Tp ₆	2.50
	Tp₇	2.50
	Tp ₈	2.50
	Tp ₉	2.50
	Tp ₁₀	2.50
	Tp ₁₁	2.50
	Tp ₁₂	3.00
	Tp ₁₃	3.00
	Tp ₁₄	3.00
	Tp ₁₅	3.00

Fuente: Manual de carreteras. Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos. 2013.

$$P_f = 2.50$$

- Variación de serviciabilidad (ΔPSI)

$$\Delta PSI = P_0 - P_f$$

$$\Delta PSI = 4.0 - 2.5 = 1.5$$

f. Factor de confiabilidad (R) y la desviación estándar (S_0)

Tabla 26. Nivel de confiabilidad y desviación estándar normal

TIPO DE CAMINO	TRAFICO	NIVEL DE CONFIABILIDAD (R)	DESVIACIÓN ESTÁNDAR NORMAL (Z_r)
Caminos de bajo volumen de tránsito	Tp_0	65%	- 0.385
	Tp_1	70%	- 0.524
	Tp_2	75%	- 0.674
	Tp_3	80%	- 0.842
	Tp_4	80%	- 0.842
Resto de caminos	Tp_5	85%	- 1.036
	Tp_6	85%	- 1.036
	Tp_7	85%	- 1.036
	Tp_8	90%	- 1.282
	Tp_9	90%	- 1.282
	Tp_{10}	90%	- 1.282
	Tp_{11}	90%	- 1.282
	Tp_{12}	95%	- 1.645
	Tp_{13}	95%	- 1.645
	Tp_{14}	95%	- 1.645
	Tp_{15}	95%	- 1.645

Fuente: Manual de carreteras. Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos. 2013.

$$Tp_7: R = 85\%, Z_r = -1.036$$

$$Desviacion\ estandar\ S_0 = 0.45$$

g. Cálculo del número estructural SN

✓ **Datos**

Tabla 27. Datos para diseño de pavimento flexible

R	85%	Mr. Carpeta asfáltica	400000.00 Psi
ESAL (W_{18})	3.11×10^6	Mr. Subrasante	4592.75 Psi
S_0	0.45	Mr. Base	29000.00 Psi
ΔPSI	1.5	Mr. Subbase	16500.00 Psi

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a los Módulos de Resiliencia (Mr) se obtienen los números estructurales de diseño (SN), utilizando el nomograma de la figura. 40 de la siguiente forma:

Comenzando en el lado izquierdo del ábaco, en donde dice Confiabilidad R (%), se sale con valor de $R = 0.85$.

En la siguiente línea inclinada que dice. Desviación Standard S_0 . Se coloca el valor de $S_0 = 0.45$ y uniendo este punto con el de $R = 0.85$ del punto anterior, se traza una línea que intercepte la siguiente línea TL en un punto que va a servir de pivote.

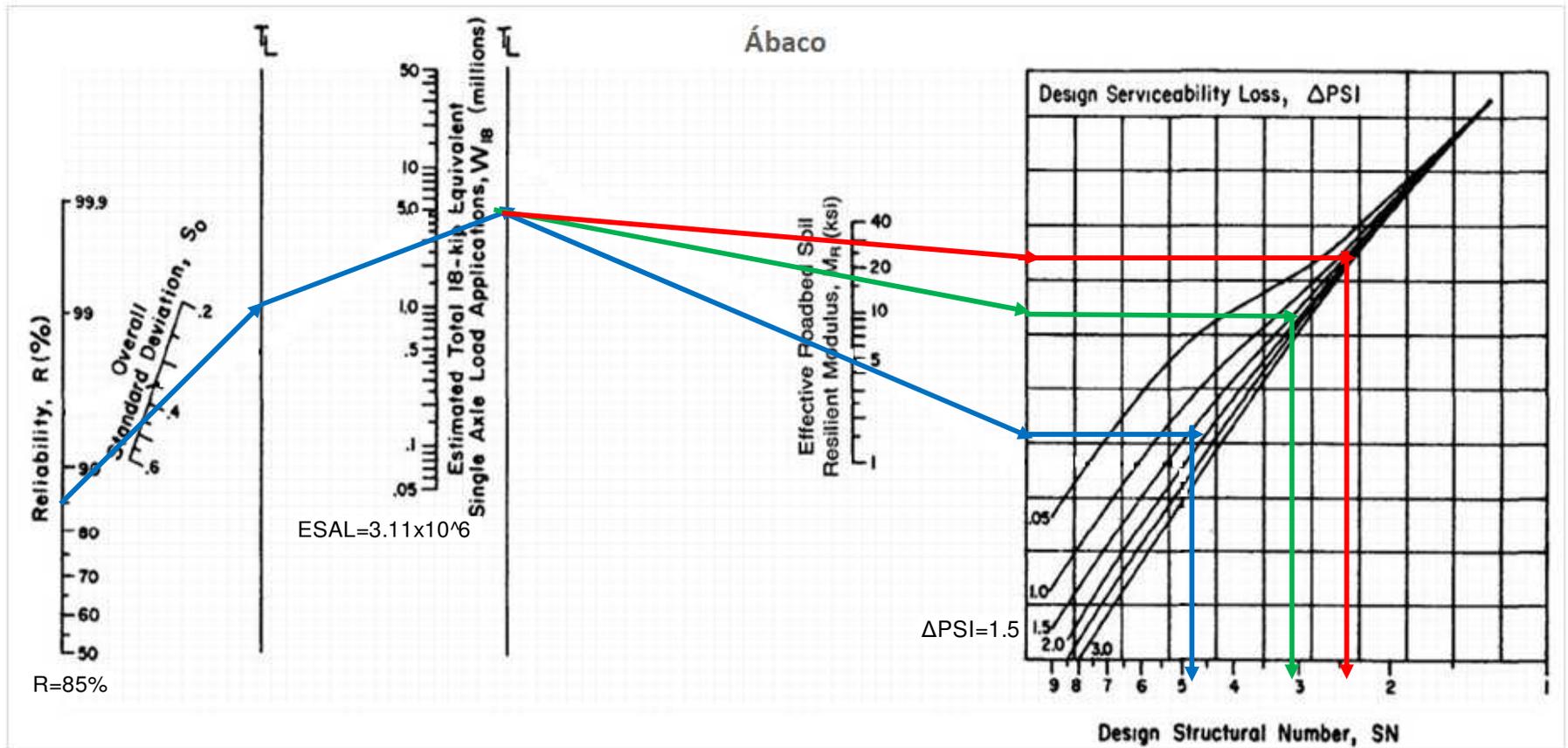
En la siguiente línea vertical dice. No. Total de ESAL's aplicados W18 (millones), en esta encontramos el valor de 3.11×10^6 ESAL's = 3, 113,112 = 3 en el ábaco; entonces uniendo el punto de pivote de la línea anterior con este nuevo punto, se encuentra otro punto pivote en la siguiente línea vertical TL.

En la siguiente línea vertical que dice Módulo Resiliente efectivo de la subrasante (ksi), se encuentra el valor de Mr (Mpa-psi) = 4592.75 = 4.5 para la subrasante, se une el último punto pivote encontrado anteriormente y el valor de 4.5 en esta línea hasta encontrar la primera línea vertical izquierda del cuadro situado a la extrema derecha.

De este punto de intersección, se continúa horizontalmente hasta encontrar la línea inclinada que corresponde a un valor de Δ PSI = 1.5 que es Pérdida de serviciabilidad de diseño, de este punto se baja a la línea inferior del cuadro en donde se encuentra el Número estructural de diseño SN, que para el caso es 4.92 (para proteger la sub-rasante) que es el Número Estructural requerido para proteger toda la estructura del pavimento.

Para los siguientes valores de $Mr = 16500 = 16.5$ el valor de SN_2 es 3.02 (para proteger la sub-base granular) y para $Mr = 29000 = 29$ el valor de SN_1 es de 2.41 (para proteger la base triturada).

Figura 40. Nomograma para el cálculo de los números estructurales



Mr subrasante= 4592.75 Psi
 Mr Base= 29000 Psi
 Mr subbase= 16500 Psi

SN1	2.41
SN2	3.02
SN3	4.92

Fuente: Elaboración propia

Seguidamente para encontrar los valores de los coeficientes estructurales de capa (ax), se utiliza las tablas 28, 29 y 30 para determinar los coeficientes estructurales de las capas del pavimento según el manual de carreteras del MTC.

h. Cálculo de los coeficientes estructurales de capa

✓ Coeficiente estructural de capa a_1

Tabla 28. Valores para el coeficiente estructural a_1

Componente del pavimento	Coeficiente	Valor Coeficiente Estructural a_1 (cm)	Observación
Capa superficial			
Carpeta Asfáltica en caliente, modulo 2,965 MPa (430,000PSI) a 20C (68F)	a_1	0.170/cm	Capa Superficial recomendada para todos los tipos de trafico
Carpeta Asfáltica en Frio, Mezcla asfáltica con emulsión.	a_1	0.125/cm	Capa Superficial recomendada para Trafico $\leq 1'000,000$ EE
Micropavimento 25 mm	a_1	0.130/cm	Capa Superficial recomendada para Trafico $\leq 1'000,000$ EE
Tratamiento Superficial Bicapa	a_1	0.250 (*)	Capa Superficial recomendada para Trafico $\leq 500,000$ EE
Lechada Asfáltica (Slurry seal) de 12 mm	a_1	0.150(*)	Capa Superficial recomendada para Trafico $\leq 500,000$ EE
(*) Valor Global (no se considera el espesor)	a_1		

De acuerdo a la tabla 28 para una carpeta asfáltica en caliente, recomendada para todos los tipos de tráfico se tiene $a_1 = 0.170/\text{cm} \approx \mathbf{0.43/\text{plg}}$.

✓ **Coefficiente estructural de capa a₂**

Para determinar el valor de coeficiente de capa a₂ de las bases trituradas o granulares, se toma el valor de CBR=80% (Ref. tabla 7), recomendado según norma CE.010 de Pavimentos Urbanos.

Tabla 29. Valores para el coeficiente estructural a₂

Componente del pavimento	Coeficiente	Valor Coeficiente Estructural a ₂ (cm)	Observación
BASE			
Base Granular CBR 80% compactada al 100% de la MDS	a ₂	0.052/cm	Capa de Base recomendada para tráfico ≤ 5'000,000 EE
Base Granular CBR 100% compactada al 100% de la MDS	a ₂	0.054/cm	Capa de Base recomendada para tráfico >5'000,000 EE
Base Granular Tratada con Asfalto (Estabilidad Marshall=1500 lb)	a ₂	0.115/cm	Capa de Base recomendada para todos los tipos de tráfico.
Base Granular Tratada con Cemento (resistencia a la compresión 7 días=35 kg/cm ²)	a ₂	0.070/cm	Capa de Base recomendada para todos los tipos de tráfico.
Base Granular Tratada con Cal (resistencia a la compresión 7 días=12 kg/cm ²)	a ₂	0.080/cm	Capa de Base recomendada para todos los tipos de tráfico.

De acuerdo a la tabla 29 para una capa de Base granular de CBR=80%, recomendada para tráfico ≤5'000,000 EE, el cual es mayor al número de EE=3'113,112 calculados para este diseño, por lo tanto, se tiene a₂ = 0.052/cm ≈ **0.13/plg.**

✓ **Coefficiente estructural de capa a₃**

Para determinar el valor de coeficiente de capa a₃ de sub-bases granulares, se toma el valor de CBR=40% (Ref. tabla 7), recomendado según norma CE.010 de Pavimentos Urbanos.

Tabla 30. Valores para el coeficiente estructural a₃

Componente del pavimento	Coefficiente	Valor Coeficiente Estructural a ₂ (cm)	Observación
SUB-BASE			
Sub Base Granular CBR 40%, compactada al 100% de la MDS	a ₃	0.047/cm	Capa de Sub Base recomendada para tráfico ≤15'000,000 EE
Sub Base Granular CBR 60% compactada al 100% de la MDS	a ₃	0.050/cm	Capa de Sub Base recomendada para tráfico >15'000,000 EE

De acuerdo a la tabla 30 para una capa de Base granular de CBR=40%, recomendada para tráfico ≤15'000,000 EE, el cual es mayor al número de EE=3'113,112 calculados para este diseño, por lo tanto, se tiene a₃ = 0.047/cm ≈ **0.12/plg.**

Tabla 31. Valores de los coeficientes estructurales de capa.

a ₁	0.43
a ₂	0.13
a ₃	0.12

Fuente: Elaboración propia

✓ **Determinación de la calidad de drenaje**

El proyecto se ubica en el distrito de Chota con altitud de 2400 m.s.n.m, por lo que es una zona lluviosa, por lo tanto, el porcentaje de tiempo en que el pavimento está expuesto a niveles de humedad próximos a la saturación será.

$$P = \left(\frac{(S+R) \times 100}{365} \right) = \frac{(61+182) \times 100}{365} = 66.6\%$$

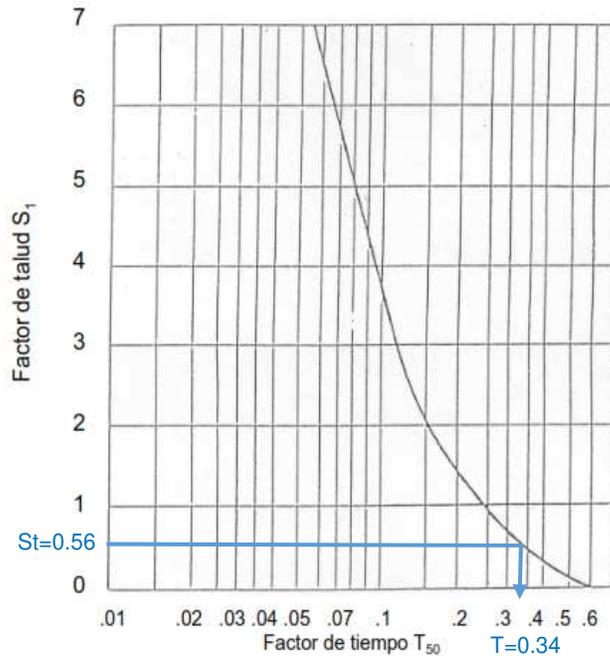
S=	61	ABRIL- MAYO Y OCTUBRE- NOVIEMBRE
R=	182	NOVIEMBRE-ABRIL
P=	66.6	%

Fuente: Elaboración propia

Luego se calcula el factor de pendiente longitudinal

$$St = \frac{(Lr \times Sr)}{h} = \frac{4.50 \times 2.5\%}{0.20} = 0.56$$

Figura 41. Factor de tiempo T_{50}



Fuente: Diseño Estructural de Caminos, Universidad Nacional de San Juan, Argentina, 1,994

Con el valor de $St = 0.56$ interceptado en la curva, el valor de $T = 0.34$ (Figura 41). Seguidamente se calcula el factor drenaje.

Tabla 32. Valores de permeabilidad de las gradaciones que presenta la NTE CE. 010

Gradación	Diámetro efectivo (D_{10}) mm	Permeabilidad (k) cm/seg
B	0.18	0.038≈32.83m/día
C	0.19	0.042≈36.29 m/día
D	0.10	0.012≈10.37 m/día

Fuente: Palacios, E. Determinación de la tasa de infiltración de los pavimentos en el casco urbano de la ciudad de Piura

Según los valores de la gradación B utilizada para el diseño de este estudio, determinamos el valor de la permeabilidad presentada en la tabla 32.

De acuerdo a Moret- Fernández y López, en su investigación un método sencillo para la estimación de la porosidad de un agregado, las porosidades de los agregados medidos con el método AM, oscilan entre 0.30 y 0.45. Para el procedimiento de cálculo utilizamos $n_e=0.30$ como valor de la porosidad para la gradación B.

DATOS		
$N_e=$	0.30	
$K=$	32.83	m/día (tabla 32)
$S=$	2.50%	Sección transversal
$h=$	0.20	Sección transversal
$L=$	4.50	Sección transversal

Fuente: Elaboración propia

$$mx = Nc \times \frac{Lr^2}{h \times k} = \frac{0.30 \times 4.50^2}{0.20 \times 32.83} = 0.93 \text{ días}$$

El tiempo para drenar la capa será:

$$t = T \times mx \times 24 \text{ horas} = 0.34 \times 0.93 \times 24 = 7.55 \text{ horas}$$

Como el tiempo para drenar el 85% de saturación, es de 7.55 horas la cual está entre el rango de 5 a 10 horas según tabla 33, y 66.6% de porcentaje de tiempo en que el pavimento está expuesto a niveles próximos de saturación ($P=66.6\% > 25\%$ -tabla 34), según estos valores calculados le corresponde un drenaje regular con un coeficiente de drenaje de **0.80**, según la tabla 34.

Debido a que para el diseño de pavimentos flexibles se requiere dos valores de coeficiente de drenaje (capa de base y capa de subbase), para este diseño se tomará el mismo valor de coeficiente de drenaje $m_2 = m_3 = 0.80$.

Tabla 33. *Tiempos de drenaje para capas granulares*

Calidad del Drenaje	50% saturación	85% saturación
Excelente	2 horas	2 horas
Bueno	1 día	2 a 5 horas
Regular	1 semana	5 a 10 horas
Pobre	1 mes	de 10 a 15 horas
Muy pobre	El agua no drena	mayor de 15 horas

Fuente: Guía para Diseño de Pavimentos, AASHTO 1,993

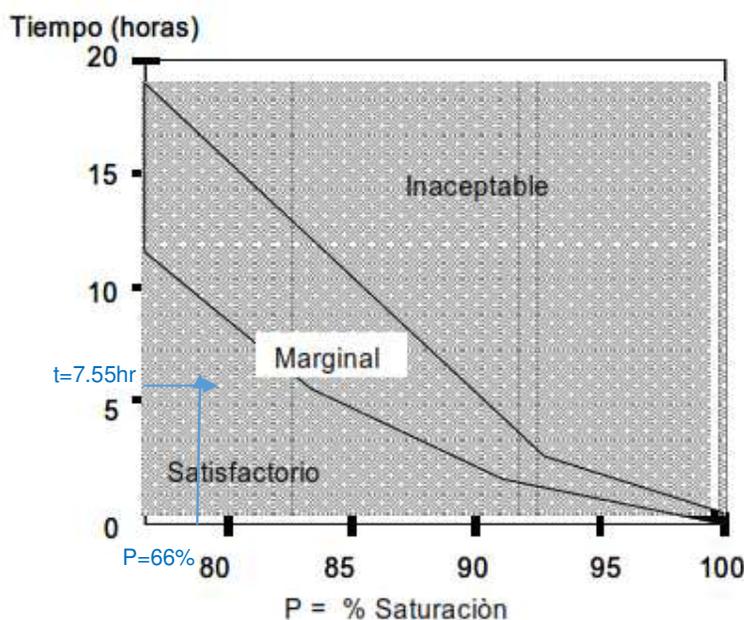
Tabla 34. Coeficientes de drenaje para pavimentos flexibles (mx)

Calidad del drenaje	P = % del tiempo en que el pavimento está expuesto a niveles de humedad cercanos a la saturación			
	< 1%	1%- 5%	5% - 25%	> 25%
Excelente	1.40-1.35	1.35-1.30	1.30-1.20	1.20
Bueno	1.35-1.25	1.25-1.15	1.15-1.00	1.00
Regular	1.25-1.15	1.15-1.05	1.00-0.80	0.80
Pobre	1.15-1.05	1.05-0.80	0.80-0.60	0.60
Muy pobre	1.05-0.95	0.95-0.75	0.75-0.40	0.40

Fuente: Guía para Diseño de Pavimentos, AASHTO 1,993

Finalmente determinamos la capacidad de la capa de base como elemento drenante.

Figura 42. Criterio de drenajes para capas granulares



Fuente: Diseño Estructural de Caminos, Universidad Nacional de San Juan, Argentina, 1,994

De acuerdo a los valores calculados en la figura podemos determinar la capacidad de la base como elemento drenante, la cual es aceptable o satisfactorio. De acuerdo a todos los datos calculados para el diseño, procedemos al cálculo de los espesores de capas del pavimento flexible reforzado con geomalla.

i. Determinación de los espesores de capas del pavimento flexible utilizando geomalla biaxial BX-1200

$$D_1 = \frac{SN_1}{a_1} = \frac{2.41}{0.43} = 5.60 \cong 5''$$

$$SN_R = 4.92$$

Luego se calcula la estructura sustituyendo la sub-base granular. Con el número estructural inicial, se realiza una sustitución de base granular por sub-base granular, determinando espesores equivalentes obteniendo el mismo valor numérico del número estructural inicial.

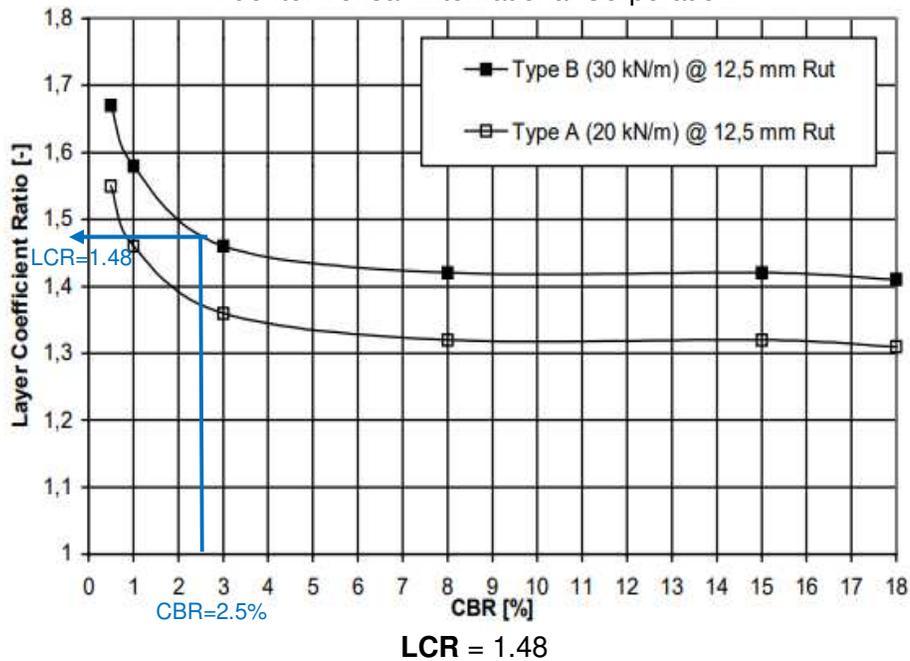
Este nuevo espesor se denomina D_3'

$$SN = a_1 D_1 + a_3 D_3' m_3$$

$$D_3' = 28.77''$$

Luego se calcula de nuevo el espesor de la capa de base con refuerzo, empleando una geomalla de 30 KN/m (Tipo B), en este caso aportado por la geomalla bi-axial para una sub-rasante de diseño de CBR=2.50%, se obtiene de la figura 43 un valor de LCR o coeficiente de aporte de la geomalla a la capa granular de:

Figura 43. Coeficiente de aporte de la geomalla para pavimento flexible Vs CBR (%)
Fuente: Tensar International Corporation



Para incluir el aporte de la geomalla dentro de la estructura de pavimento y obtener una disminución de espesor, se debe mantener constante a través de los cálculos realizados, el valor inicial del número estructural.

$$SN_r = SN \quad SN_r = 4.92$$

A continuación, se realiza el cálculo del nuevo espesor de la capa granular con refuerzo incluido como parte integral de la estructura según la ecuación del número estructural, pero utilizando el coeficiente LCR.

$$SN_r = a_1 D_1 + a_3' LCR' D'_{3r} m_3$$

$$D_{3r} = \frac{SN_r - a_1 D_1}{a_3 LCR m_3} = \frac{4.92 - 0.43 \times 5}{0.12 \times 1.48 \times 0.8} = 19.44''$$

Una vez hallado el nuevo espesor de la capa granular, por la utilización de la geomalla, se calcula el número estructural de la misma.

$$a_3 D_{3r} m_3 = SN_{gr} = 0.12 \times 19.44 \times 0.8 = 1.872$$

Como la estructura seguirá manteniendo la misma conformación de materiales de base y sub-base, se deben calcular los nuevos espesores de dichas capas en función del número estructural de la capa de sub-base obtenido en el paso anterior y con sus coeficientes de capa respectivos.

$$SN_{gr} = a_2 D_{2r} m_2 + a_3 D_{3r} m_3$$

Debido a que tienen dos incógnitas y una sola ecuación, se debe realizar un proceso de iteración para obtener unos espesores de capa razonables para la estructura. Para el espesor de la base granular no se recomienda que este valor se encuentre por debajo de los 15 cm o 6". Para la solución del problema, se deja constante el espesor de la sub-base granular, que para este caso se emplea el espesor mínimo recomendado de 15 cm y se despeja de la ecuación el espesor de la base granular.

Para nuestro caso, escogeremos un espesor de sub-base asumido:

$$D_{3r} = 11.90'' \rightarrow SN_{gr} = a_2 D_{2r} m_2 + a_3 D_{3r} m_3$$

$$D_{2r} = 6.96 \cong 7'' \rightarrow 1.872 = 0.13 \times 7 \times 0.8 + 0.12 \times D_{3r} \times 0.8$$

$$D_{3r} = 11.86'' \cong 11.90''$$

A continuación, se verifica el aporte estructural con los nuevos espesores de capa de material granular e inclusión de geomalla.

Para que la estructura sea constructivamente viable, los espesores calculados por lo general son modificados para facilitar su proceso constructivo. Es por eso que se debe

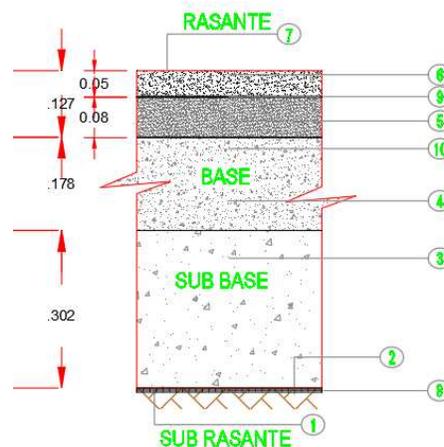
verificar que la variación de estos no altere el desempeño de la estructura por lo que el número estructural de las capas granulares con respecto al número del aporte estructural de la capa reforzada, debe ser en lo posible mayor o igual.

$$0.13 \times 7 \times 0.8 + 0.12 \times 11.9 \times 0.8 = 1.876 \geq 1.872 \dots OK$$

Tabla 35. Resultados de espesores de capa de pavimento flexible reforzado con geomalla biaxial Bx1200

Capa	Espesor de pavimento con geomalla (plg)
Carpeta asfáltica	5.00 plg ≈ 12.7 cm
Capa de base	7.00 plg ≈ 17.8 cm
Capa de sub-base	11.90 plg ≈ 30.2 cm

Figura 44. Espesores de capas granulares en (cm) del diseño de pavimento flexible reforzado con geomalla biaxial BX-1200.



- ①* Sub- rasante.
- ②* Perfilado y compactación de la plataforma a nivel de la sub-rasante considerando los sobrecargos y niveles de bombeo y/o peraltes correspondientes.
- ③* Sub- base granular espesor de 30.2 cm.
- ④* Base granular espesor de 17.8 cm.
- ⑤* Base granular asfáltica (Base Negra).
- ⑥* Carpeta de concreto asfáltico.
- ⑦* Rasante.
- ⑧* Geomalla biaxial BX-1200 e=1.27mm.
- ⑨* Riego de liga ER1 (0.5 lts/m²).
- ⑩* Imprimación con EBRL (1.50 lts/m²) + Riego de liga.

3.6.4.2. Diseño de pavimento flexible tradicional método AASHTO

Para este diseño utilizamos todos los datos que ya han sido determinados en el diseño de pavimento flexible con refuerzo de geomalla, solo determinaremos los valores de los espesores de las capas que lo conforman (Capa de rodadura, base y subbase). Para esto presentamos todos los datos de diseño en la siguiente tabla.

Tabla 36. Datos de diseño de pavimento flexible sin reforzamiento de geomalla

Datos de diseño de pavimento flexible tradicional			
CBR de diseño	2.50%	Desviación estándar S_0	$S_0=0.45$
Periodo de diseño	20 años	Número estructural SN_1	2.41
# ESALs	3,113,112	Número estructural SN_2	3.02
Tipo de trafico	T_p7	Número estructural SN_3	4.92
Serviciabilidad inicial (P_0)	4.00	Coefficiente de capa a_1	0.43/plg
Serviciabilidad final (P_f)	2.50	Coefficiente de capa a_2	0.13/plg
Δ PSI	1.50	Coefficiente de capa a_3	0.12/plg
Nivel de confiabilidad	R=85%, Zr=-1.036	Coefficiente de drenaje $m_2=m_3$	0.80

Fuente: Elaboración propia

Según estos datos (tabla 36), determinamos los valores de los espesores de capas que lo conforman al pavimento flexible.

$$SN = a_1D_1 + a_2D_2m_2 + a_3D_3m_3$$

Donde:

- ✓ Para calcular el espesor de la capa de rodadura (D_1) utilizamos la siguiente formula.

$$SN_1 = a_1D_1$$

- ✓ Para calcular el espesor de la capa de la base (D_2) utilizamos la siguiente formula.

$$SN_2 = a_1D_1 + a_2D_2m_2$$

- ✓ Para calcular el espesor de la capa de la sub-base (D_3) utilizamos la formula.

$$SN_3 = a_1D_1 + a_2D_2m_2 + a_3D_3m_3$$

- ✓ En primer lugar, calculamos el valor del espesor de la capa de rodadura (D_1).

$$D_1 = \frac{SN_1}{a_1} = \frac{2.41}{0.43} = 5.56 \approx 5''$$

- ✓ Cálculo del número estructural corregido $SN_{1c} = a_1 D_1 = 0.43 \times 5 = 2.15$.
- ✓ En segundo lugar, calculamos el valor del espesor de la capa de la base (D_2).

$$D_2 = \frac{SN_2 - a_1 D_1}{a_2 m_2} = \frac{3.02 - 2.15}{0.13 \times 0.8} = 8.54''$$

- ✓ Cálculo del número estructural corregido $SN_{2c} = a_2 D_2 m_2 = 0.13 \times 8.5 \times 0.8 = 0.887$
- ✓ En tercer lugar, calculamos el valor del espesor de la capa de la base (D_3)

$$D_3 = \frac{SN_3 - a_1 D_1 - a_2 D_2 m_2}{a_3 m_3} = \frac{4.92 - 2.15 - 0.887}{0.12 \times 0.8} = 19.56 \approx 19.60''$$

- ✓ Cálculo del número estructural corregido $SN_{3c} = a_3 D_3 m_3 = 0.12 \times 19.6 \times 0.8 = 1.887$
- ✓ Verificación del diseño.

$$SN_{1c} + SN_{2c} + SN_{3c} = 2.15 + 0.887 + 1.887 = 4.924 \geq 4.92 \text{ ok}$$

Tabla 37. Resultados de espesores de capa de pavimento flexible sin reforzamiento de geomalla

Capa	Espesor de pavimento con geomalla (plg)
Carpeta asfáltica	5.00 plg
Capa de base	8.50 plg
Capa de sub-base	19.60 plg

3.6.4.3. Diseño de pavimento rígido reforzado método AASHTO

Datos de tráfico

Tabla 38. Datos para diseño de pavimento rígido

R	85%
ESAL (w_{18})	3.11×10^6

a. **Serviciabilidad**

✓ **Serviciabilidad inicial (P_0)**

Tabla 39. Índice de Serviciosabilidad inicial.

TIPO DE CAMINO	TRÁFICO	(P_0)
Caminos de bajo volumen de tránsito	Tp_1	4.1
	Tp_2	4.1
	Tp_3	4.1
	Tp_4	4.1
Resto de caminos	Tp_5	4.3
	Tp_6	4.3
	Tp_7	4.3
	Tp_8	4.3
	Tp_9	4.3
	Tp_{10}	4.3
	Tp_{11}	4.3
	Tp_{12}	4.5
	Tp_{13}	4.5
	Tp_{14}	4.5
	Tp_{15}	4.5

Fuente: Manual de carreteras. Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos. 2013.

$$P_0 = 4.3$$

• **Serviciabilidad final (P_f)**

Tabla 40. Índice de Serviciosabilidad final.

TIPO DE CAMINO	TRÁFICO	(P_i)
Caminos de bajo volumen de tránsito	Tp_1	2
	Tp_2	2
	Tp_3	2
	Tp_4	2
Resto de caminos	Tp_5	2.5
	Tp_6	2.5
	Tp_7	2.5
	Tp_8	2.5
	Tp_9	2.5
	Tp_{10}	2.5
	Tp_{11}	2.5
	Tp_{12}	3
	Tp_{13}	3
	Tp_{14}	3
	Tp_{15}	3

Fuente: Manual de carreteras. Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos. 2013.

$$P_f = 2.50$$

- **Variación de serviciabilidad (ΔPSI)**

$$\Delta PSI = P_0 - P_f$$

$$\Delta PSI = 4.3 - 2.5 = 1.8$$

b. Factor de confiabilidad (R) y la desviación estándar (S_o)

Tabla 41. Nivel de confiabilidad y desviación estándar normal.

TIPO DE CAMINO	TRAFICO	NIVEL DE CONFIABILIDAD (R)	DESVIACIÓN ESTÁNDAR NORMAL (Zr)
Caminos de bajo volumen de tránsito	Tp ₀	65%	- 0.385
	Tp ₁	70%	- 0.524
	Tp ₂	75%	- 0.674
	Tp ₃	80%	- 0.842
	Tp ₄	80%	- 0.842
Resto de caminos	Tp ₅	85%	- 1.036
	Tp ₆	85%	- 1.036
	Tp₇	85%	- 1.036
	Tp ₈	90%	- 1.282
	Tp ₉	90%	- 1.282
	Tp ₁₀	90%	- 1.282
	Tp ₁₁	90%	- 1.282
	Tp ₁₂	90%	- 1.282
	Tp ₁₃	90%	- 1.282
	Tp ₁₄	90%	- 1.282
	Tp ₁₅	95%	- 1.645

Fuente: Manual de carreteras. Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos. 2013.

$$Tp_7: R = 85\%, Zr = -1.036$$

$$Desviacion\ estandar\ S_0 = 0.30$$

c. Determinación del módulo de reacción de la sub-base granular.

❖ **Datos de la sub base granular:**

$$CBR = 40\% \dots \dots \dots e = 20.0\ cm$$

$$Si\ CBR \leq 10, K_1 = 2.55 + 52.5\ LOG(CBR)$$

$$Si\ CBR > 10, K_1 = 46 + 9.08(LOG(CBR))^{4.34}$$

Como el CBR de la sub base granular es 40%, mayor que 10%, utilizando la formula correspondiente se obtiene el valor de K_{1sub-base}.

$$K_{1sub-base} = 116.21 \text{ Mpa/m}$$

d. Determinación del módulo de reacción de la sub-rasante

❖ **Datos de la sub-rasante:**

$$CBR = 2.50\%$$

$$Si \ CBR \leq 10, \ K_0 = 2.55 + 52.5 \ LOG(CBR)$$

$$Si \ CBR > 10, \ K_0 = 46 + 9.08(LOG(CBR))^{4.34}$$

Como el CBR de la sub rasante es 2.50%, menor que 10%, utilizando la formula correspondiente se obtiene el valor del módulo de reacción de la sub rasante K_0 .

$$K_0 = 23.44 \text{ Mpa/m} = 85.56 \text{ Pci}$$

e. Calculo del módulo de reacción combinado (sub-rasante + sub-base granular reforzado con geomalla Bx 1200).

De acuerdo al aporte de Steve Perkins de la Universidad Estatal de Montana el cual nos dice que para sub-rasantes relativamente blandas, la inclusión de geomallas Tensar, incrementan el módulo de reacción de la sub-rasante (k_c) de **50 a 100%**, por lo que, según el manual de carreteras, de acuerdo al valor del CBR de diseño ($2.5\% < 3\%$), según esta categoría se considera como sub-rasante blanda o inadecuada. El CBR de diseño para el ensayo de Dr. Perkins fue 1.5% ($k=75 \text{ Pci}=2.06 \text{ kg/cm}^3$), el valor CBR de diseño para este estudio es 2.5% ($k=85.56 \text{ Pci}=2.35 \text{ kg/cm}^3$), con una diferencia de (0.29 kg/cm^3) de los valores de “K”, el cual representaría un error despreciable, por lo que si podemos utilizar los valores calculados en esta investigación para realizar el diseño en este presente estudio.

Debido a que las cargas que se aplican en los ensayos de prueba de placa de carga son de esfuerzo vs deformación, las cuales al graficar se aproximan a una curva logarítmica, debido a esto se ha determinado una función que representaría a los valores determinados en el ensayo del investigador Perkins, de esta manera calcular el valor de K_{c_r} para cualquier espesor de sub-base previsto.

Datos obtenidos en el ensayo de Steve Perkins	
x	K_{c_r}
6"	217 Pci
12"	517 Pci

Fuente: Elaboración propia

Según estos datos se procede a determinar la función.

$$K_{c_r} = 91.081e^{0.1469x}$$

Donde:

K_{c_r} = Módulo de reacción de la sub-rasante combinado con geomalla (lb/plg³)

x = Espesor de la capa de subbase (plg)

Para este estudio se va a utilizar una capa de sub-base de 20 cm≈8”, reemplazando en la formula tenemos:

$$K_{c_r} = 289.82 \text{ lb/plg}^3$$

$$K_{c_r} = 79.40 \text{ Mpa/m}$$

f. Drenaje

Utilizando la misma metodología que se utilizó para calcular el cd para pavimentos flexibles, se obtiene que para un drenaje regular y $P > 25\%$, $C_d = 0.90$ según la tabla 42.

Tabla 42. Coeficientes de drenaje para pavimentos rígidos (C_d)

Calidad del drenaje	P = % del tiempo en que el pavimento está expuesto a niveles de humedad cercanos a la saturación			
	< 1%	1%- 5%	5% - 25%	> 25%
Excelente	1.25-1.20	1.20-1.15	1.15-1.10	1.10
Bueno	1.20-1.15	1.15-1.10	1.10-1.00	1.00
Regular	1.15-1.10	1.10-1.00	1.00-0.90	0.90
Pobre	1.10-1.00	1.00-0.90	0.90-0.80	0.80
Muy pobre	1.00-0.90	0.90-0.80	0.80-0.70	0.70

Fuente: Guía para Diseño de Pavimentos, AASHTO 1,993

$$C_d = 0.90$$

g. Coeficiente de transmisión de carga

La necesidad del uso de dowels y/o pasadores en las juntas transversales de contracción depende del servicio al que estará sometido el pavimento. Para el proyecto en estudio se usará, debido a que existe tráfico pesado según el cálculo del número de ESALs (Ref. Anexo I).

Tabla 43. Coeficiente de transmisión de carga (J)

TIPO DE BERMA	J			
	GRANULAR O ASFÁLTICA		CONCRETO HIDRÁULICO	
VALORES J	SI (con pasadores)	NO (con pasadores)	SI (con pasadores)	NO (con pasadores)
	3.2	3.8 – 4.4	2.8	3.8

Fuente: Guía AASHTO “Diseño de estructuras de pavimentos, 1993”.

$$J = \boxed{2.80}$$

h. Módulo de elasticidad del concreto

$$\text{Concreto } f'c = 210 \frac{kg}{cm^2} = 2986.9 \text{ Psi}$$

$$Ec = 57000 f'c^{0.5}, \quad f'c = \text{Psi}$$

Reemplazando valores el módulo de elasticidad del concreto será:

$$Ec = 57000(2986.9)^{0.5} = 3115170 \text{ Psi} = 21494.7 \text{ Mpa}$$

i. Módulo de rotura del concreto

$$\text{Concreto } f'c = 210 \frac{kg}{cm^2} = 2986.9 \text{ Psi}$$

$$Mr = 7 - 12 (f'c)^{0.5}$$

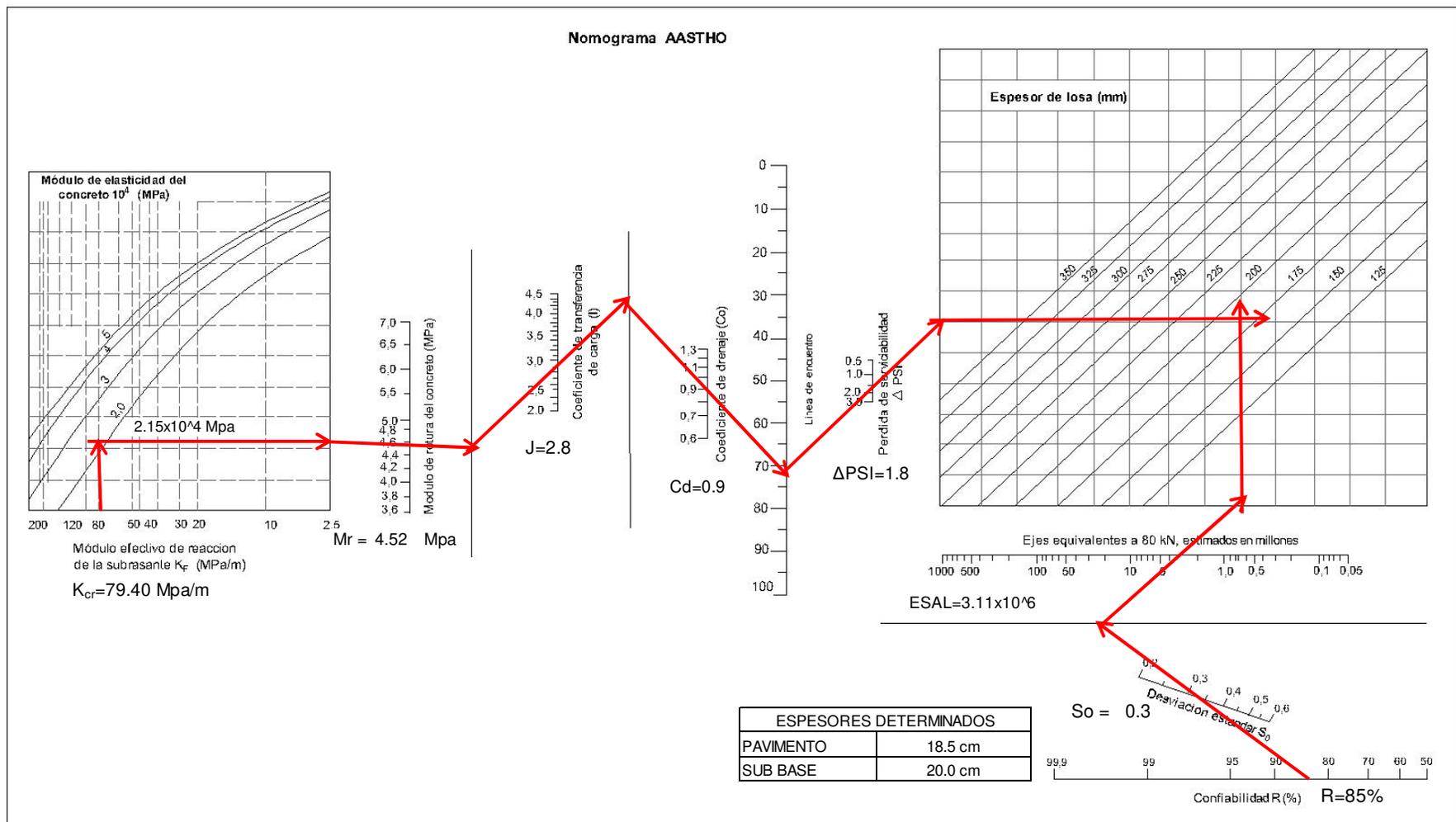
$$Mr = 12x (2986.9)^{0.5} = 655.1 \text{ Psi} = 4.52 \text{ Mpa}$$

j. Determinación del espesor de pavimento mediante el ábaco AASHTO

Tabla 44. Valores para calcular el espesor de la capa de rodadura

Kcr	79.40 Mpa/m
Ec	21 495 Mpa
Mr	4.52 Mpa
J	2.80
Cd	0.90
So	0.30
R	85%
ΔPSI	1.80
W18	3.11x10 ⁶
D	¿?(mm)

Figura 45. Nomograma para el cálculo del espesor de pavimento rígido

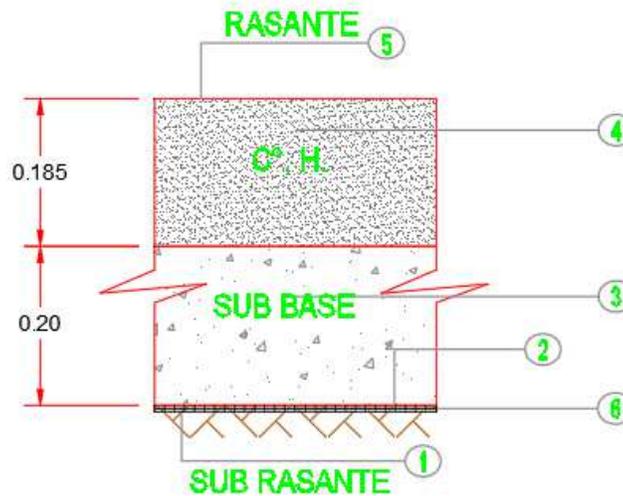


Fuente: Guía AASHTO "Diseño de estructuras de pavimentos, 1993

Tabla 45. Resultados de espesores de capa de pavimento rígido reforzado con geomalla biaxial Bx1200

Capa	Espesor de pavimento con geomalla (cm)
Carpeta de concreto hidráulico	18.5 cm
Capa de sub-base	20 cm

Figura 46. Espesores de capas granulares en (cm) del diseño de pavimento rígido reforzado con geomalla biaxial BX-1200



- ① Sub- rasante.
- ② Perfilado y compactación de la plataforma a nivel de la sub-rasante considerando los sobreechamientos y niveles de bombeo y/o peraltes correspondientes.
- ③ Sub- base granular espesor de 20cm.
- ④ Concreto Hidráulico $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$
- ⑤ Rasante.
- ⑥ Geomalla biaxial BX-1200 $e=1.27\text{mm}$

3.6.4.4. Diseño de pavimento rígido reforzado, método PCA

Para el diseño de pavimento rígido según el método PCA, se toma el módulo de reacción de la subrasante combinado incluido la geomalla utilizada (Bx-1200), este valor de K_{cr} , se toma de lo calculado para el diseño de pavimento rígido por el método AASHTO.

a. Análisis del tráfico para conocer el número de repeticiones esperadas para cada eje.

Debido a que el análisis de tráfico ya ha sido procesado (Ver Anexo I), ya no calculamos estos valores.

b. Repeticiones esperadas para cada tipo de eje.

Dado que conocemos los tipos de vehículos y la cantidad de ellos (repeticiones esperadas) que van a circular sobre el pavimento, lo que se hace a continuación es separar la repetición para cada tipo de eje, es decir para cada peso y para cada tipo de eje; como lo son ejes simples, tándem ó tridem.

Tabla 46. Repeticiones esperadas para cada tipo de eje

TIPO DE EJE	PESO EN (TN)	REPETICIONES EN LA VIDA ÚTIL
simple	7 tn	372097
simple	11 tn	2067305
Tándem	18 tn	668383

Fuente: Tomado de Expediente técnico (Anexo I)

c. Cálculo del Módulo de sub-reacción (k) de diseño.

Para este diseño se tomará el módulo de reacción de la sub-rasante con refuerzo de geomalla calculado en el ítem de diseño de pavimento rígido por el método AASHTO.

$$K_{cr} = 289.82 \text{ Pci} \cong 9.07 \text{ kg/cm}^3$$

d. Esfuerzo Equivalente.

Con los datos de un espesor inicial de 7" y una k de diseño de 289.82 Pci, entramos a la siguiente tabla para encontrar los esfuerzos equivalentes para los ejes sencillo, tándem y tridem, para lo cual interpolamos para poder determinarlos.

Tabla 47. Esfuerzo Equivalente para Pavimentos con Apoyo Lateral

Esfuerzo equivalente - con Apoyo Lateral
Eje Sencillo / Eje Tandem / Eje Tridem

Espesor de losa (pulg.)	k de la subrasante, pci																				
	50			100			150			200			300			500			700		
	Sen	Tán	Tri	Sen	Tán	Tri	Sen	Tán	Tri	Sen	Tán	Tri	Sen	Tán	Tri	Sen	Tán	Tri	Sen	Tán	Tri
4.0	640	534	431	559	468	392	517	439	377	489	422	369	452	403	362	409	388	360	383	384	359
4.5	547	461	365	479	400	328	444	372	313	421	356	305	390	338	297	355	322	292	333	316	291
5.0	475	404	317	417	349	281	387	323	266	367	308	258	341	290	250	311	274	244	294	267	242
5.5	418	360	279	368	309	246	342	285	231	324	271	223	302	254	214	276	238	208	261	231	206
6.0	372	325	249	327	277	218	304	255	204	289	241	196	270	225	187	247	210	180	234	203	178
6.5	334	295	225	294	251	196	274	230	183	260	218	175	243	203	166	223	188	159	212	180	156
7.0	302	270	204	266	230	178	248	210	165	236	198	158	220	184	149	203	170	142	192	162	138
7.5	275	250	187	243	211	162	226	193	151	215	182	143	201	168	135	185	155	127	176	148	124
8.0	252	232	172	222	196	149	207	179	138	197	168	131	185	155	123	170	142	116	162	135	112
8.5	232	216	159	205	182	138	191	166	128	182	156	121	170	144	113	157	131	106	150	125	102
9.0	215	202	147	190	171	128	177	155	119	169	146	112	158	134	105	146	122	98	139	116	94
9.5	200	190	137	176	160	120	164	146	111	157	137	105	147	126	98	136	114	91	129	108	87
10.0	186	179	127	164	151	112	153	137	104	146	129	98	137	118	91	127	107	84	121	101	81
10.5	174	170	119	154	143	105	144	130	97	137	121	92	128	111	88	119	101	79	113	95	76
11.0	164	161	111	144	135	99	135	123	92	129	115	87	120	105	81	112	95	74	106	90	71
11.5	154	153	104	136	128	93	127	117	86	121	109	82	113	100	76	105	90	70	100	85	67
12.0	145	146	97	128	122	88	120	111	88	114	104	78	107	95	72	99	86	66	95	81	63
12.5	137	139	91	121	117	83	113	106	78	108	99	74	101	91	68	94	82	63	90	77	60
13.0	130	133	85	115	112	79	107	101	74	102	95	70	96	86	65	89	78	60	85	73	57
13.5	124	124	80	109	107	75	102	97	70	97	91	67	91	83	62	85	74	57	81	70	54
14	118	122	75	104	103	71	97	93	67	93	87	63	87	79	59	81	71	54	77	67	51

Fuente: Manual de diseño método PCA

Para un espesor de losa de 7" ≈ 18 cm

$$200 \rightarrow 236$$

$$289.82 \rightarrow x$$

$$300 \rightarrow 220$$

El valor de x es 221.62 Psi ≈ 16.19kg/cm²

Relación de Esfuerzos.

La relación de esfuerzos se calcula dividiendo el esfuerzo equivalente entre el módulo de ruptura, por lo que la relación de esfuerzos para los ejes sencillos será de 0.35 y para los ejes tándem de 0.27.

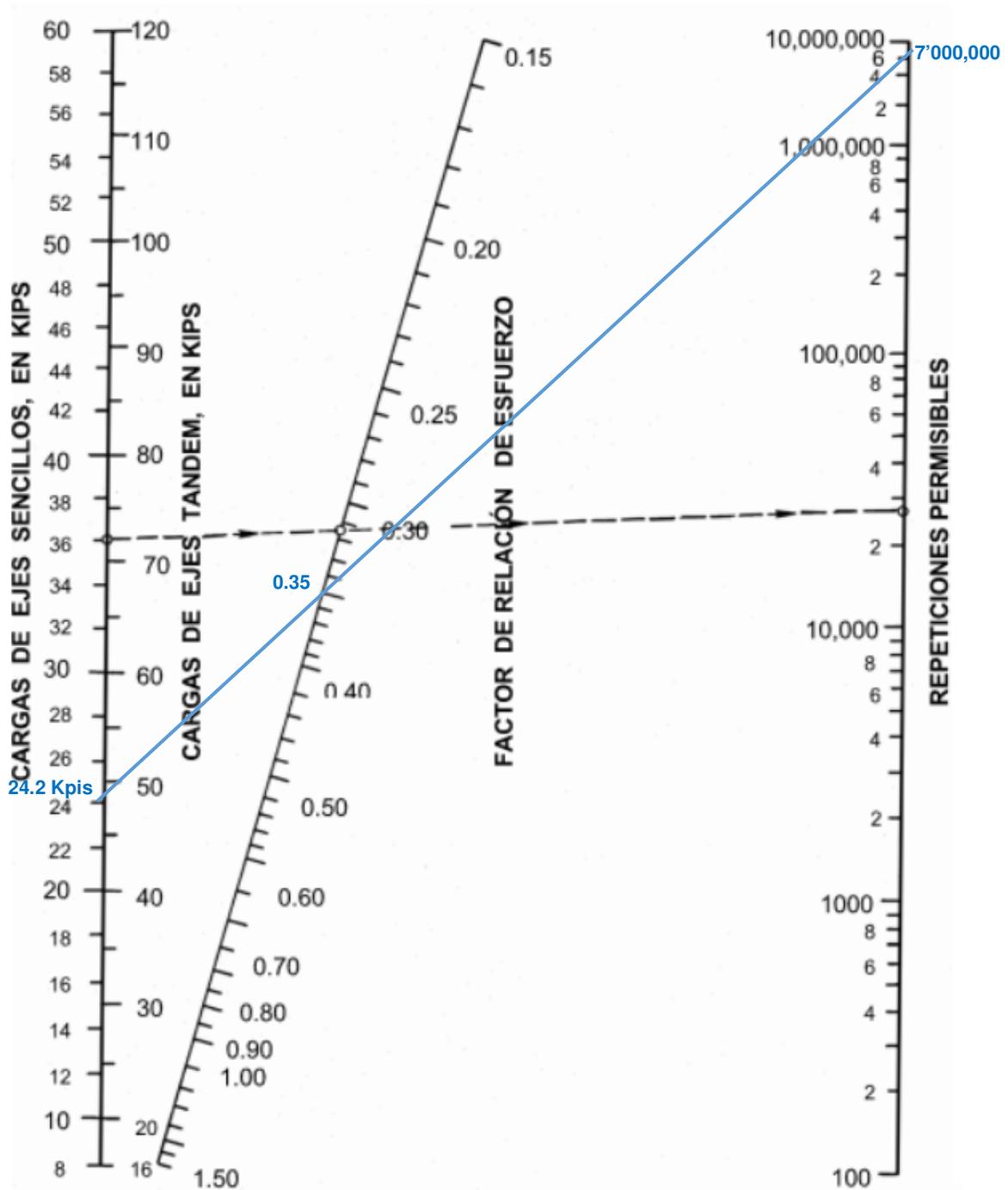
Análisis por Fatiga.

Para calcular las repeticiones permisibles para cada tipo de eje por el análisis por fatiga se emplea un nomograma, el peso y tipo del eje, así como su relación de esfuerzos.

En el caso del eje sencillo de $11 \text{ tn} \approx 24.2 \text{ kips}$, se entra a la figura 47 con la carga ya multiplicada por su factor de seguridad (1.0, tomado según la tabla 13 de factores de seguridad de carga); es decir que la carga en el eje será de 24.2 kips, se une con el valor de relación de esfuerzo de 0.35, de manera que uniendo los dos puntos con una línea recta y extendiéndola hasta la escala de repeticiones permisibles, encontramos el valor de 7'000,000 de repeticiones permisibles para cada eje en específico.

Este mismo procedimiento se hace para todos los ejes y se van anotando las repeticiones permisibles encontradas en la columna 4 del formato de hoja de cálculo para el diseño de espesores que se presenta en la tabla 49. A continuación se detalla de manera gráfica las repeticiones permisibles para un solo tipo de eje (el eje sencillo de 24.2 kips). El resto de los ejes ya se presentan los resultados de repeticiones permisibles en la columna 4 de la tabla 49.

Figura 47. Análisis de Fatiga (Repeticiones permisibles basadas en el factor de relación de esfuerzo, con o sin apoyo lateral)



Fuente: Manual de diseño método PCA

Una vez calculadas todas las repeticiones permisibles, se procede a calcular el % de daño por fatiga. Esto se hace expresando como porcentaje la relación entre las repeticiones esperadas y las repeticiones permisibles, por ejemplo, para el caso del eje sencillo de 24.2 kips tenemos 2067305 repeticiones esperadas contra un total de 7'000,000 de repeticiones permisibles, por lo que él (%) de daño de ese eje equivale a un 29.53% de daño por fatiga.

Análisis por Erosión.

En el análisis por erosión se calcula primero el factor de erosión, y para esto se emplean las tablas correspondientes dependiendo de si se cuenta ó no con pasajuntas y además si se tiene ó no apoyo lateral, encontrándose un factor de erosión para cada tipo de eje (simple, tandem y tridem).

Para este caso se utiliza la tabla 48 que corresponde a los pavimentos con pasajuntas y con apoyo lateral. Con los datos de espesor igual a 7" y un $k = 289.82$ Pci, según la tabla 48 encontramos los valores de factor de erosión: de 2.49 para los ejes sencillos, de 2.51 para los ejes tándem y 2.54 para los ejes tridem.

Tabla 48. Factores de Erosión, para Pavimentos con Pasajuntas y Con Apoyo Lateral

Factores de Erosión - Con Pasajuntas - Con Apoyo Lateral
Eje Sencillo / Eje Tándem / Eje Tridem

Espesor de losa (pulg.)	k de la subrasante, pci																	
	50			100			200			300			500			700		
	Sen	Tán	Tri	Sen	Tán	Tri	Sen	Tán	Tri	Sen	Tán	Tri	Sen	Tán	Tri	Sen	Tán	Tri
4	3.28	3.30	3.33	3.24	3.20	3.20	3.21	3.13	3.13	3.19	3.10	3.10	3.15	3.09	3.05	3.12	3.08	3.00
4.5	3.13	3.19	3.24	3.09	3.08	3.10	3.06	3.00	2.99	3.04	2.96	2.95	3.01	2.93	2.91	2.98	2.91	2.87
5	3.01	3.09	3.16	2.97	2.98	3.01	2.93	2.89	2.89	2.90	2.84	2.83	2.87	2.79	2.79	2.85	2.77	2.75
5.5	2.90	3.01	3.09	2.85	2.89	2.94	2.81	2.79	2.80	2.79	2.74	2.79	2.76	2.68	2.67	2.73	2.65	2.64
6	2.79	2.93	3.03	2.75	2.82	2.87	2.70	2.71	2.73	2.68	2.65	2.66	2.65	2.58	2.58	2.62	2.54	2.54
6.5	2.70	2.86	2.97	2.65	2.75	2.82	2.61	2.63	2.67	2.58	2.57	2.59	2.55	2.50	2.50	2.52	2.45	2.45
7	2.61	2.79	2.92	2.56	2.68	2.76	2.52	2.56	2.61	2.49	2.50	2.53	2.46	2.42	2.43	2.43	2.38	2.37
7.5	2.53	2.73	2.87	2.48	2.62	2.72	2.44	2.50	2.56	2.41	2.44	2.47	2.38	2.36	2.37	2.35	2.31	2.31
8	2.46	2.68	2.83	2.41	2.56	2.67	2.36	2.44	2.51	2.33	2.38	2.42	2.30	2.30	2.32	2.27	2.24	2.25
8.5	2.39	2.62	2.79	2.34	2.51	2.63	2.29	2.39	2.47	2.26	2.32	2.38	2.22	2.24	2.27	2.20	2.18	2.20
9	2.32	2.57	2.75	2.27	2.46	2.59	2.22	2.34	2.43	2.19	2.27	2.34	2.16	2.29	2.23	2.13	2.13	2.15
9.5	2.26	2.52	2.71	2.21	2.41	2.55	2.16	2.29	2.39	2.13	2.22	2.30	2.09	2.14	2.18	2.07	2.08	2.11
10	2.20	2.47	2.67	2.15	2.36	2.51	2.10	2.25	2.35	2.07	2.18	2.26	2.03	2.09	2.15	2.01	2.03	2.07
10.5	2.15	2.43	2.64	2.09	2.32	2.48	2.04	2.20	2.32	2.01	2.14	2.23	1.97	2.05	2.11	1.95	1.99	2.04
11	2.10	2.39	2.60	2.04	2.28	2.45	1.99	2.16	2.29	1.95	2.09	2.20	1.92	2.01	2.08	1.89	1.95	2.00
11.5	2.05	2.35	2.27	1.99	2.24	2.42	1.93	2.12	2.26	1.90	2.05	2.16	1.87	1.97	2.05	1.84	1.91	1.97
12	2.00	2.31	2.24	1.94	2.20	2.39	1.88	2.09	2.23	1.85	2.02	2.13	1.82	1.93	2.02	1.79	1.87	1.94
12.5	1.95	2.27	2.51	1.89	2.16	2.36	1.84	2.05	2.20	1.81	1.98	2.11	1.77	1.89	1.99	1.74	1.84	1.91
13	1.91	2.23	2.48	1.85	2.13	2.33	1.79	2.01	2.17	1.76	1.95	2.08	1.72	1.86	1.96	1.70	1.80	1.88
13.5	1.86	2.20	2.46	1.81	2.09	2.30	1.75	1.98	2.14	1.72	1.91	2.05	1.68	1.83	1.93	1.65	1.77	1.86
14	1.82	2.17	2.43	1.76	2.06	2.28	1.71	1.95	2.12	1.67	1.88	2.03	1.64	1.80	1.91	1.61	1.74	1.83

Fuente: Manual de diseño método PCA

Para un espesor de losa de 7" ≈ 18 cm

$$200 \rightarrow 2.52$$

$$289.82 \rightarrow x$$

$$300 \rightarrow 2.49$$

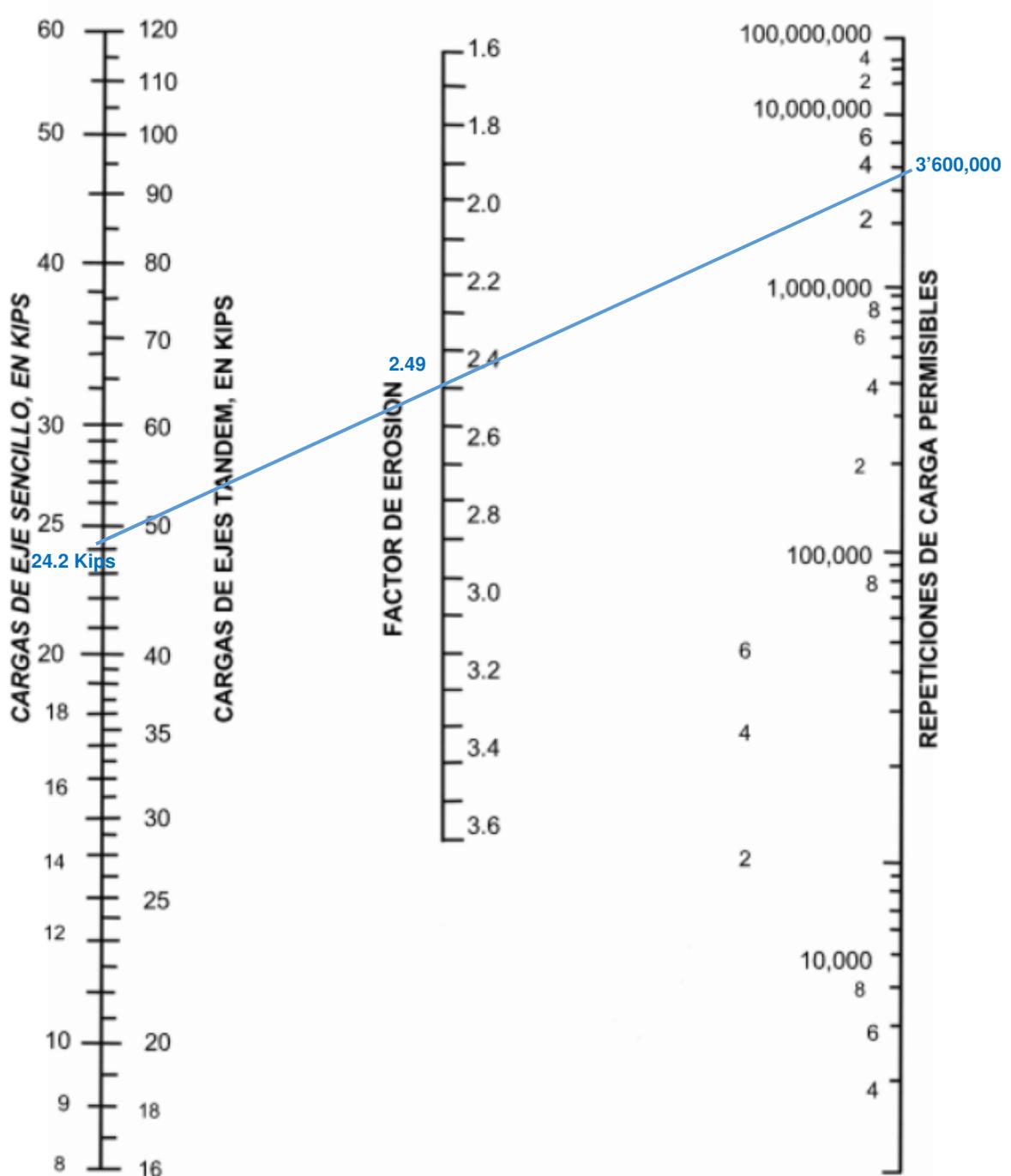
El valor de x es 2.493

Ahora con los valores de factor de erosión y con las diferentes cargas en el eje y con ayuda de la figura correspondiente (que en este caso es la figura 48 para pavimentos con apoyo lateral) encontramos las diferentes repeticiones permisibles por erosión.

Para efectos de este estudio, únicamente se explicará el caso del eje sencillo de 24.2 kips y con su correspondiente factor de erosión de 2.49, obtiene un número de repeticiones esperadas igual 3'600,000 como podemos ver en la figura 48. Empleando la misma figura (figura 48 para el cálculo de las repeticiones permisibles por el análisis de erosión, para pavimentos con apoyo lateral) se deberán determinar las repeticiones esperadas para el resto de los ejes, recordando que en el caso de los ejes tridem, la carga total del eje se deberá dividir entre 3, después multiplicar por el factor de seguridad de

carga y el resultado es la carga que se considera en la gráfica, en la escala de los ejes sencillos.

Figura 48. Análisis de Erosión (Repeticiones permisibles basadas en el factor de relación de esfuerzo, con apoyo lateral)



Fuente: Manual de diseño método PCA

Los resultados de todas las repeticiones permisibles de todos los tipos de ejes y los totales de daño tanto por fatiga como por erosión, se muestran a continuación:

Tabla 49. Cálculo de espesor de capa de rodadura método PCA

CÁLCULO DEL ESPESOR DE CAPA DE RODADURA MÉTODO PCA						
Espesor estimado	18.0 cm		Factor de Seguridad de Carga	1.00		
Módulo de rotura	46.09 kg / cm ²		Con Pasajuntas		Si	
K subrasante	2.35 kg / cm ³		Apoyo Lateral		Si	
K subrasante + geomalla+ subbase	7.96 kg / cm ³		Posee Subbase		Si	
Periodo de Diseño	20 Años		Tipo		Granular	
			Espesor Subbase (20 cm)		20	
Cargas de ejes Tn	Cargas por F. S. C.	Repeticiones esperadas	Análisis de fatiga		Análisis de erosión	
			Repeticiones admisibles	Consumo de fatiga (%)	Repeticiones admisibles	Daños por erosión (%)
1	2	3	4	5	6	7
EJES SIMPLES						
8	Tensión equivalente	16.19				
9	Factor de relación de tensión	0.35	10	Factor de erosión		2.49
11.0	11.00	2,067,305	7,000,000	29.53	3,600,000	57.43
7.0	7.00	372,097	Ilimitado	0.00	Ilimitado	0.00
Suma Parcial				29.53		57.43
EJES TANDEM						
11	Tensión equivalente	12.63				
12	Factor de relación de tensión	0.27	13	Factor de erosión		2.51
18.0	18.00	668,383	Ilimitado	0.00	7,000,000	9.55
Suma Parcial				0.00		9.55
Daños por fatiga (%)		29.53	Daños por erosión (%)			66.97
Consumo total (%) ≤100%						96.51%

Fuente: Elaboración propia

Según los resultados obtenidos del diseño de pavimento rígido reforzado, según el método PCA, el espesor de capa de rodadura es muy similar a lo obtenido en el diseño por el método AASHTO, por lo que en el análisis de resultados solo se tomarán en cuenta a los valores obtenidos por el método AASHTO.

3.6.4.5. Diseño de pavimento rígido sin reforzamiento de geomalla

Tabla 50. Datos de diseño de pavimento rígido sin reforzamiento de geomalla método AASHTO

Datos de diseño de pavimento rígido tradicional	
CBR de diseño	2.50%
Periodo de diseño	20 años
# ESALs	3,113,112
Tipo de trafico	Tp7
Serviciabilidad inicial (P_0)	4.30
Serviciabilidad final (P_f)	2.50
Δ PSI	1.80
Nivel de confiabilidad	R=85%, Zr=-1.036
Desviación estándar S_0	$S_0=0.30$
Módulo de elasticidad del concreto (E)	2.15×10^4 Mpa
Módulo de rotura del concreto (MR)	4.52 Mpa
Módulo de reacción de la subrasante (k)	23.44 Mpa/m
Transferencia de carga (J)	2.80
Coefficiente de drenaje c_d	0.90

Fuente: Elaboración propia

De todos los datos que se presenta en la tabla 50, el único valor faltante por calcular seria el módulo de reacción de la subrasante combinado “Kc” sin reforzamiento de geomalla.

a. Determinación del módulo de reacción de la sub-base granular.

❖ Datos de la sub base granular:

$$CBR = 40\% \dots \dots \dots e = 40.0 \text{ cm}$$

$$\text{Si } CBR \leq 10, K_1 = 2.55 + 52.5 \text{ LOG}(CBR)$$

$$\text{Si } CBR > 10, K_1 = 46 + 9.08(\text{LOG}(CBR))^{4.34}$$

Como el CBR de la sub base granular es 40%, mayor que 10%, utilizando la fórmula correspondiente se obtiene el valor de $K_{1\text{sub-base}}$.

$$K_{1\text{sub-base}} = 116.21 \text{ Mpa/m}$$

b. Determinación del módulo de reacción de la sub-rasante

❖ **Datos de la sub-rasante:**

$$CBR = 2.50\%$$

$$\text{Si } CBR \leq 10, K_0 = 2.55 + 52.5 \text{ LOG}(CBR)$$

$$\text{Si } CBR > 10, K_0 = 46 + 9.08(\text{LOG}(CBR))^{4.34}$$

Como el CBR de la sub rasante es 2.50%, menor que 10%, utilizando la formula correspondiente se obtiene el valor del módulo de reacción de la sub rasante K_0 .

$$K_0 = 23.44 \text{ Mpa/m} = 85.56 \text{ Pci}$$

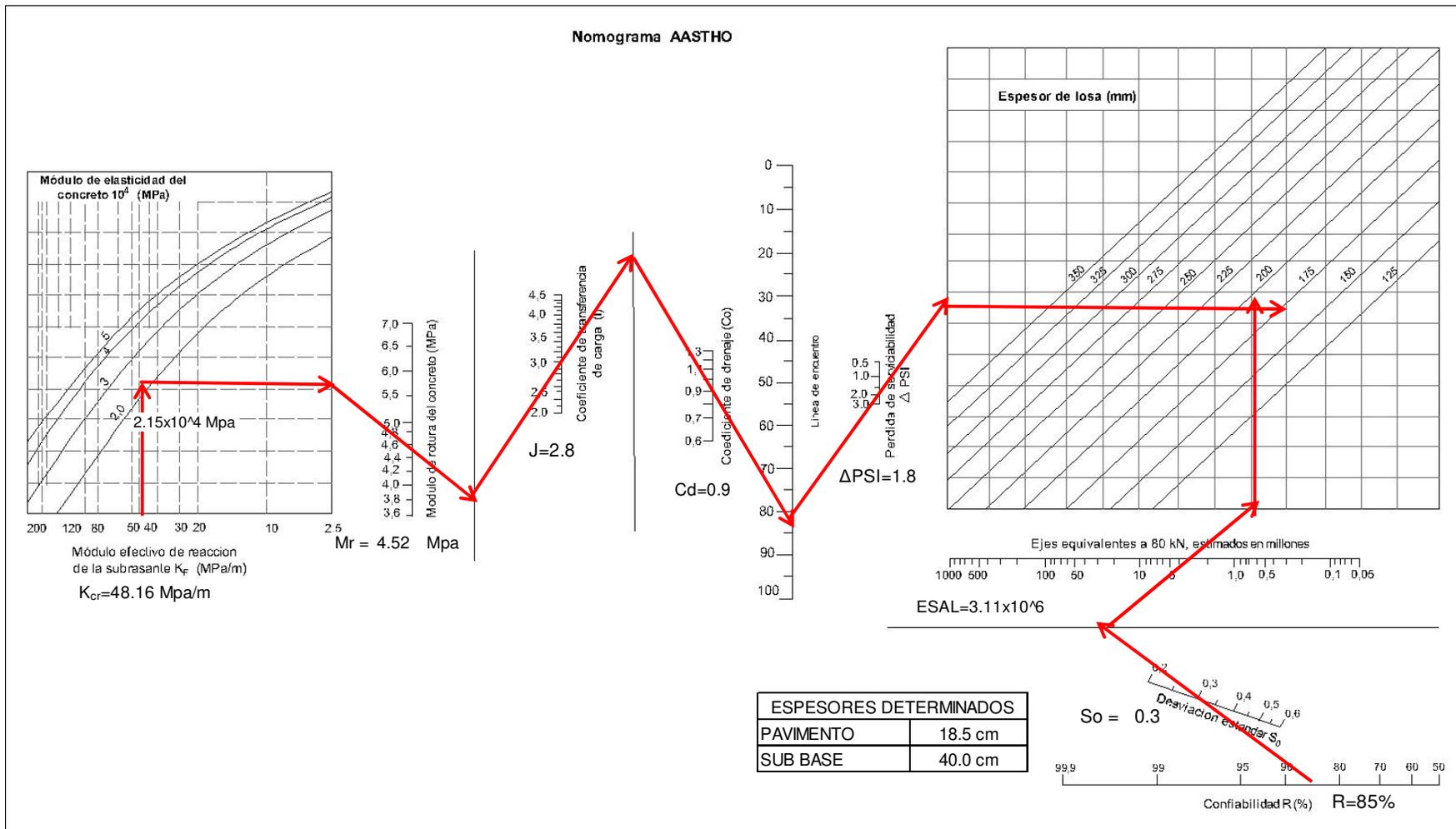
Calculamos el módulo de reacción compuesto de la subrasante (K):

$$K_c = \left[1 + \left(\frac{h}{38} \right)^2 \times \left(\frac{K_1}{K_0} \right)^{2/3} \right]^{0.5} \times K_0$$

$$K_c = \left[1 + \left(\frac{40}{38} \right)^2 \times \left(\frac{116.21}{23.44} \right)^{2/3} \right]^{0.5} \times 23.44 = 48.16 \text{ Mpa/m}$$

c. Determinación del espesor del pavimento mediante el Abaco de diseño de pavimentos rígidos, método AASHTO.

Figura 49. Nomograma para el cálculo del espesor de pavimento rígido sin refuerzo de geomalla



Fuente: Guía AASHTO "Diseño de estructuras de pavimentos, 1993

CAPÍTULO IV

IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. Resultados de la investigación

4.1.1. Características de los materiales de diseño de pavimentos rígidos y flexibles

Tabla 51. Características de diseño de pavimento flexible Av. Perú.

R	85%
S₀	0.45
W18	3.11x10 ⁶
CBR	2.50%
ΔPSI	1.50

Tabla 52. Características de diseño de pavimento rígido Av. Perú.

R	85%
S₀	0.30
W18	3.11x10 ⁶
CBR	2.50%
ΔPSI	1.80
J	2.8

Tabla 53. Características de los materiales para el diseño de pavimento flexible

Material	Mr (Psi)	ai	mi
Mr carpeta asfáltica	400000 Psi	0.43	
Mr subrasante	4592.75 Psi	----	
Mr Base	29000 Psi	0.13	0.8
Mr subbase	16500 Psi	0.12	0.8

Tabla 54. Características de los materiales para el diseño de pavimento rígido

Kc. Módulo de reacción compuesto	79.40 Mpa/m
Ec. Módulo de elasticidad del concreto	21495 Mpa
Mr. Módulo de rotura del concreto	4.52 Mpa

4.1.2. Análisis de espesores de capas de los diseños de pavimentos rígidos y flexibles

Tabla 55. *Espesores de capas para la estructura de pavimento flexible reforzado con geomalla biaxial BX-1200*

Capa	Espesores de capa de pavimento flexible reforzado con geomalla biaxial (plg)	Espesores de capa de pavimento flexible reforzado con geomalla biaxial (cm)
Carpeta asfáltica	5.00	12.7
Capa de base	7.00	17.8
Capa de subbase	11.90	30.2

Tabla 56. *Espesores de capas para la estructura de pavimento flexible sin reforzamiento de geomalla en su estructura*

Capa	Espesores de capa de pavimento flexible sin reforzamiento de geomalla (plg)	Espesores de capa de pavimento flexible sin reforzamiento de geomalla (cm)
Carpeta asfáltica	5.00	12.7
Capa de base	8.50	21.6
Capa de subbase	19.60	49.8

Tabla 57. *Comparación de espesores de capas granulares de pavimento flexible con y sin refuerzo de geomalla biaxial BX-1200*

Capa	Espesores de capa de pavimento flexible reforzado con geomalla biaxial (cm)	Espesores de capa de pavimento flexible sin reforzamiento de geomalla biaxial (cm)	Disminución de espesor (%)
Carpeta asfáltica	12.7	12.7	0.00%
Capa de base	17.8	21.6	17.65%
Capa de subbase	30.2	49.8	39.29%

Tabla 58. *Espesores de capas para la estructura de pavimento rígido reforzado con geomalla biaxial BX-1200*

Capa	Espesores de capa de pavimento rígido reforzado con geomalla biaxial (cm)
Capa de concreto hidráulico	18.50
Capa de subbase	20.00

Tabla 59. Espesores de capas para la estructura de pavimento rígido sin reforzamiento de geomalla en su estructura

Capa	Espesores de capa de pavimento rígido sin reforzamiento en su estructura (cm)
Capa de concreto hidráulico	18.50
Capa de subbase	40.00

Tabla 60. Comparación de espesores de capas granulares de pavimento rígido con y sin refuerzo de geomalla biaxial BX-1200

Capa	Espesores de capa de pavimento rígido reforzado con geomalla biaxial (cm)	Espesores de capa de pavimento rígido sin reforzamiento de geomalla biaxial (cm)	Disminución de espesor (%)
Capa de concreto hidráulico	18.50	18.50	0.00%
Capa de subbase	20.0	40.0	50.0%

Tabla 61. Comparación de espesores de capas granulares de pavimento flexible y rígido reforzados con geomalla biaxial BX-1200

Capa	Espesores de capa de pavimento flexible reforzado con geomalla biaxial (cm)	Espesores de capa de pavimento rígido reforzado con geomalla biaxial (cm)	Disminución de espesor (%)
Carpeta de rodadura	12.7	18.50	-45.66%
Capa de base	17.8	0.00	100.00%
Capa de subbase	30.2	20.0	33.83%

4.1.3. Análisis de costos por m² de pavimentos rígidos y flexibles reforzados con geomalla biaxial Bx-1200

Tabla 62. Presupuesto por m² de pavimento rígido reforzado con Geomalla Biaxial BX-1200.

Presupuesto	0502001	PAVIMENTO RÍGIDO REFORZADO CON GEOMALLA BIAxIAL BX-1200					
Subpresupuest	001	PAVIMENTO RÍGIDO					
Lugar	AV. PERÚ - CHOTA - CHOTA - CAJAMARCA						
Item	Descripción			Und.	Metrado	Precio S/.	Parcial S/.
01	PRESUPUESTO DE PAVIMENTO RÍGIDO REFORZADO CON GEOMALLA BIAxIAL BX-1200 POR M ²						137.26
01.01	TRABAJOS PRELIMINARES						2.55
01.01.01	TRAZO Y REPLANTEO			m2	1.00	1.45	1.45
01.01.02	LIMPIEZA DE TERRENO MANUAL			m2	1.00	1.10	1.10
01.02	MOVIMIENTO DE TIERRAS						34.95
01.02.01	CORTE A NIVEL DE SUB RASANTE CON MAQUINARIA			m3	0.20	6.53	1.31
01.02.02	ELIMINACION DE MATERIAL EXCEDENTE CON MAQUINARIA D=2KM			m3	0.20	17.13	3.43
01.02.03	NIVELACION Y COMPACTACION DE SUBRASANTE CON MAQUINARIA			m2	1.00	10.03	10.03
01.02.04	SUMINISTRO E INSTALACION DE GEOMALLA BIAxIAL BX-1200			m2	1.00	11.56	11.56
01.02.05	COLOCACION, EXTENDIDO, COMPACTADO DE SUB BASE GRANULAR			m3	0.20	43.08	8.62
01.03	PAVIMENTO Y BERMAS DE CONCRETO						98.24
01.03.01	CONCRETO F _c =210 Kg/Cm ² E= 0.19 M, PAV.RIGIDO PISO SEMIPULIDO			m3	0.19	362.05	68.79
01.03.02	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO EN LOSA DE CONCRETO HIDRAULICO			m2	1.00	26.19	26.19
01.03.03	CURADO CON ANTISOL EN LOSA DE CONCRETO HIDRAULICO			m2	1.00	1.48	1.48
01.03.04	ACERO f _y =4200 kg/cm ² GRADO 60 PARA DOWELS			kg	0.33	5.39	1.78
01.04	JUNTAS						1.52
01.04.01	SELLADO DE JUNTAS DE DILACION Y CONTRACCION			m	0.33	4.61	1.52
Costo Directo							137.26
SON : CIENTO TRENTISIETE Y 26/100 SOLES							

Tabla 63. Presupuesto por m² de pavimento flexible reforzado con Geomalla Biaxial BX-1200.

Presupuesto	0502002	PAVIMENTO FLEXIBLE REFORZADO CON GEOMALLA BIAxIAL BX-1200					
Subpresupuesto	001	PAVIMENTO FLEXIBLE					
Lugar	AV. PERÚ - CHOTA - CHOTA - CAJAMARCA						
Item	Descripción			Und.	Metrado	Precio S/.	Parcial S/.
01	PRESUPUESTO DE PAVIMENTO FLEXIBLE REFORZADO CON GEOMALLA BIAxIAL BX-1200 POR M ²						106.05
01.01	TRABAJOS PRELIMINARES						2.55
01.01.01	TRAZO Y REPLANTEO			m2	1.00	1.45	1.45
01.01.02	LIMPIEZA DE TERRENO MANUAL			m2	1.00	1.10	1.10
01.02	MOVIMIENTO DE TIERRAS						51.43
01.02.01	CORTE A NIVEL DE SUB RASANTE CON MAQUINARIA			m3	0.20	6.53	1.31
01.02.02	ELIMINACION DE MATERIAL EXCEDENTE CON MAQUINARIA D=2KM			m3	0.20	17.13	3.43
01.02.03	NIVELACION Y COMPACTACION DE SUBRASANTE CON MAQUINARIA			m2	1.00	10.03	10.03
01.02.04	SUMINISTRO E INSTALACION DE GEOMALLA BIAxIAL BX-1200			m2	1.00	11.56	11.56
01.02.05	COLOCACION, EXTENDIDO Y COMPACTACION DE BASE GRANULAR e= 0.20 m			m3	0.20	60.90	12.18
01.02.06	COLOCACION, EXTENDIDO, COMPACTADO DE SUB BASE GRANULAR e=0.30m			m3	0.30	43.08	12.92
01.03	PAVIMENTO Y BERMAS DE ASFALTO						52.07
01.03.01	IMPRIMACION ASFALTICA			m2	1.00	2.70	2.70
01.03.02	RIEGO DE LIGA			m2	1.00	2.99	2.99
01.03.03	CARPETA ASFALTICA EN CALIENTE DE 5"			m2	1.00	46.38	46.38
Costo Directo							106.05
SON : CIENTO SEIS Y 05/100 SOLES							

4.2. Interpretación de la información

4.2.1. Análisis de resultados

De acuerdo a la tabla 57 podemos concluir que para diseño de pavimento flexible el reforzamiento de la geomalla biaxial BX-1200 fomenta una reducción de 17.65% de espesor granular en la capa de base y 39.29% de espesor granular de capa de subbase, lo cual hay similitud según los antecedentes teóricos estudiados. Según estos resultados se fomenta un ahorro significativo en tiempo de ejecución, movimiento de tierras, y por ende de costos de construcción de los pavimentos.

De acuerdo a la tabla 60 podemos concluir que para el diseño de pavimento rígido el reforzamiento de la geomalla fomenta una reducción 50 % de espesor granular de capa de subbase, lo que generaría un ahorro significativo en todos los trabajos de ejecución y financiamiento de éste tipo de pavimentos.

Según la tabla 61 se realiza una comparación de los resultados del diseño de pavimento flexible y rígido reforzados con geomalla biaxial BX 1200, en la cual se puede notar que hay diferencias significativas en lo que se refiere a espesores de capas granulares, pero no podemos comparar los espesores de capa de rodadura, debido a que son dos tipos de capas de diferente material y comportamiento estructural, ya que para el pavimento rígido el espesor de capa de rodadura debe ser mayor a 15 cm según norma NTE CE. 010 de Pavimentos urbanos, mientras que para pavimento flexible su espesor de capa asfáltica de acuerdo a la norma AASHTO el espesor mínimo depende del tipo de vía lo cual según la NTE. CE.010 para vías colectoras no debe ser menor a 6 cm de concreto asfáltico.

Según tablas 62 y 63 se obtuvo que el costo por m² de pavimento rígido es S/.137.26 soles y el costo por m² de pavimento flexible es S/.106.05 soles, es decir, el costo de pavimento flexible es 77.26% del costo de pavimento rígido.

4.3. Contrastación de la hipótesis

Discusión de resultados contrastados con la hipótesis

Según la tabla 61: Comparación de espesores de capas granulares de pavimento flexible y rígido reforzados con geomalla biaxial BX-1200, podemos observar que los espesores de capas granulares base y subbase disminuye en un porcentaje notable, y en mayor proporción para pavimento rígido. En lo que se refiere a la capa de rodadura el pavimento flexible siempre va a tener menor espesor debido a su comportamiento estructural y tipo de material que está conformado.

El pavimento rígido es el más recomendable debido a que la capa de rodadura por su alta rigidez, absorbe gran parte de los esfuerzos que se ejercen sobre el pavimento, lo que produce una buena distribución de las cargas de tráfico hacia las capas inferiores, la inclusión de la geomalla sobre la subrasante, también se encarga de distribuir los esfuerzos transmitidos por la capa superior de manera uniforme hacia ella, generando casi la nulidad de los esfuerzos que afectarían a la subrasante, mientras que en el flexible los esfuerzos se dan en forma de bulbo de presiones, permitiendo una mayor deformación de las capas granulares y subrasante, pero con la inclusión de geomalla sobre la subrasante los esfuerzos son mitigados pero en menor proporción en comparación con el diseño de pavimentos rígidos. Debido a lo mencionado anteriormente, se determina como mejor alternativa de diseño en vías urbanas, el diseño de pavimento rígido con inclusión de geomalla biaxial BX-1200, el cual, a pesar de su alto costo de construcción presenta diversas ventajas como: Requiere aproximadamente 50% menos de material granular que el pavimento flexible, tiene mejor drenaje superficial que el pavimento flexible, la vida útil del pavimento rígido es de 20 a 40 años, en cambio la vida útil para el pavimento flexible es de 15-20 años, el pavimento rígido por alta rigidez estructural requiere menor operación y mantenimiento.

De esta manera contrastamos la hipótesis estableciendo que el diseño de pavimento rígido reforzado con geomalla biaxial BX-1200, es la más idónea en la Av. Perú de la ciudad de Chota, por ser vía urbana.

CAPÍTULO V

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

- ✓ Al comparar el diseño de pavimento flexible (AASHTO) con y sin refuerzo de geomalla biaxial Bx-1200 por el método (AASHTO), se tiene que hay una reducción notable de espesores de capas granulares en el diseño de pavimento flexible reforzado con geomalla, debido a que esta aporta resistencia para contrarrestar los esfuerzos transmitidos por el tráfico, el ahorro de materiales a nivel de capa de base es de 17.65% y de capa de subbase de 39.29%, respectivamente, pero no es válido ya que su mantenimiento es más continuo y genera gastos económicos a la comunidad.
- ✓ Para el diseño de pavimento rígido con y sin reforzamiento de geomalla biaxial Bx-1200 método AASHTO, se tiene que hay una reducción de un 50% de capa única de subbase, ya que en éste tipo de pavimento la geomalla sobre la subrasante tiene un mejor comportamiento estructural, debido a que los esfuerzos transmitidos de la capa de rodadura hacia las capas inferiores son cargas distribuidas de manera uniforme entonces concluimos que para la zona en estudio es el más adecuado.
- ✓ Al realizar la comparación de los diseños de pavimento rígido y flexible reforzados con geomalla biaxial BX-1200, respectivamente, existe una diferencia significativa de espesores de capas granulares, en un 100.00% a nivel de base, debido a que el pavimento rígido no cuenta con esta capa y 33.83% a nivel de subbase, pero diferencia inversa en lo referente a la capa de rodadura de 45.66%, debido a que sus características estructurales y los materiales que lo conforman son diferentes en ambos tipos de pavimentos, pero el pavimento rígido es más adecuado.
- ✓ Se determinó como mejor alternativa, el diseño de pavimento rígido con inclusión de geomalla biaxial BX-1200, debido a su mejor comportamiento estructural y menores espesores de capas granulares en comparación con el diseño de pavimento flexible con inclusión de geomalla biaxial BX-1200.
- ✓ El análisis del pavimento rígido y el flexible realizado se enfocó en dos aspectos principales, el funcional, en el cual tiene gran preponderancia el diseño, y por otro

lado el económico, donde interviene el costo inicial de cada alternativa y el costo de conservación durante su vida de servicio.

- ✓ Se obtuvo que el costo por m² de pavimento rígido es S/.137.26 soles y el costo por m² de pavimento flexible es S/.106.05 soles, aunque el costo de pavimento rígido es 29.4% mayor en relación al pavimento flexible, debido a su mejor desempeño y durabilidad en función del tiempo es el más viable en vías urbanas.

RECOMENDACIONES

- ✓ Se recomienda realizar un análisis económico del uso de geomalla para pavimento rígido y flexible como refuerzo de la subrasante.
- ✓ Se recomienda diseñar pavimentos rígidos utilizando geomalla como refuerzo en su estructura, debido a que no hay información de investigaciones anteriores sobre estos tipos de diseño.
- ✓ Las geomallas como alternativa de solución a problemas de construcción, pueden ser utilizados en muchas aplicaciones en obras civiles, por ejemplo, cimentaciones de edificios, estabilidad de taludes, rellenos sanitarios, control de erosión, protección de obras costeras, etc. Por lo que el estudio de alguna de estas aplicaciones podría ser muy importante realizar en un futuro trabajo de investigación.
- ✓ Es recomendable la realización de estudios a los diferentes ensayos de laboratorio que se efectúan a los geosintéticos y establecer cuáles de éstos pueden efectuarse en laboratorios de nuestro país, esto a fin de llevar un control más exhaustivo de la calidad de los productos proporcionados por los diferentes distribuidores.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AASHTO (1993). Guide for Design of Pavement Structures [Guía para el diseño de estructuras pavimentadas] (1993), 589 págs.

Burgos V. 2014. "Análisis comparativo entre un pavimento rígido y un pavimento flexible para la ruta s/r: Santa Elvira – el arenal, en la comuna de Valdivia"- Chile.

Caballeros Torres, E. 2006. Utilización de la geomalla como refuerzo de la estructura del pavimento flexible. Pag 29-63.

Departamento de Ingeniería – Geosintéticos, PAVCO-AMANCO, "Manual de Diseño" 7ma Edición, Bogotá, Colombia, 2006.

G. Cleveland, J. W. Button, L. Lytton, "Geosynthetics in Flexible and Rigid Pavement Overlay Systems to reduce Reflection Cracking", Texas Dept. of Transportation, en colaboración con FHWA; Estados Unidos de America, 2002.

Geosynthetic Materials Association (GMA). "Geosynthetic Reinforcement of the aggregate base and subbase courses of pavement structures", Estados Unidos de America, 2000.

Giroud, J.P. and Noiray, L. (1981) "Geotextile-reinforced unpaved road design", Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, 107, 1233-1254.

Manual Centroamericano para el diseño de pavimentos. Guatemala, noviembre 2002. 289 pp.

Manual de carreteras. Suelos, geología, geotecnia y pavimentos del MTC, 2013.

Mera Heredia, J. 2017. Evaluación técnico- económico del uso de geomalla multiaxial como refuerzo en la subrasante de la carretera santa cruz-bellavista, distrito bellavista-Jaén-Cajamarca.

Norma técnica de edificaciones CE. 010 Pavimentos Urbanos.

PAVCO (2002). Geosistemas, Soluciones en Ingeniería. Tercera Edición. Bogotá, Colombia.

TENAX, TDS006: Design of Flexible Road Pavements with Tenax Geogrids.

TENAX, TDS006: Design of Flexible Road Pavements with Tenax Geogrids

The Tensar Corporation. Design guideline for flexible pavements with tensar geogrid reinforced base layers: Estado Unidos, abril 1996. Versión en inglés. 121 pp.

Tigal Huatay, W. 2013. Comparación entre el diseño de pavimento tradicional (AASHTO) y el diseño con geomalla en la pavimentación de la Av. Salomón Vílchez Murga de la ciudad de Cutervo.

U.S. ARMY CORPS OF ENGINEERS, USE OF GEOGRID IN PAVEMENT CONSTRUCTION, Technical Letter No. 1110-1-1899, 2003.

ANEXOS:

ANEXO I:

RECOPILACIÓN DE DATOS

ANEXO II:

**RESULTADOS DE ENSAYOS DE
LABORATORIO**

Tabla 65. Resultados de Contenido de Humedad Calicata C-1, C-2, C-3, C-4, C-5, C-6

Proyecto: "TESIS"																			
Proyectista: Bach. Vásquez Agip, José Kevins																			
Ensayo:																			
CONTENIDO NATURAL DE HUMEDAD : Norma ASTM D 2216 NTP 339.127																			
Fecha de Muestreo: Chota / 6 - 10 - 2018																			
Muestreado por: J.K.V.A																			
Chequeado por: Laboratorio de Mecánica de Suelos - UNC																			
CONTENIDO NATURAL DE HUMEDAD :																			
Observaciones :		Ubicación : C - 1			Ubicación : C - 2			Ubicación : C - 3			Ubicación : C - 4			Ubicación : C - 5			Ubicación : C - 6		
		Estrato : E1			Estrato : E1			Estrato : E1			Estrato : E1			Estrato : E1			Estrato : E1		
		Potencia : 1.50 m			Potencia : 1.50 m			Potencia : 1.50 m			Potencia : 1.50 m			Potencia : 1.50 m			Potencia : 1.50 m		
Tara Número	Unidades	1	2	3															
Peso Tara + Muestra Húmeda	Gr	112.20	88.20	93.20	82.50	93.80	116.90	92.20	115.60	122.80	88.50	98.60	117.90	77.60	106.80	97.12	102.20	152.80	114.60
Peso Tara + Muestra Seca	Gr	96.20	73.90	79.50	68.20	78.20	95.80	72.50	89.10	95.40	75.40	84.00	99.30	65.60	89.10	84.62	88.75	129.80	98.55
Peso de la Tara	Gr	44.70	31.80	37.50	24.10	28.00	28.30	28.10	30.40	37.10	29.30	30.20	30.40	23.60	28.50	43.20	40.04	40.04	40.95
Peso de la Muestra Seca	Gr	51.50	42.10	42.00	44.10	50.20	67.50	44.40	58.70	58.30	46.10	53.80	68.90	42.00	60.60	41.42	48.71	89.76	57.60
Peso del Agua	Gr	16.00	14.30	13.70	14.30	15.60	21.10	19.70	26.50	27.40	13.10	14.60	18.60	12.00	17.70	12.50	13.45	23.00	16.05
Contenido de Humedad	%	31.07	33.97	32.62	32.43	31.08	31.26	44.37	45.14	47.00	28.42	27.14	27.00	28.57	29.21	30.18	27.61	25.62	27.86
Promedio		32.55			31.59			45.50			27.52			29.32			27.03		

Tabla 66. Resultados Límites de Consistencia Calicata C-1

Proyecto : "TESIS"									
Proyectista : Bach. Vásquez Agip, José Kevins									
Ensayo : LÍMITES DE CONSISTENCIA									
LÍMITE LÍQUIDO		Norma : ASTM D 4318							
LÍMITE PLÁSTICO		Norma : ASTM D 4319							
Fecha de Muestreo :		07/ 10 / 2018							
Muestreado por :		J.K.V.A							
Chequeado por :		Laboratorio de Mecánica de Suelos - UNC							
LÍMITES DE CONSISTENCIA		Ubicación : Calicata C1			Potencia : 1.50 m				
		Estrato : E1							
		LÍMITE LÍQUIDO			LÍMITE PLÁSTICO			Limites de Consistencia	
Tara Número	Unidades	1	2	3	1	2	3		
Peso Tara + Muestra Húmeda	Gr	43.50	40.00	43.60	47.20	34.40	40.20	Límite Líquido: LL =	60.47%
Peso Tara + Muestra Seca	Gr	38.50	34.50	36.00	46.50	33.70	39.40	Límite Plástico: LP =	31.86%
Peso de la Tara	Gr	26.60	26.50	27.60	41.60	31.80	37.60	Índice de Plasticidad : IP =	28.61%
Peso de la Muestra Seca	Gr	11.90	8.00	8.40	4.90	1.90	1.80	Contenido de Humedad : Wn =	32.55%
Peso del Agua	Gr	5.00	5.50	7.60	0.70	0.70	0.80	Grado de Consistencia : Kw =	0.98
Contenido de Humedad	%	42.02	68.75	90.48	14.29	36.84	44.44	Grado de Consistencia : Plástica	
Número de Golpes		33	22	16	Promedio :			31.86	

Calicata : C1			
Estrato : E1			
Potencia : 1.50 m			
Número de golpes	Contenido de humedad (%)		
33	42.02		
22	68.75		
16	90.48		
25	60.470		

Tabla 67. Resultados de Análisis Granulométrico por lavado Calicata C-1

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR LAVADO					Norma : NTP 339.128	
Peso Inicial de la Muestra Seca		200.00 Gr			Ubicación : C-1	
Peso de la Muestra Después del Labado		60.30 Gr			Estrato : E-1	
Pérdida por Lavado		139.70 Gr			Potencia: 1.50 m	
Tamiz	Abertura (mm)	Retenido			% Q'	
		P.R.P. (gr)	%RP	%RA	Pasa	
4	4.760	3.4	1.70	1.70	98.30	
10	2.000	2.8	1.40	3.10	96.90	
20	0.840	4.2	2.10	5.20	94.80	
30	0.590	2.80	1.40	6.60	93.40	
40	0.420	4.40	2.20	8.80	91.20	
60	0.250	10.30	5.15	13.95	86.05	
100	0.149	23.90	11.95	25.90	74.10	
200	0.074	8.50	4.25	30.15	69.85	
Pérdida por Lavado		139.70	69.85	100.00	0.00	

Tabla 68. Resultado de Clasificación de suelos según S.U.C.S de calicata C-1

Proyecto :		"TESIS"	
Proyectista :		Bach. Vásquez Agip, José Kevins	
Realizado por :	J.K.V.A		
Chequeado por :	Laboratorio de Mecánica de Suelos - UNC		
CLASIFICACIÓN DE SUELOS SEGÚN S.U.C.S			
Ubicación :	C1	Potencia :	1.50 m
Estrato :	E1	Norma :	NTP 339.134
% Que Pasa la Malla N° 200	69.85 %		
Límite Líquido	LL = 64.48 %		
Límite Plástico	LP = 31.86 %		
Índice de Plasticidad	IP = 32.62 %		
Tipo de Suelo Según su Granulometría :	Suelo Fino Alta Plasticidad		
Tipo de Simbología :	Simbología Normal		
Tipo de Suelo :	CH , MH , OH		
Suelo :	CH		
Características del Suelo :	CH	Son arcillas de alta plasticidad, con límite líquido mayor a 50 %, y se caracterizan por ser muy compresibles.	

Tabla 69. Resultado de Clasificación AASHTO Calicata C-1

CLASIFICACIÓN AASHTO				
Parámetros Usados		Ubicación :	C1	Potencia 1.50 m
% Que Pasa la Malla N° 200	69.85 %	Estrato :	E1	
% Que Pasa la Malla N° 40	91.20 %	Determinación del Índice de Grupo IG		
% Que Pasa la Malla N° 10	96.90 %	a =	34.85	IG = 18.00
Límite Líquido	LL = 60.47 %	b =	40.00	
Límite Plástico	LP = 31.86 %	c =	20.00	
Índice de Plasticidad :	IP = 28.61 %	d =	18.61	
Tipo de Suelo :	Material Limo Arcilloso			
Clasificación de Suelos : A - 7				
Suelo :	A - 7 - 5 (18)			
Tipo de Material :	Suelo Arcilloso			
Terreno de Fundación : Regular a Malo				

Tabla 70 . Resultado de Ensayo de Próctor Modificado de Calicata C-1

ENSAYO DE PRÓCTOR MODIFICADO

NORMA : NTP 339.141
KM: 000+70
CALICATA : C-1
MUESTRA : M-1

Realizado por : JKV
Fecha : '19-12-18

Datos de muestra

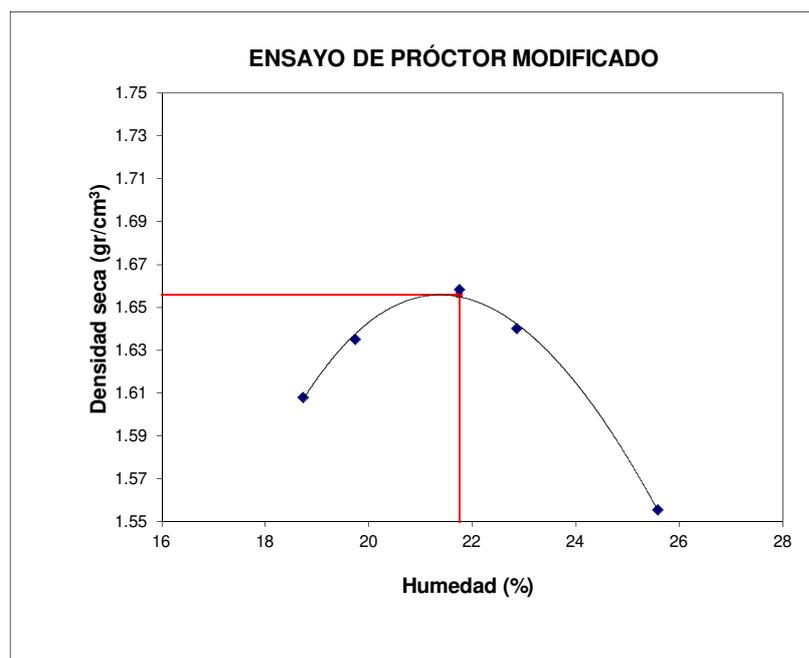
Prog. (Km.) : 000+70
 Material : IN SITU
 Prof (m.) : 1.50 mts.

Compactación

Prueba N°	1	2	3	4	5
Número de capas	5	5	5	5	5
Número de golpes	25	25	25	25	25
Peso suelo + molde (gr.)	5926	5972	6030	6026	5968
Peso molde (gr.)	4124	4124	4124	4124	4124
Peso suelo compactado (gr.)	1802	1848	1906	1902	1844
Volumen del molde (cm ³)	944	944	944	944	944
Densidad húmeda (gr/cm ³)	1.909	1.958	2.019	2.015	1.953

Humedad (%)

Tara N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Tara + suelo húmedo (gr.)	160.20	182.60	155.70	166.30	158.70	173.50	186.90	160.50	169.00	174.60
Tara + suelo seco (gr.)	139.20	158.30	134.90	143.40	135.10	147.80	157.60	135.90	140.50	144.40
Peso de agua (gr.)	21.00	24.30	20.80	22.90	23.60	25.70	29.30	24.60	28.50	30.20
Peso de tara (gr.)	28.00	27.40	28.40	28.50	27.60	28.60	28.80	28.80	27.50	28.00
Peso de suelo seco (gr.)	111.20	130.90	106.50	114.90	107.50	119.20	128.80	107.10	113.00	116.40
Humedad (%)	18.9	18.6	19.5	19.9	22.0	21.6	22.7	23.0	25.2	25.9
Humedad promedio (%)	18.7		19.7		21.8		22.9		25.6	
Densidad Seca (gr/cm ³)	1.608		1.635		1.658		1.640		1.555	



Máxima Densidad Seca (gr/cm ³)	:	1.656
Óptimo Contenido de Humedad (%)	:	21.75

Tabla 71. Resultados de Ensayo de CBR calicata C-1

ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR)										
A.A.S.H.T.O. T 193 - A.S.T.M. D 1883 - NTP 339.145										
COMPACTACIÓN C B R										
NÚMERO MOLDE	1			2			3			
Altura Molde (mm)	126			126			126			
N° Capas	5			5			5			
N°Golpes x Capa	13			27			56			
Condición de Muestra	ANTES DE EMPAPAR		DESPUÉS	ANTES DE EMPAPAR		DESPUÉS	ANTES DE EMPAPAR		DESPUÉS	
P. Húmedo + Molde	11284.0		11830.0	10396.0		11295.0	11988.0		12695.0	
Peso Molde (gr)	7803.0		7803.0	6612.0		6612.0	7732.0		7732.0	
Peso Húmedo (gr)	3481.0		4027.0	3784.0		4683.0	4256.0		4963.0	
Volumen del Molde (cm3)	2286.00		2286.00	2346.00		2346.00	2228.00		2228.00	
Densidad Húmeda (gr/cm3)	1.523		1.762	1.613		1.996	1.910		2.228	
Número de Ensayo	1-A	1-B	1-C	2-A	2-B	2-C	3-A	3-B	3-C	
P.Húmedo + Tara	774.00	791.00	799.00	738.00	815.00	778.00	798.00	789.00	768.00	
Peso Seco + Tara	650.10	663.60	603.80	620.70	684.60	590.30	669.80	665.50	592.90	
Peso Agua (gr)	123.90	127.40	195.20	117.30	130.40	187.70	128.20	123.50	175.10	
Peso Tara (gr)	81.00	82.00	85.00	84.00	80.00	79.00	78.00	86.00	87.00	
P. Muestra Seca	569.10	581.60	518.80	536.70	604.60	511.30	591.80	579.50	505.90	
Contenido de Humedad	21.77%	21.91%	37.63%	21.86%	21.57%	36.71%	21.66%	21.31%	34.61%	
C.Humedad Promedio	21.84%		37.63%	21.71%		36.71%	21.49%		34.61%	
DENSIDAD SECA (gr/cm3)	1.250		1.280	1.325		1.460	1.572		1.655	
ENSAYO DE HINCHAMIENTO										
TIEMPO ACUMULADO		NÚMERO DE MOLDE Nº 1			NÚMERO DE MOLDE Nº 2			NÚMERO DE MOLDE Nº 3		
		LECTURA	HINCHAMIENTO		LECTURA	HINCHAMIENTO		LECTURA	HINCHAMIENTO	
(Hs)	(Días)	DEFORM.	(mm)	(%)	DEFORM.	(mm)	(%)	DEFORM.	(mm)	(%)
0	0	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00
24	1	0.180	4.572	3.63	0.150	3.810	3.02	0.070	1.778	1.41
48	2	0.200	5.080	4.03	0.170	4.318	3.43	0.090	2.286	1.81
72	3	0.220	5.588	4.43	0.190	4.826	3.83	0.110	2.794	2.22
96	4	0.240	6.096	4.84	0.210	5.334	4.23	0.130	3.302	2.62
ENSAYO CARGA - PENETRACIÓN										
PENETRACIÓN		MOLDE Nº 1			MOLDE Nº 2			MOLDE Nº 3		
		CARGA	ESFUERZO		CARGA	ESFUERZO		CARGA	ESFUERZO	
(mm)	(pulg)		KG.	(Kg/Cm2)		(Lb/Pulg2)	KG.		(Kg/Cm2)	(Lb/Pulg2)
0.00	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.64	0.025	18.82	0.97	13.90	22.06	1.14	16.29	24.89	1.29	18.38
1.27	0.050	23.68	1.22	17.48	27.73	1.43	20.47	32.18	1.66	23.76
1.91	0.075	28.13	1.45	20.77	32.99	1.70	24.35	38.25	1.98	28.24
2.54	0.100	31.77	1.64	23.46	37.03	1.91	27.34	43.11	2.23	31.82
3.18	0.125	35.01	1.81	25.85	41.08	2.12	30.33	46.34	2.40	34.21
3.81	0.150	38.25	1.98	28.24	43.51	2.25	32.12	49.18	2.54	36.31
4.45	0.175	40.27	2.08	29.73	45.53	2.35	33.62	51.20	2.65	37.80
5.08	0.200	42.30	2.19	31.23	47.15	2.44	34.81	53.22	2.75	39.29
7.62	0.300	47.96	2.48	35.41	52.01	2.69	38.40	58.08	3.00	42.88
10.16	0.400	52.41	2.71	38.70	54.44	2.81	40.19	61.32	3.17	45.27
12.70	0.500	54.44	2.81	40.19	57.27	2.96	42.28	63.34	3.27	46.77

Figura 50. Curvas Esfuerzo vs Penetración Calicata C-1

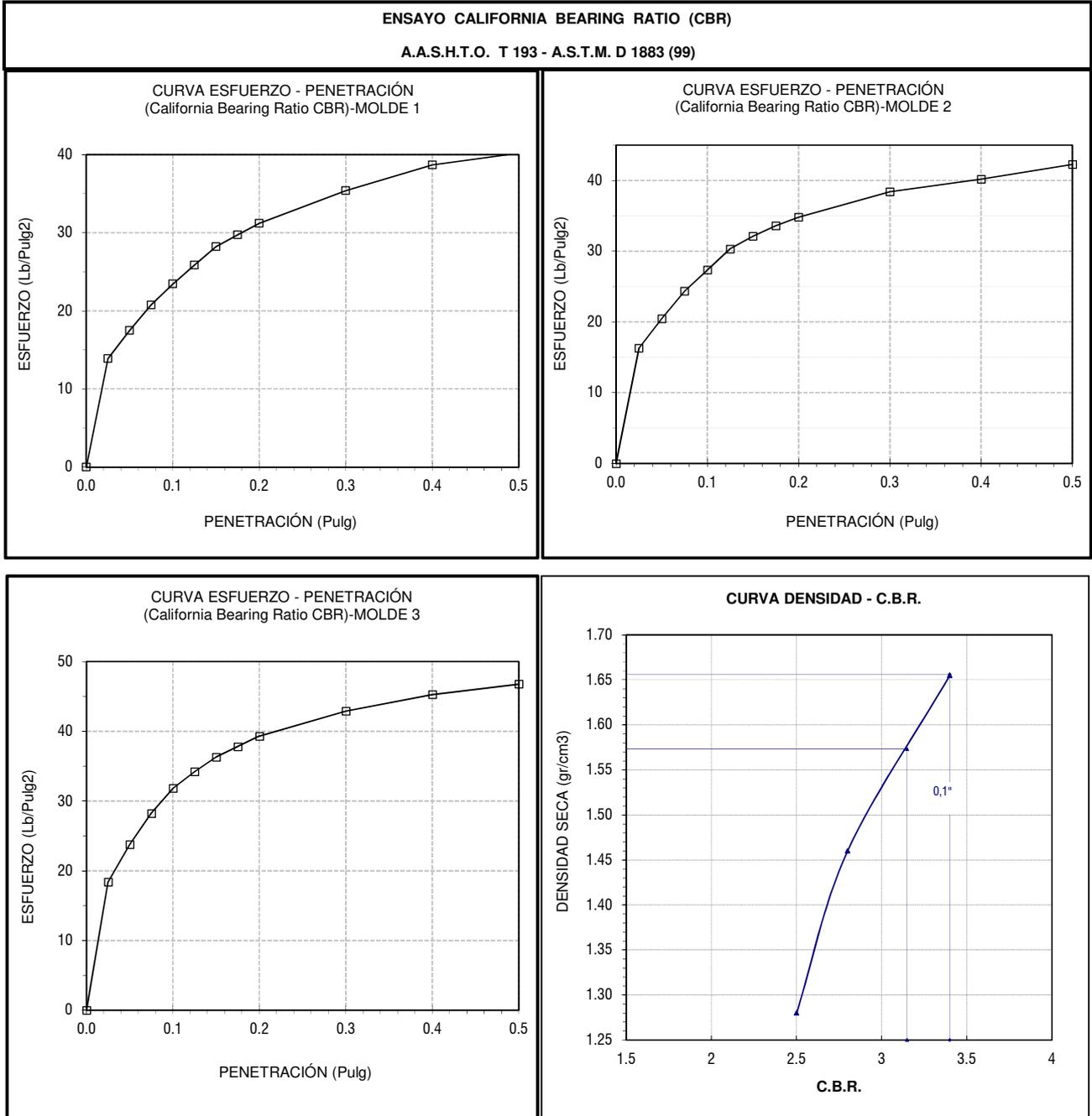


Tabla 72. Valores corregidos de Ensayo de CBR calicata C-1 al 95% de la M.D.S

MOLDE Nº	PENETRAC. (pulg)	PRESIÓN APLICADA CORREGIDA (Lb/pulg2)	PRESIÓN PATRON (Lb/pulg2)	C.B.R. %	DENSIDAD SECA (gr/cm3)
MOLDE 1	0.1	25.00	1000	2.50	1.28
MOLDE 2	0.1	28.00	1000	2.80	1.46
MOLDE 3	0.1	34.00	1000	3.40	1.65

ENSAYO PRÓCTOR MODIFICADO		VALOR RELATIVO DE SOPORTE C.B.R.	
DENSIDAD SECA MÁXIMA (gr/cm3) :	1.656	C.B.R. Para el 95% de la M.D.S. (0,1")=	3.15%
CONTENIDO DE HUMEDAD ÓPTIMO (%) :	21.75	C.B.R. Para el 100% de la M.D.S. (0,1")=	3.40%

Tabla 73. Resultados Límites de Consistencia Calicata C-2

Proyecto : "TESIS"																							
Proyectista : Bach. Vásquez Agip, José Kevin																							
Ensayo : LÍMITES DE CONSISTENCIA																							
LÍMITE LÍQUIDO		Norma : ASTM D 4318																					
LÍMITE PLÁSTICO		Norma : ASTM D 4319																					
Fecha de Muestreo :		07/ 10 / 2018																					
Muestreado por :		J.K.V.A																					
Chequeado por :		Laboratorio de Mecánica de Suelos - UNC																					
LÍMITES DE CONSISTENCIA		Ubicación : Calicata C2			Potencia : 1.50 m																		
		Estrato : E1																					
		LÍMITE LÍQUIDO			LÍMITE PLÁSTICO																		
					Limites de Consistencia																		
Tara Número	Unidades	1	2	3	1	2	3																
Peso Tara + Muestra Húmeda	Gr	39.50	36.70	42.70	35.90	32.40	33.60																
Peso Tara + Muestra Seca	Gr	35.10	33.60	35.70	33.90	30.50	31.30																
Peso de la Tara	Gr	26.70	27.30	27.20	27.80	24.60	24.50																
Peso de la Muestra Seca	Gr	8.40	6.30	8.50	6.10	5.90	6.80																
Peso del Agua	Gr	4.40	3.10	7.00	2.00	1.90	2.30																
Contenido de Humedad	%	52.38	49.21	82.35	32.79	32.20	33.82																
Número de Golpes		28	32	16	Promedio : 32.94																		
<table border="1"> <tr><td>Calicata :</td><td>C2</td></tr> <tr><td>Estrato :</td><td>E1</td></tr> <tr><td>Potencia :</td><td>1.50 m</td></tr> <tr><td>Número de golpes</td><td>Contenido de humedad (%)</td></tr> <tr><td>28</td><td>52.38</td></tr> <tr><td>32</td><td>49.21</td></tr> <tr><td>16</td><td>82.35</td></tr> <tr><td>25</td><td>59.888</td></tr> </table>		Calicata :	C2	Estrato :	E1	Potencia :	1.50 m	Número de golpes	Contenido de humedad (%)	28	52.38	32	49.21	16	82.35	25	59.888						
Calicata :	C2																						
Estrato :	E1																						
Potencia :	1.50 m																						
Número de golpes	Contenido de humedad (%)																						
28	52.38																						
32	49.21																						
16	82.35																						
25	59.888																						

Tabla 74. Resultados de Análisis Granulométrico por lavado Calicata C-2

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR LAVADO					Norma : NTP 339.128	
Peso Inicial de la Muestra Seca		200.00 Gr			Ubicación : C-2	
Peso de la Muestra Después del Lavado		58.80 Gr			Estrato : E-1	
Pérdida por Lavado		141.20 Gr			Potencia: 1.50 m	
Tamiz	Abertura (mm)	Retenido			% Q' Pasa	
		P.R.P. (gr)	%RP	%RA		
4	4.760	3.2	1.60	1.60	98.40	
10	2.000	2.6	1.30	2.90	97.10	
20	0.840	4	2.00	4.90	95.10	
30	0.590	2.70	1.35	6.25	93.75	
40	0.420	4.20	2.10	8.35	91.65	
60	0.250	10.10	5.05	13.40	86.60	
100	0.149	23.70	11.85	25.25	74.75	
200	0.074	8.30	4.15	29.40	70.60	
Pérdida por Lavado		141.20	70.60	100.00	0.00	

Tabla 75. Resultado de Clasificación de suelos según S.U.C.S de calicata C-2

Proyecto :		"TESIS"	
Proyectista :		Bach. Vásquez Agip, José Kevins	
Realizado por :	J.K.V.A		
Chequeado por :	Laboratorio de Mecánica de Suelos - UNC		
CLASIFICACIÓN DE SUELOS SEGÚN S.U.C.S			
Ubicación :	C2	Potencia :	1.50 m
Estrato :	E1	Norma :	NTP 339.134
% Que Pasa la Malla N° 200	70.60 %		
Límite Líquido	LL = 59.89 %		
Límite Plástico	LP = 32.94 %		
Índice de Plasticidad	IP = 26.95 %		
Tipo de Suelo Según su Granulometría :	Suelo Fino Alta Plasticidad		
Tipo de Simbología :	Simbología Normal		
Tipo de Suelo :	CH , MH , OH		
Suelo :	MH,OH	Indicar Tipo de Suelo :	Inorganico
Caractrísticas del Suelo :	MH	Son limos de alta plasticidad, con límite líquido mayor a 50 %, y se caracterizan por ser muy compresibles.	

Tabla 76. Resultado de Clasificación AASHTO Calicata C-2

CLASIFICACIÓN AASHTO				
Parámetros Usados		Ubicación :	C2	Potencia 1.50 m
% Que Pasa la Malla N° 200	70.60 %	Estrato :	E1	
% Que Pasa la Malla N° 40	91.65 %	Determinación del Índice de Grupo IG		
% Que Pasa la Malla N° 10	97.10 %	a =	35.60	IG = 18.00
Límite Líquido	LL = 59.89 %	b =	40.00	
Límite Plástico	LP = 32.94 %	c =	19.89	
Indice de Plasticidad :	IP = 26.95 %	d =	16.95	
Tipo de Suelo :	Material Limo Arcilloso			
Clasificación de Suelos : A - 7				
Suelo :	A - 7 - 5 (18)			
Tipode Material :	Suelo Arcilloso			
Terreno de Fundación : Regular a Malo				

Tabla 77. Resultado de Ensayo de Próctor Modificado de Calicata C-2

ENSAYO DE PRÓCTOR MODIFICADO

NORMA : NTP 339.141 **Realizado por** : JKV
KM: 000+140 **Fecha** : '19-12-18
CALICATA : C-2
MUESTRA : M-2

Datos de muestra

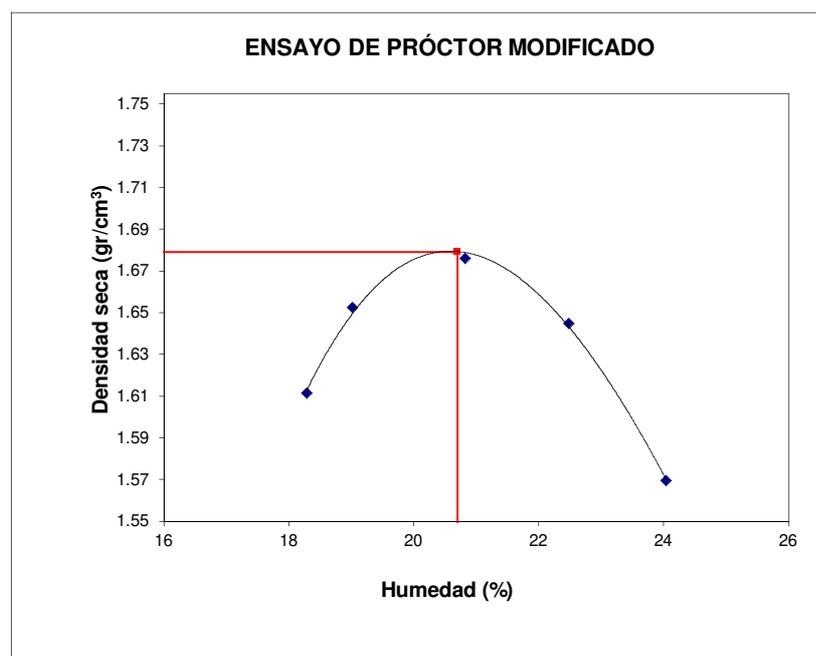
Prog. (Km.) : 000+70
 Material : IN SITU
 Prof (m.) : 1.50 mts.

Compactación

Prueba N°	1	2	3	4	5
Número de capas	5	5	5	5	5
Número de golpes	25	25	25	25	25
Peso suelo + molde (gr.)	5918	5975	6030	6020	5956
Peso molde (gr.)	4124	4124	4124	4124	4124
Peso suelo compactado (gr.)	1794	1851	1906	1896	1832
Volumen del molde (cm ³)	944	944	944	944	944
Densidad húmeda (gr/cm ³)	1.900	1.961	2.019	2.008	1.941

Humedad (%)

Tara N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Tara + suelo húmedo (gr.)	156.30	175.60	157.90	166.80	159.70	165.20	186.40	154.40	169.70	173.20
Tara + suelo seco (gr.)	136.80	152.30	137.40	144.50	136.70	141.90	157.40	131.40	142.40	144.80
Peso de agua (gr.)	19.50	23.30	20.50	22.30	23.00	23.30	29.00	23.00	27.30	28.40
Peso de tara (gr.)	28.00	27.40	28.40	28.50	27.60	28.60	28.80	28.80	27.50	28.00
Peso de suelo seco (gr.)	108.80	124.90	109.00	116.00	109.10	113.30	128.60	102.60	114.90	116.80
Humedad (%)	17.9	18.7	18.8	19.2	21.1	20.6	22.6	22.4	23.8	24.3
Humedad promedio (%)	18.3		19.0		20.8		22.5		24.0	
Densidad Seca (gr/cm ³)	1.607		1.648		1.671		1.640		1.565	



Máxima Densidad Seca (gr/cm³) : 1.674
 Óptimo Contenido de Humedad (%) : 20.70

Tabla 78. Resultados de Ensayo de CBR Calicata C-2

ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR)											
A.A.S.H.T.O. T 193 - A.S.T.M. D 1883 - NTP 339.145											
COMPACTACIÓN C B R											
NÚMERO MOLDE	1			2			3				
Altura Molde (mm)	126			126			126				
Nº Capas	5			5			5				
NºGolpes x Capa	13			27			56				
Condición de Muestra	ANTES DE EMPAPAR		DESPUÉS	ANTES DE EMPAPAR		DESPUÉS	ANTES DE EMPAPAR		DESPUÉS		
P. Húmedo + Molde	11235.0		11780.0	10346.0		11245.0	11948.0		12706.0		
Peso Molde (gr)	7803.0		7803.0	6612.0		6612.0	7732.0		7732.0		
Peso Húmedo (gr)	3432.0		3977.0	3734.0		4633.0	4216.0		4974.0		
Volumen del Molde (cm3)	2286.00		2286.00	2346.00		2346.00	2228.00		2228.00		
Densidad Húmeda (gr/cm3)	1.501		1.740	1.592		1.975	1.892		2.232		
Número de Ensayo	1-A	1-B	1-C	2-A	2-B	2-C	3-A	3-B	3-C		
P.Húmedo + Tara	783.00	801.00	808.00	747.00	824.00	787.00	796.00	798.00	777.00		
Peso Seco + Tara	662.50	676.10	616.10	633.40	696.70	606.70	673.20	678.40	603.70		
Peso Agua (gr)	120.50	124.90	191.90	113.60	127.30	180.30	122.80	119.60	173.30		
Peso Tara (gr)	81.00	82.00	85.00	84.00	80.00	79.00	78.00	86.00	87.00		
P. Muestra Seca	581.50	594.10	531.10	549.40	616.70	527.70	595.20	592.40	516.70		
Contenido de Humedad	20.72%	21.02%	36.13%	20.68%	20.64%	34.17%	20.63%	20.19%	33.54%		
C.Humedad Promedio	20.87%		36.13%	20.66%		34.17%	20.41%		33.54%		
DENSIDAD SECA (gr/cm3)	1.242		1.278	1.319		1.472	1.572		1.672		
ENSAYO DE HINCHAMIENTO											
TIEMPO ACUMULADO		NÚMERO DE MOLDE Nº 1			NÚMERO DE MOLDE Nº 2			NÚMERO DE MOLDE Nº 3			
		LECTURA	HINCHAMIENTO		LECTURA	HINCHAMIENTO		LECTURA	HINCHAMIENTO		
(Hs)	(Días)	DEFORM.	(mm)	(%)	DEFORM.	(mm)	(%)	DEFORM.	(mm)	(%)	
0	0	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00	
24	1	0.160	4.064	3.23	0.130	3.302	2.62	0.050	1.270	1.01	
48	2	0.180	4.572	3.63	0.150	3.810	3.02	0.070	1.778	1.41	
72	3	0.200	5.080	4.03	0.170	4.318	3.43	0.090	2.286	1.81	
96	4	0.220	5.588	4.43	0.190	4.826	3.83	0.110	2.794	2.22	
ENSAYO CARGA - PENETRACIÓN											
PENETRACIÓN		MOLDE Nº 1			MOLDE Nº 2			MOLDE Nº 3			
		CARGA	ESFUERZO		CARGA	ESFUERZO		CARGA	ESFUERZO		
(mm)	(pulg)		KG.	(Kg/Cm2)		(Lb/Pulg2)	KG.		(Kg/Cm2)	(Lb/Pulg2)	KG.
0.00	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.64	0.025	22.87	1.18	16.89	26.11	1.35	19.28	28.94	1.50	21.37	
1.27	0.050	27.73	1.43	20.47	31.77	1.64	23.46	36.23	1.87	26.74	
1.91	0.075	32.99	1.70	24.35	37.03	1.91	27.34	42.30	2.19	31.23	
2.54	0.100	35.82	1.85	26.45	41.08	2.12	30.33	47.15	2.44	34.81	
3.18	0.125	39.06	2.02	28.84	45.13	2.33	33.32	50.39	2.60	37.20	
3.81	0.150	42.30	2.19	31.23	47.96	2.48	35.41	53.22	2.75	39.29	
4.45	0.175	44.32	2.29	32.72	49.18	2.54	36.31	55.25	2.86	40.79	
5.08	0.200	46.34	2.40	34.21	51.20	2.65	37.80	58.08	3.00	42.88	
7.62	0.300	52.01	2.69	38.40	56.46	2.92	41.68	62.13	3.21	45.87	
10.16	0.400	56.46	2.92	41.68	58.49	3.02	43.18	65.37	3.38	48.26	
12.70	0.500	58.49	3.02	43.18	61.32	3.17	45.27	67.39	3.48	49.75	

Figura 51. Curvas Esfuerzo vs Penetración Calicata C-2

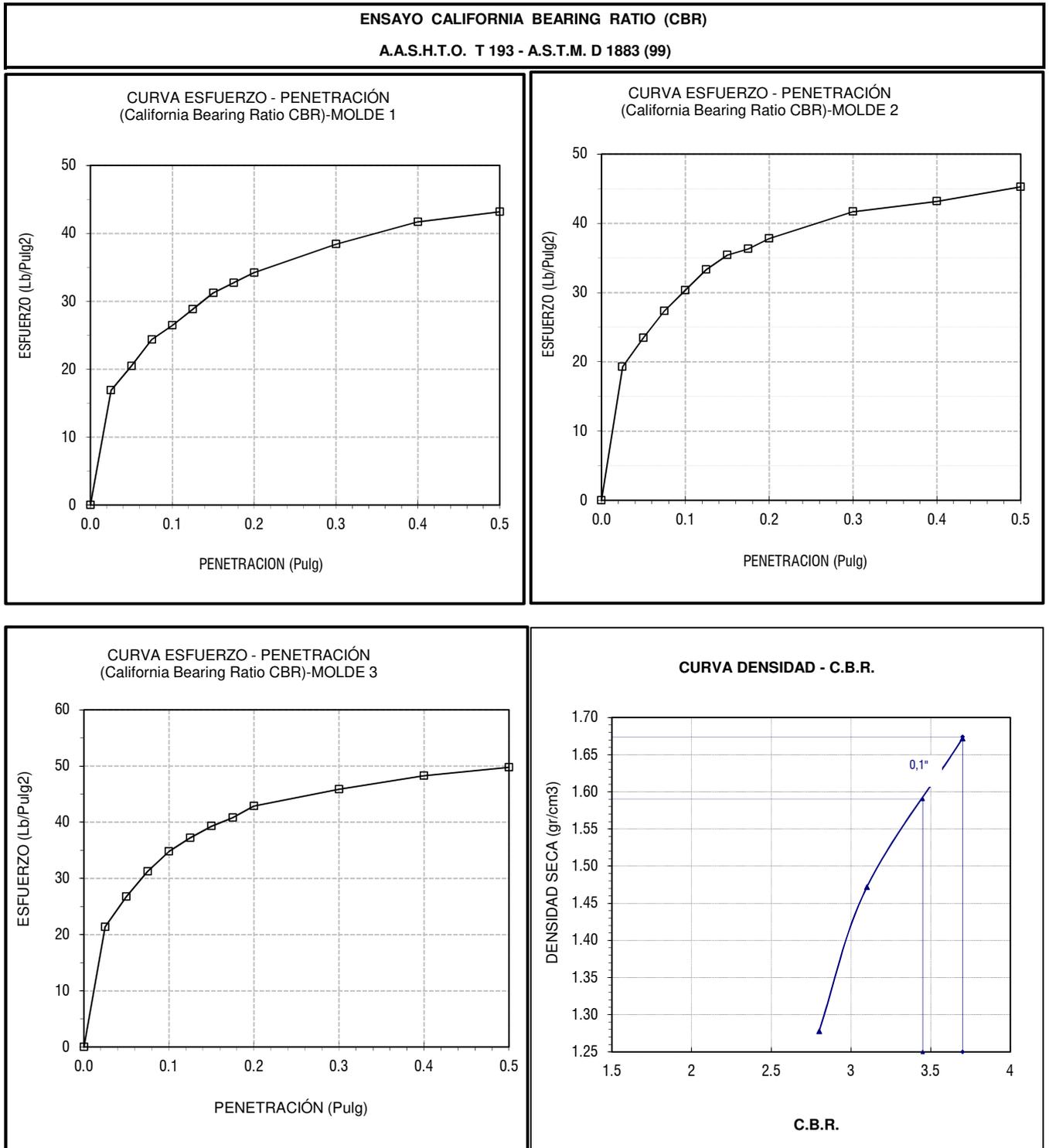


Tabla 79. Valores corregidos de Ensayo de CBR calicata C-2 al 95% de la M.D.S

MOLDE Nº	PENETRAC. (pulg)	PRESIÓN APLICADA CORREGIDA (Lb/pulg2)	PRESIÓN PATRON (Lb/pulg2)	C.B.R. %	DENSIDAD SECA (gr/cm3)
MOLDE 1	0.1	28.00	1000	2.80	1.28
MOLDE 2	0.1	31.00	1000	3.10	1.47
MOLDE 3	0.1	37.00	1000	3.70	1.67

ENSAYO PRÓCTOR MODIFICADO		VALOR RELATIVO DE SOPORTE C.B.R.	
DENSIDAD SECA MÁXIMA (gr/cm3) :	1.674	C.B.R. Para el 95% de la M.D.S. (0,1")=	3.45%
CONTENIDO DE HUMEDAD ÓPTIMO (%) :	20.80	C.B.R. Para el 100% de la M.D.S. (0,1")=	3.70%

Tabla 80. Resultados Límites de Consistencia Calicata C-3

Proyecto : "TESIS"							
Proyectista : Bach. Vásquez Agip, José Kevins							
Ensayo : LÍMITES DE CONSISTENCIA							
LÍMITE LÍQUIDO		Norma : ASTM D 4318					
LÍMITE PLÁSTICO		Norma : ASTM D 4319					
Fecha de Muestreo :		07/ 10 / 2018					
Muestreado por :		J.K.V.A					
Chequeado por :		Laboratorio de Mecánica de Suelos - UNC					
LÍMITES DE CONSISTENCIA		Ubicación : Calicata C3			Potencia : 1.50 m		
		Estrato : E1					
		LÍMITE LÍQUIDO			LÍMITE PLÁSTICO		
Tara Número	Unidades	1	2	3	1	2	3
Peso Tara + Muestra Húmeda	Gr	44.60	52.90	47.80	29.50	33.40	38.40
Peso Tara + Muestra Seca	Gr	39.80	44.20	42.00	29.40	32.80	38.20
Peso de la Tara	Gr	32.40	36.00	32.90	28.90	30.80	37.30
Peso de la Muestra Seca	Gr	7.40	8.20	9.10	0.50	2.00	0.90
Peso del Agua	Gr	4.80	8.70	5.80	0.10	0.60	0.20
Contenido de Humedad	%	64.86	106.10	63.74	20.00	30.00	22.22
Número de Golpes		31	13	27	Promedio : 24.07		
		Límites de Consistencia					
		Límite Líquido: LL = 72.09%					
		Límite Plástico: LP = 24.07%					
		Índice de Plasticidad : IP = 48.02%					
		Contenido de Humedad : Wn = 45.50%					
		Grado de Consistencia : Kw = 0.55					
		Grado de Consistencia : Suave					

Calicata : C3	
Estrato : E1	
Potencia : 1.50 m	
Número de golpes	Contenido de humedad (%)
31	64.86
13	106.10
27	63.74
25	72.090

Tabla 81. Resultados de Análisis Granulométrico por lavado Calicata C-3

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR LAVADO					Norma : NTP 339.128	
Peso Inicial de la Muestra Seca		200.00 Gr			Ubicación : C-3	
Peso de la Muestra Después del Lavado		50.60 Gr			Estrato : E-1	
Pérdida por Lavado		149.40 Gr			Potencia : 1.50 m	
Tamiz	Abertura (mm)	Retenido			% Q' Pasa	
		P.R.P. (gr)	%RP	%RA		
4	4.760	2.2	1.10	1.10	98.90	
10	2.000	1.6	0.80	1.90	98.10	
20	0.840	3.2	1.60	3.50	96.50	
30	0.590	1.70	0.85	4.35	95.65	
40	0.420	3.20	1.60	5.95	94.05	
60	0.250	9.50	4.75	10.70	89.30	
100	0.149	22.20	11.10	21.80	78.20	
200	0.074	7.00	3.50	25.30	74.70	
Pérdida por Lavado		149.40	74.70	100.00	0.00	

Tabla 82. Resultado de Clasificación de suelos según S.U.C.S de calicata C-3

Proyecto : "TESIS"		
Proyectista : Bach. Vásquez Agip, José Kevins		
Realizado por :	J.K.V.A	
Chequeado por :	Laboratorio de Mecánica de Suelos - UNC	
CLASIFICACIÓN DE SUELOS SEGÚN S.U.C.S		
Ubicación :	C3	Potencia : 1.50 m
Estrato :	E1	Norma : NTP 339.134
% Que Pasa la Malla N° 200	74.70 %	
Límite Líquido	LL = 72.09 %	
Límite Plástico	LP = 24.07 %	
Índice de Plasticidad	IP = 48.02 %	
Tipo de Suelo Según su Granulometría :	Suelo Fino Alta Plasticidad	
Tipo de Simbología :	Simbología Normal	
Tipo de Suelo :	CH , MH , OH	
Suelo :	CH	
Características del Suelo :	CH	Son arcillas de alta plasticidad, con límite líquido mayor a 50 %, y se caracterizan por ser muy compresibles.

Tabla 83. Resultado de Clasificación AASHTO Calicata C-3

CLASIFICACIÓN AASHTO			
Parámetros Usados		Ubicación : C3	Potencia 1.50 m
% Que Pasa la Malla N° 200	74.70 %	Estrato : E1	
% Que Pasa la Malla N° 40	94.05 %	Determinación del Índice de Grupo IG	
% Que Pasa la Malla N° 10	98.10 %	a = 39.70	IG = 20.00
Límite Líquido	LL = 72.09 %	b = 40.00	
Límite Plástico	LP = 24.07 %	c = 20.00	
Índice de Plasticidad :	IP = 48.02 %	d = 20.00	
Tipo de Suelo :	Material Limo Arcilloso		
Clasificación de Suelos :	A - 7		
Suelo :	A - 7 - 6 (20)		
Tipo de Material :	Suelo Arcilloso		
Terreno de Fundación :	Regular a Malo		

Tabla 84. Resultado de Ensayo de Próctor Modificado de Calicata C-3

ENSAYO DE PRÓCTOR MODIFICADO

NORMA : NTP 339.141
KM: 000+210
CALICATA : C-3
MUESTRA : M-3

Realizado por : JKV
Fecha : '19-12-18

Datos de muestra

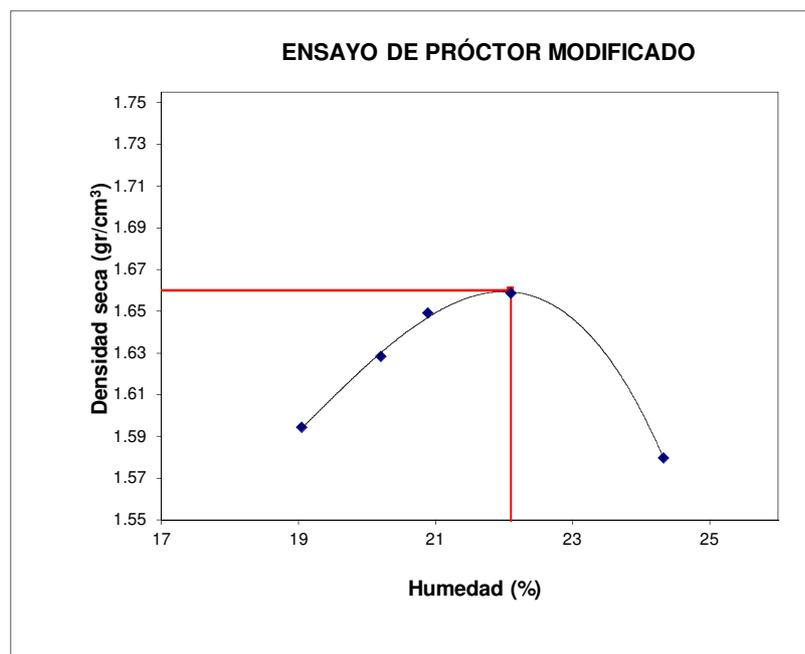
Prog. (Km.) : 000+70
 Material : IN SITU
 Prof (m.) : 1.50 mts.

Compactación

Prueba N°	1	2	3	4	5
Número de capas	5	5	5	5	5
Número de golpes	25	25	25	25	25
Peso suelo + molde (gr.)	5910	5966	6000	6030	5972
Peso molde (gr.)	4124	4124	4124	4124	4124
Peso suelo compactado (gr.)	1786	1842	1876	1906	1848
Volumen del molde (cm ³)	944	944	944	944	944
Densidad húmeda (gr/cm ³)	1.892	1.951	1.987	2.019	1.958

Humedad (%)

Tara N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Tara + suelo húmedo (gr.)	159.60	178.70	157.40	165.40	162.10	165.60	184.90	165.40	161.60	175.40
Tara + suelo seco (gr.)	138.80	154.20	136.00	142.10	138.80	142.00	156.50	140.80	135.60	146.30
Peso de agua (gr.)	20.80	24.50	21.40	23.30	23.30	23.60	28.40	24.60	26.00	29.10
Peso de tara (gr.)	28.00	27.40	28.40	28.50	27.60	28.60	28.80	28.80	27.50	28.00
Peso de suelo seco (gr.)	110.80	126.80	107.60	113.60	111.20	113.40	127.70	112.00	108.10	118.30
Humedad (%)	18.8	19.3	19.9	20.5	21.0	20.8	22.2	22.0	24.1	24.6
Humedad promedio (%)	19.0		20.2		20.9		22.1		24.3	
Densidad Seca (gr/cm ³)	1.589		1.623		1.644		1.654		1.575	



Máxima Densidad Seca (gr/cm³) : 1.655
 Optimo Contenido de Humedad (%) : 22.10

Tabla 85. Resultados de Ensayo de CBR calicata C-3

ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR)										
A.A.S.H.T.O. T 193 - A.S.T.M. D 1883 - NTP 339.145										
COMPACTACIÓN C B R										
NÚMERO MOLDE	1			2			3			
Altura Molde (mm)	126			126			126			
N° Capas	5			5			5			
N°Golpes x Capa	13			27			56			
Condición de Muestra	ANTES DE EMPAPAR		DESPUÉS	ANTES DE EMPAPAR		DESPUÉS	ANTES DE EMPAPAR		DESPUÉS	
P. Húmedo + Molde	11299.0		11845.0	10411.0		11310.0	12003.0		12710.0	
Peso Molde (gr)	7803.0		7803.0	6612.0		6612.0	7732.0		7732.0	
Peso Húmedo (gr)	3496.0		4042.0	3799.0		4698.0	4271.0		4978.0	
Volumen del Molde (cm3)	2286.00		2286.00	2346.00		2346.00	2228.00		2228.00	
Densidad Húmeda (gr/cm3)	1.529		1.768	1.619		2.003	1.917		2.234	
Número de Ensayo	1-A	1-B	1-C	2-A	2-B	2-C	3-A	3-B	3-C	
P.Húmedo + Tara	763.00	780.00	788.00	727.00	804.00	767.00	787.00	778.00	757.00	
Peso Seco + Tara	640.10	653.60	593.80	610.70	674.60	580.30	659.80	655.50	582.90	
Peso Agua (gr)	122.90	126.40	194.20	116.30	129.40	186.70	127.20	122.50	174.10	
Peso Tara (gr)	81.00	82.00	85.00	84.00	80.00	79.00	78.00	86.00	87.00	
P. Muestra Seca	559.10	571.60	508.80	526.70	594.60	501.30	581.80	569.50	495.90	
Contenido de Humedad	21.98%	22.11%	38.17%	22.08%	21.76%	37.24%	21.86%	21.51%	35.11%	
C.Humedad Promedio	22.05%		38.17%	21.92%		37.24%	21.69%		35.11%	
DENSIDAD SECA (gr/cm3)	1.253		1.280	1.328		1.459	1.575		1.654	
ENSAYO DE HINCHAMIENTO										
TIEMPO ACUMULADO		NÚMERO DE MOLDE N° 1			NÚMERO DE MOLDE N° 2			NÚMERO DE MOLDE N° 3		
		LECTURA	HINCHAMIENTO		LECTURA	HINCHAMIENTO		LECTURA	HINCHAMIENTO	
(Hs)	(Días)	DEFORM.	(mm)	(%)	DEFORM.	(mm)	(%)	DEFORM.	(mm)	(%)
0	0	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00
24	1	0.190	4.826	3.83	0.160	4.064	3.23	0.080	2.032	1.61
48	2	0.210	5.334	4.23	0.180	4.572	3.63	0.100	2.540	2.02
72	3	0.230	5.842	4.64	0.200	5.080	4.03	0.120	3.048	2.42
96	4	0.250	6.350	5.04	0.220	5.588	4.43	0.150	3.810	3.02
ENSAYO CARGA - PENETRACIÓN										
PENETRACIÓN		MOLDE N° 1			MOLDE N° 2			MOLDE N° 3		
		CARGA	ESFUERZO		CARGA	ESFUERZO		CARGA	ESFUERZO	
(mm)	(pulg)	KG.	(Kg/Cm2)	(Lb/Pulg2)	KG.	(Kg/Cm2)	(Lb/Pulg2)	KG.	(Kg/Cm2)	(Lb/Pulg2)
0.00	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.64	0.025	12.75	0.66	9.42	15.99	0.83	11.81	18.82	0.97	13.90
1.27	0.050	17.61	0.91	13.00	21.66	1.12	15.99	26.11	1.35	19.28
1.91	0.075	22.06	1.14	16.29	26.92	1.39	19.87	32.18	1.66	23.76
2.54	0.100	25.70	1.33	18.98	30.96	1.60	22.86	37.03	1.91	27.34
3.18	0.125	28.94	1.50	21.37	35.01	1.81	25.85	40.27	2.08	29.73
3.81	0.150	32.18	1.66	23.76	37.44	1.93	27.64	43.11	2.23	31.82
4.45	0.175	34.20	1.77	25.25	39.46	2.04	29.13	45.13	2.33	33.32
5.08	0.200	36.23	1.87	26.74	41.08	2.12	30.33	47.15	2.44	34.81
7.62	0.300	41.89	2.16	30.93	45.94	2.37	33.92	52.01	2.69	38.40
10.16	0.400	46.34	2.40	34.21	48.37	2.50	35.71	55.25	2.86	40.79
12.70	0.500	48.37	2.50	35.71	51.20	2.65	37.80	57.27	2.96	42.28

Figura 52. Curvas Esfuerzo vs Penetración Calicata C-3

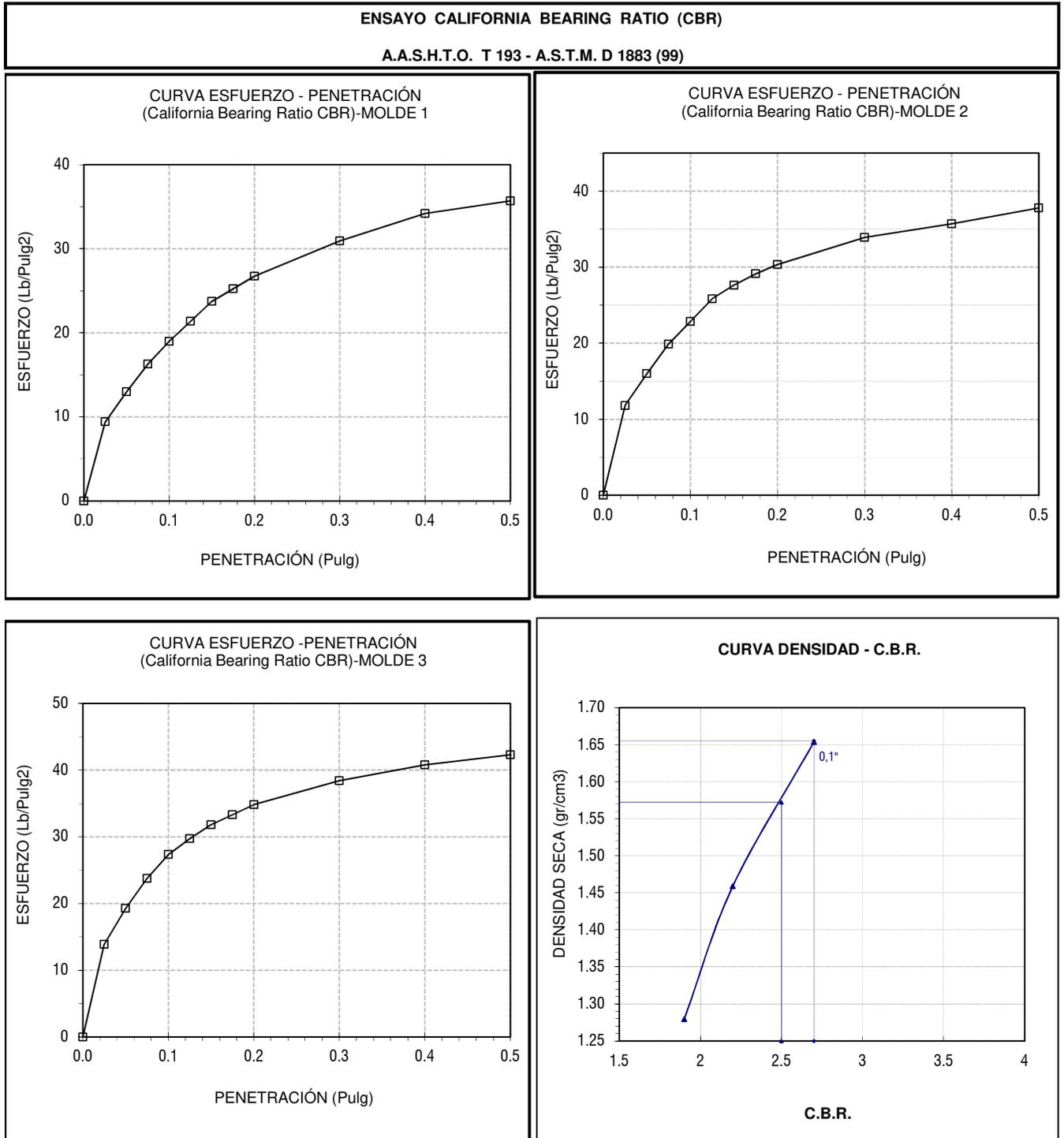


Tabla 86. Valores corregidos de Ensayo de CBR calicata C3 al 95% de la M.D.S

MOLDE Nº	PENETRAC. (pulg)	PRESIÓN APLICADA CORREGIDA (Lb/pulg2)	PRESIÓN PATRON (Lb/pulg2)	C.B.R. %	DENSIDAD SECA (gr/cm3)
MOLDE 1	0.1	19.00	1000	1.90	1.28
MOLDE 2	0.1	22.00	1000	2.20	1.46
MOLDE 3	0.1	27.00	1000	2.70	1.65

ENSAYO PRÓCTOR MODIFICADO		VALOR RELATIVO DE SOPORTE C.B.R.	
DENSIDAD SECA MÁXIMA (gr/cm3) :	1.655	C.B.R. Para el 95% de la M.D.S. (0,1")=	2.50%
CONTENIDO DE HUMEDAD ÓPTIMO (%) :	22.10	C.B.R. Para el 100% de la M.D.S. (0,1")=	2.70%

Tabla 87. Resultados Límites de Consistencia Calicata C-4

Proyecto : "TESIS"									
Proyectista : Bach. Vásquez Agip, José Kevins									
Ensayo : LÍMITES DE CONSISTENCIA									
LÍMITE LÍQUIDO		Norma : ASTM D 4318							
LÍMITE PLÁSTICO		Norma : ASTM D 4319							
Fecha de Muestreo :		07/ 10 / 2018							
Muestreado por :		J.K.V.A							
Chequeado por :		Laboratorio de Mecánica de Suelos - UNC							
LÍMITES DE CONSISTENCIA		Ubicación : Calicata C4			Potencia : 1.50 m				
		Estrato : E1							
		LÍMITE LÍQUIDO			LÍMITE PLÁSTICO			Límites de Consistencia	
Tara Número	Unidades	1	2	3	1	2	3		
Peso Tara + Muestra Húmeda	Gr	61.10	69.20	73.30	30.90	32.10	31.80	Límite Líquido: LL = 50.96%	
Peso Tara + Muestra Seca	Gr	49.10	57.30	62.50	30.40	31.30	31.60	Límite Plástico: LP = 32.14%	
Peso de la Tara	Gr	29.00	35.00	40.00	29.20	29.20	30.40	Índice de Plasticidad : IP = 18.82%	
Peso de la Muestra Seca	Gr	20.10	22.30	22.50	1.20	2.10	1.20	Contenido de Humedad : Wn = 27.52%	
Peso del Agua	Gr	12.00	11.90	10.80	0.50	0.80	0.20	Grado de Consistencia : Kw = 1.25	
Contenido de Humedad	%	59.70	53.36	48.00	41.67	38.10	16.67	Grado de Consistencia : Media Dura , Sólida	
Número de Golpes		13	20	32	Promedio : 32.14				
		LÍMITE LIQUIDO							
Calicata : C4									
Estrato : E1									
Potencia : 1.50 m									
Número de golpes	Contenido de humedad (%)								
25	50.964								

Tabla 88. Resultados de Análisis Granulométrico por lavado Calicata C-4

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR LAVADO					Norma : NTP 339.128	
Peso Inicial de la Muestra Seca		200.00 Gr			Ubicación : C-4	
Peso de la Muestra Después del Lavado		65.40 Gr			Estrato : E-1	
Pérdida por Lavado		134.60 Gr			Potencia: 1.50 m	
Tamiz	Abertura (mm)	Retenido			% Q' Pasa	
		P.R.P. (gr)	%RP	%RA		
4	4.760	4	2.00	2.00	98.00	
10	2.000	3.4	1.70	3.70	96.30	
20	0.840	5.4	2.70	6.40	93.60	
30	0.590	3.50	1.75	8.15	91.85	
40	0.420	5.00	2.50	10.65	89.35	
60	0.250	11.30	5.65	16.30	83.70	
100	0.149	24.00	12.00	28.30	71.70	
200	0.074	8.80	4.40	32.70	67.30	
Pérdida por Lavado		134.60	67.30	100.00	0.00	

Tabla 89. Resultado de Clasificación de suelos según S.U.C.S de calicata C-4

Proyecto : "TESIS"	
Proyectista : Bach. Vásquez Agip, José Kevins	
Realizado por :	J.K.V.A
Chequeado por :	Laboratorio de Mecánica de Suelos - UNC
CLASIFICACIÓN DE SUELOS SEGÚN S.U.C.S	
Ubicación :	C4 Potencia : 1.50 m
Estrato :	E1 Norma : NTP 339.134
% Que Pasa la Malla N° 200	67.30 %
Límite Líquido LL =	50.96 %
Límite Plástico LP =	30.56 %
Índice de Plasticidad IP =	20.40 %
Tipo de Suelo Según su Granulometría :	Suelo Fino Alta Plasticidad
Tipo de Simbología :	Simbología Normal
Tipo de Suelo :	CH , MH , OH
Suelo :	MH,OH Indicar Tipo de Suelo :
Características del Suelo :	MH Son arcillas de alta plasticidad, con límite líquido mayor a 50 %, y se caracterizan por ser muy compresibles.

Tabla 90. Resultado de Clasificación AASHTO Calicata C-4

CLASIFICACIÓN AASHTO			
Parámetros Usados		Ubicación : C4	Potencia 1.50 m
% Que Pasa la Malla N° 200	67.30 %	Estrato : E1	
% Que Pasa la Malla N° 40	89.35 %	Determinación del Índice de Grupo IG	
% Que Pasa la Malla N° 10	96.30 %	a = 32.30	IG = 12.00
Límite Líquido LL =	50.96 %	b = 40.00	
Límite Plástico LP =	32.14 %	c = 10.96	
Índice de Plasticidad : IP =	18.82 %	d = 8.82	
Tipo de Suelo :	Material Limo Arcilloso		
Clasificación de Suelos :	A - 7		
Suelo :	A - 7 - 5 (12)		
Tipode Material :	Suelo Arcilloso		
Terreno de Fundación :	Regular a Malo		

Tabla 91 . Resultado de Ensayo de Próctor Modificado de Calicata C-4

ENSAYO DE PRÓCTOR MODIFICADO			
NORMA : NTP 339.141	Realizado por : JKV		
KM: 000+280	Fecha : '19-12-18		
CALICATA : C-4			
MUESTRA : M-4			

Datos de muestra

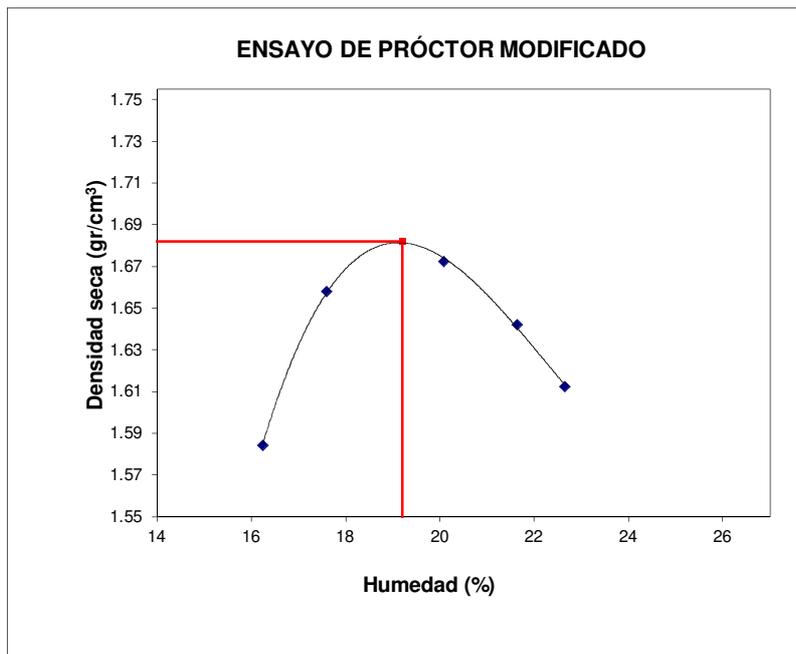
Prog. (Km.) : 000+70
 Material : IN SITU
 Prof (m.) : 1.50 mts.

Compactación

Prueba N°	1	2	3	4	5
Número de capas	5	5	5	5	5
Número de golpes	25	25	25	25	25
Peso suelo + molde (gr.)	5857	5959	6014	6004	5985
Peso molde (gr.)	4124	4124	4124	4124	4124
Peso suelo compactado (gr.)	1733	1835	1890	1880	1861
Volumen del molde (cm ³)	944	944	944	944	944
Densidad húmeda (gr/cm ³)	1.836	1.944	2.002	1.992	1.971

Humedad (%)

Tara N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Tara + suelo húmedo (gr.)	142.10	174.50	134.40	154.80	132.30	149.20	125.40	161.70	113.80	162.50
Tara + suelo seco (gr.)	126.20	153.90	118.30	136.20	114.90	128.90	108.40	137.80	97.90	137.60
Peso de agua (gr.)	15.90	20.60	16.10	18.60	17.40	20.30	17.00	23.90	15.90	24.90
Peso de tara (gr.)	28.00	27.40	28.40	28.50	27.60	28.60	28.80	28.80	27.50	28.00
Peso de suelo seco (gr.)	98.20	126.50	89.90	107.70	87.30	100.30	79.60	109.00	70.40	109.60
Humedad (%)	16.2	16.3	17.9	17.3	19.9	20.2	21.4	21.9	22.6	22.7
Humedad promedio (%)	16.2		17.6		20.1		21.6		22.7	
Densidad Seca (gr/cm ³)	1.579		1.653		1.667		1.637		1.607	



Máxima Densidad Seca (gr/cm ³)	: 1.677
Óptimo Contenido de Humedad (%)	: 19.20

Tabla 92. Resultados de Ensayo de CBR calicata C-4

ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR) A.A.S.H.T.O. T 193 - A.S.T.M. D 1883 - NTP 339.145										
COMPACTACIÓN C B R										
NÚMERO MOLDE	1			2			3			
Altura Molde (mm)	126			126			126			
Nº Capas	5			5			5			
NºGolpes x Capa	13			27			56			
Condición de Muestra	ANTES DE EMPAPAR		DESPUÉS	ANTES DE EMPAPAR		DESPUÉS	ANTES DE EMPAPAR		DESPUÉS	
P. Húmedo + Molde	11296.0		11842.0	10408.0		11307.0	12001.0		12645.0	
Peso Molde (gr)	7803.0		7803.0	6612.0		6612.0	7732.0		7732.0	
Peso Húmedo (gr)	3493.0		4039.0	3796.0		4695.0	4269.0		4913.0	
Volumen del Molde (cm3)	2286.00		2286.00	2346.00		2346.00	2228.00		2228.00	
Densidad Húmeda (gr/cm3)	1.528		1.767	1.618		2.001	1.916		2.205	
Número de Ensayo	1-A	1-B	1-C	2-A	2-B	2-C	3-A	3-B	3-C	
P.Húmedo + Tara	767.00	784.00	792.00	731.00	808.00	771.00	791.00	782.00	761.00	
Peso Seco + Tara	655.50	667.80	609.70	627.00	693.50	601.20	679.30	675.60	599.90	
Peso Agua (gr)	111.50	116.20	182.30	104.00	114.50	169.80	111.70	106.40	161.10	
Peso Tara (gr)	81.00	82.00	85.00	84.00	80.00	79.00	78.00	86.00	87.00	
P. Muestra Seca	574.50	585.80	524.70	543.00	613.50	522.20	601.30	589.60	512.90	
Contenido de Humedad	19.41%	19.84%	34.74%	19.15%	18.66%	32.52%	18.58%	18.05%	31.41%	
C.Humedad Promedio	19.62%		34.74%	18.91%		32.52%	18.31%		31.41%	
DENSIDAD SECA (gr/cm3)	1.277		1.311	1.361		1.510	1.620		1.678	
ENSAYO DE HINCHAMIENTO										
TIEMPO ACUMULADO		NÚMERO DE MOLDE Nº 1			NÚMERO DE MOLDE Nº 2			NÚMERO DE MOLDE Nº 3		
		LECTURA	HINCHAMIENTO		LECTURA	HINCHAMIENTO		LECTURA	HINCHAMIENTO	
(Hs)	(Días)	DEFORM.	(mm)	(%)	DEFORM.	(mm)	(%)	DEFORM.	(mm)	(%)
0	0	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00
24	1	0.150	3.810	3.02	0.120	3.048	2.42	0.040	1.016	0.81
48	2	0.170	4.318	3.43	0.140	3.556	2.82	0.050	1.270	1.01
72	3	0.190	4.826	3.83	0.160	4.064	3.23	0.080	2.032	1.61
96	4	0.210	5.334	4.23	0.180	4.572	3.63	0.110	2.794	2.22
ENSAYO CARGA - PENETRACIÓN										
PENETRACIÓN		MOLDE Nº 1			MOLDE Nº 2			MOLDE Nº 3		
		CARGA	ESFUERZO		CARGA	ESFUERZO		CARGA	ESFUERZO	
(mm)	(pulg)	KG.	(Kg/Cm2)	(Lb/Pulg2)	KG.	(Kg/Cm2)	(Lb/Pulg2)	KG.	(Kg/Cm2)	(Lb/Pulg2)
0.00	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.64	0.025	32.99	1.70	24.35	36.23	1.87	26.74	39.06	2.02	28.84
1.27	0.050	37.84	1.96	27.94	41.89	2.16	30.93	46.34	2.40	34.21
1.91	0.075	42.30	2.19	31.23	47.15	2.44	34.81	52.41	2.71	38.70
2.54	0.100	45.94	2.37	33.92	51.20	2.65	37.80	57.27	2.96	42.28
3.18	0.125	49.18	2.54	36.31	55.25	2.86	40.79	60.51	3.13	44.67
3.81	0.150	52.41	2.71	38.70	57.68	2.98	42.58	63.34	3.27	46.77
4.45	0.175	54.03	2.79	39.89	59.70	3.09	44.08	65.37	3.38	48.26
5.08	0.200	56.46	2.92	41.68	61.32	3.17	45.27	67.39	3.48	49.75
7.62	0.300	62.13	3.21	45.87	66.18	3.42	48.86	72.25	3.73	53.34
10.16	0.400	66.58	3.44	49.16	68.61	3.55	50.65	75.49	3.90	55.73
12.70	0.500	68.61	3.55	50.65	71.44	3.69	52.74	77.51	4.01	57.23

Figura 53. Curvas Esfuerzo vs Penetración Calicata C-4

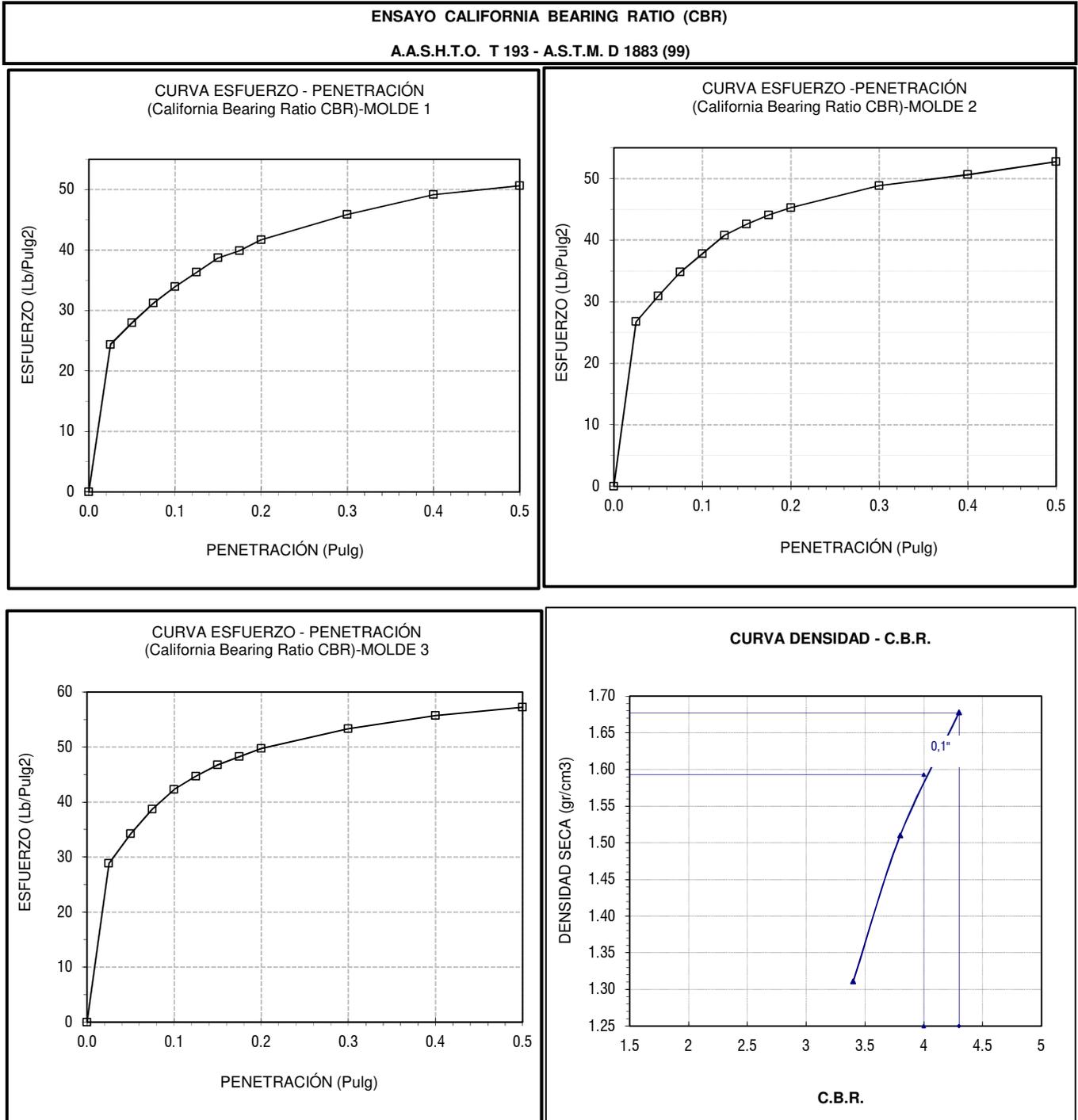


Tabla 93. Valores corregidos de Ensayo de CBR calicata C-4 al 95% de la M.D.S

MOLDE Nº	PENETRAC. (pulg)	PRESIÓN APLICADA CORREGIDA (Lb/pulg2)	PRESIÓN PATRON (Lb/pulg2)	C.B.R. %	DENSIDAD SECA (gr/cm3)
MOLDE 1	0.1	34.00	1000	3.40	1.31
MOLDE 2	0.1	38.00	1000	3.80	1.51
MOLDE 3	0.1	43.00	1000	4.30	1.68

ENSAYO PRÓCTOR MODIFICADO		VALOR RELATIVO DE SOPORTE C.B.R.	
DENSIDAD SECA MÁXIMA (gr/cm3) :	1.677	C.B.R. Para el 95% de la M.D.S. (0,1")=	4.00%
CONTENIDO DE HUMEDAD ÓPTIMO (%) :	19.20	C.B.R. Para el 100% de la M.D.S. (0,1")=	4.30%

Tabla 94. Resultados Límites de Consistencia Calicata C-5

Proyecto : "TESIS"									
Proyectista : Bach. Vásquez Agip, José Kevins									
Ensayo : LÍMITES DE CONSISTENCIA									
LÍMITE LÍQUIDO		Norma : ASTM D 4318							
LÍMITE PLÁSTICO		Norma : ASTM D 4319							
Fecha de Muestreo :		07/ 10 / 2018							
Muestreado por :		J.K.V.A							
Chequeado por :		Laboratorio de Mecánica de Suelos - UNC							
LÍMITES DE CONSISTENCIA		Ubicación : Calicata C5			Potencia : 1.50 m				
		Estrato : E1							
		LÍMITE LÍQUIDO			LÍMITE PLÁSTICO			Límites de Consistencia	
Tara Número	Unidades	1	2	3	1	2	3		
Peso Tara + Muestra Húmeda	Gr	70.30	75.50	70.00	44.00	39.40	46.20	Límite Líquido: LL =	58.02%
Peso Tara + Muestra Seca	Gr	55.80	56.80	61.20	42.70	38.50	45.60	Límite Plástico: LP =	34.18%
Peso de la Tara	Gr	40.00	35.20	40.00	40.30	35.70	41.90	Índice de Plasticidad : IP =	23.84%
Peso de la Muestra Seca	Gr	15.80	21.60	21.20	2.40	2.80	3.70	Contenido de Humedad : Wn =	29.32%
Peso del Agua	Gr	14.50	18.70	8.80	1.30	0.90	0.60	Grado de Consistencia : Kw =	1.20
Contenido de Humedad	%	91.77	86.57	41.51	54.17	32.14	16.22	Grado de Consistencia :	Media Dura , Sólida
Número de Golpes		13	19	30	Promedio :			34.18	
		LÍMITE LIQUIDO							
Calicata : C5									
Estrato : E1									
Potencia : 1.50 m									
Número de golpes	Contenido de humedad (%)								
13	91.77								
19	86.57								
30	41.51								
25	58.017								

Tabla 95. Resultados de Análisis Granulométrico por lavado Calicata C-5

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR LAVADO					Norma : NTP 339.128	
Peso Inicial de la Muestra Seca		200.00 Gr			Ubicación : C-5	
Peso de la Muestra Después del Lavado		46.80 Gr			Estrato : E-1	
Pérdida por Lavado		153.20 Gr			Potencia: 1.50 m	
Tamiz	Abertura (mm)	Retenido			% Q' Pasa	
		P.R.P. (gr)	%RP	%RA		
4	4.760	1.7	0.85	0.85	99.15	
10	2.000	1.1	0.55	1.40	98.60	
20	0.840	3.1	1.55	2.95	97.05	
30	0.590	1.20	0.60	3.55	96.45	
40	0.420	2.70	1.35	4.90	95.10	
60	0.250	8.80	4.40	9.30	90.70	
100	0.149	21.70	10.85	20.15	79.85	
200	0.074	6.50	3.25	23.40	76.60	
Pérdida por Lavado		153.20	76.60	100.00	0.00	

Tabla 96. Resultado de Clasificación de suelos según S.U.C.S de calicata C-5

Proyecto : "TESIS"	
Proyectista : Bach. Vásquez Agip, José Kevins	
Realizado por :	J.K.V.A
Chequeado por :	Laboratorio de Mecánica de Suelos - UNC
CLASIFICACIÓN DE SUELOS SEGÚN S.U.C.S	
Ubicación :	C5 Potencia : 1.50 m
Estrato :	E1
% Que Pasa la Malla N° 200	76.60 %
Límite Líquido LL =	58.02 %
Límite Plástico LP =	39.73 %
Índice de Plasticidad IP =	18.29 %
Tipo de Suelo Según su Granulometría :	Suelo Fino Alta Plasticidad
Tipo de Simbología :	Simbología Normal
Tipo de Suelo :	CH , MH , OH
Suelo :	MH,OH Indicar Tipo de Suelo : Inorgánico
Características del Suelo :	MH Son limos de alta plasticidad, con límite líquido mayor a 50 %, y se caracterizan por ser muy compresibles.

Tabla 97. Resultado de Clasificación AASHTO Calicata C-5

CLASIFICACIÓN AASHTO			
Parámetros Usados		Ubicación : C5	Potencia 1.50 m
% Que Pasa la Malla N° 200	76.60 %	Estrato : E1	
% Que Pasa la Malla N° 40	95.10 %	Determinación del Índice de Grupo IG	
% Que Pasa la Malla N° 10	98.60 %	a = 40.00	IG = 18.00
Límite Líquido LL =	58.02 %	b = 40.00	
Límite Plástico LP =	34.18 %	c = 18.02	
Índice de Plasticidad : IP =	23.84 %	d = 13.84	
Tipo de Suelo :	Material Limo Arcilloso		
Clasificación de Suelos :	A - 7		
Suelo :	A - 7 - 5 (18)		
Tipo de Material :	Suelo Arcilloso		
Terreno de Fundación :	Regular a Malo		

Tabla 98. Resultado de Ensayo de Próctor Modificado de Calicata C-5

ENSAYO DE PRÓCTOR MODIFICADO			
NORMA : NTP 339.141	Realizado por : JKV		
KM: 000+350	Fecha : '19-12-18		
CALICATA : C-5			
MUESTRA : M-5			

Datos de muestra

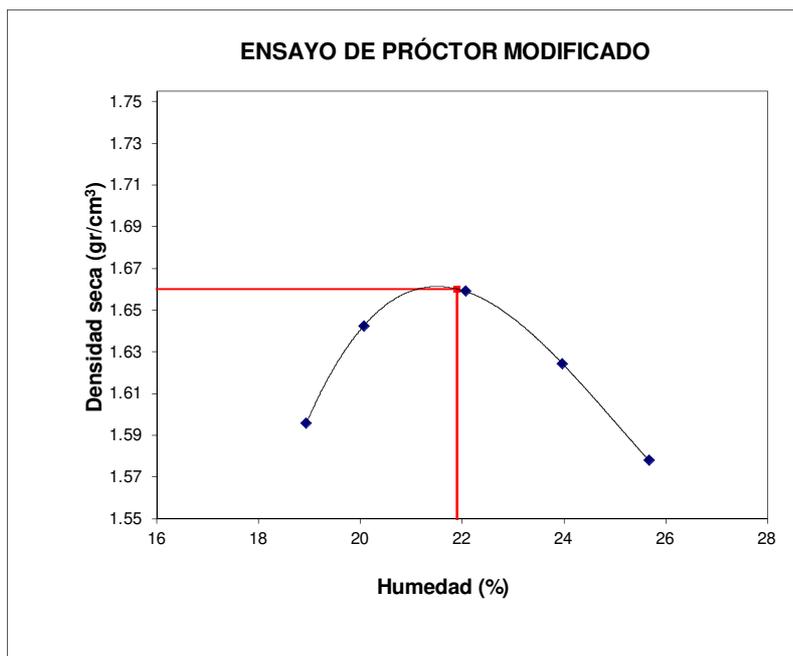
Prog. (Km.) :	000+70
Material :	IN SITU
Prof (m.) :	1.50 mts.

Compactación

Prueba N°	1	2	3	4	5
Número de capas	5	5	5	5	5
Número de golpes	25	25	25	25	25
Peso suelo + molde (gr.)	5910	5980	6030	6019	5990
Peso molde (gr.)	4124	4124	4124	4124	4124
Peso suelo compactado (gr.)	1786	1856	1906	1895	1866
Volumen del molde (cm ³)	944	944	944	944	944
Densidad húmeda (gr/cm ³)	1.892	1.966	2.019	2.007	1.977

Humedad (%)

Tara N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Tara + suelo húmedo (gr.)	90.30	96.50	110.10	120.70	115.00	125.30	95.30	108.20	132.40	127.70
Tara + suelo seco (gr.)	80.20	85.70	96.70	105.00	99.40	107.60	82.40	92.90	110.80	107.50
Peso de agua (gr.)	10.10	10.80	13.40	15.70	15.60	17.70	12.90	15.30	21.60	20.20
Peso de tara (gr.)	28.00	27.40	28.40	28.50	27.60	28.60	28.80	28.80	27.50	28.00
Peso de suelo seco (gr.)	52.20	58.30	68.30	76.50	71.80	79.00	53.60	64.10	83.30	79.50
Humedad (%)	19.3	18.5	19.6	20.5	21.7	22.4	24.1	23.9	25.9	25.4
Humedad promedio (%)	18.9		20.1		22.1		24.0		25.7	
Densidad Seca (gr/cm ³)	1.591		1.637		1.654		1.619		1.573	



Máxima Densidad Seca (gr/cm ³)	: 1.655
Óptimo Contenido de Humedad (%)	: 21.90

Tabla 99. Resultados de Ensayo de CBR calicata C-5

ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR)										
A.A.S.H.T.O. T 193 - A.S.T.M. D 1883 - NTP 339.145										
COMPACTACIÓN C B R										
NÚMERO MOLDE	1			2			3			
Altura Molde (mm)	126			126			126			
Nº Capas	5			5			5			
NºGolpes x Capa	13			27			56			
Condición de Muestra	ANTES DE EMPAPAR		DESPUÉS	ANTES DE EMPAPAR		DESPUÉS	ANTES DE EMPAPAR		DESPUÉS	
P. Húmedo + Molde	11307.0		11853.0	10419.0		11318.0	12011.0		12618.0	
Peso Molde (gr)	7803.0		7803.0	6612.0		6612.0	7732.0		7732.0	
Peso Húmedo (gr)	3504.0		4050.0	3807.0		4706.0	4279.0		4886.0	
Volumen del Molde (cm3)	2286.00		2286.00	2346.00		2346.00	2228.00		2228.00	
Densidad Húmeda (gr/cm3)	1.533		1.772	1.623		2.006	1.921		2.193	
Número de Ensayo	1-A	1-B	1-C	2-A	2-B	2-C	3-A	3-B	3-C	
P.Húmedo + Tara	766.00	786.00	794.00	733.00	900.00	773.00	793.00	784.00	763.00	
Peso Seco + Tara	645.70	659.40	604.70	620.40	763.10	596.30	672.30	666.70	597.90	
Peso Agua (gr)	120.30	126.60	189.30	112.60	136.90	176.70	120.70	117.30	165.10	
Peso Tara (gr)	81.00	82.00	85.00	84.00	80.00	79.00	78.00	86.00	87.00	
P. Muestra Seca	564.70	577.40	519.70	536.40	683.10	517.30	594.30	580.70	510.90	
Contenido de Humedad	21.30%	21.93%	36.42%	20.99%	20.04%	34.16%	20.31%	20.20%	32.32%	
C.Humedad Promedio	21.61%		36.42%	20.52%		34.16%	20.25%		32.32%	
DENSIDAD SECA (gr/cm3)	1.260		1.299	1.347		1.495	1.597		1.657	
ENSAYO DE HINCHAMIENTO										
TIEMPO ACUMULADO		NÚMERO DE MOLDE Nº 1			NÚMERO DE MOLDE Nº 2			NÚMERO DE MOLDE Nº 3		
		LECTURA	HINCHAMIENTO		LECTURA	HINCHAMIENTO		LECTURA	HINCHAMIENTO	
(Hs)	(Días)	DEFORM.	(mm)	(%)	DEFORM.	(mm)	(%)	DEFORM.	(mm)	(%)
0	0	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00
24	1	0.185	4.699	3.73	0.155	3.937	3.12	0.075	1.905	1.51
48	2	0.205	5.207	4.13	0.175	4.445	3.53	0.095	2.413	1.92
72	3	0.225	5.715	4.54	0.195	4.953	3.93	0.115	2.921	2.32
96	4	0.245	6.223	4.94	0.215	5.461	4.33	0.145	3.683	2.92
ENSAYO CARGA - PENETRACIÓN										
PENETRACIÓN		MOLDE Nº 1			MOLDE Nº 2			MOLDE Nº 3		
		CARGA	ESFUERZO		CARGA	ESFUERZO		CARGA	ESFUERZO	
(mm)	(pulg)	KG.	(Kg/Cm2)	(Lb/Pulg2)	KG.	(Kg/Cm2)	(Lb/Pulg2)	KG.	(Kg/Cm2)	(Lb/Pulg2)
0.00	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.64	0.025	32.18	1.66	23.76	33.39	1.73	24.65	35.82	1.85	26.45
1.27	0.050	37.03	1.91	27.34	39.06	2.02	28.84	43.11	2.23	31.82
1.91	0.075	41.49	2.14	30.63	44.32	2.29	32.72	49.18	2.54	36.31
2.54	0.100	45.13	2.33	33.32	48.37	2.50	35.71	54.03	2.79	39.89
3.18	0.125	48.37	2.50	35.71	52.41	2.71	38.70	57.27	2.96	42.28
3.81	0.150	51.61	2.67	38.10	54.84	2.83	40.49	60.11	3.11	44.37
4.45	0.175	53.63	2.77	39.59	56.87	2.94	41.98	62.13	3.21	45.87
5.08	0.200	55.65	2.88	41.09	58.49	3.02	43.18	64.15	3.32	47.36
7.62	0.300	61.32	3.17	45.27	63.34	3.27	46.77	69.01	3.57	50.95
10.16	0.400	65.77	3.40	48.56	65.77	3.40	48.56	72.25	3.73	53.34
12.70	0.500	67.80	3.50	50.05	68.61	3.55	50.65	74.27	3.84	54.83

Figura 54. Curvas Esfuerzo vs Penetración Calicata C-5

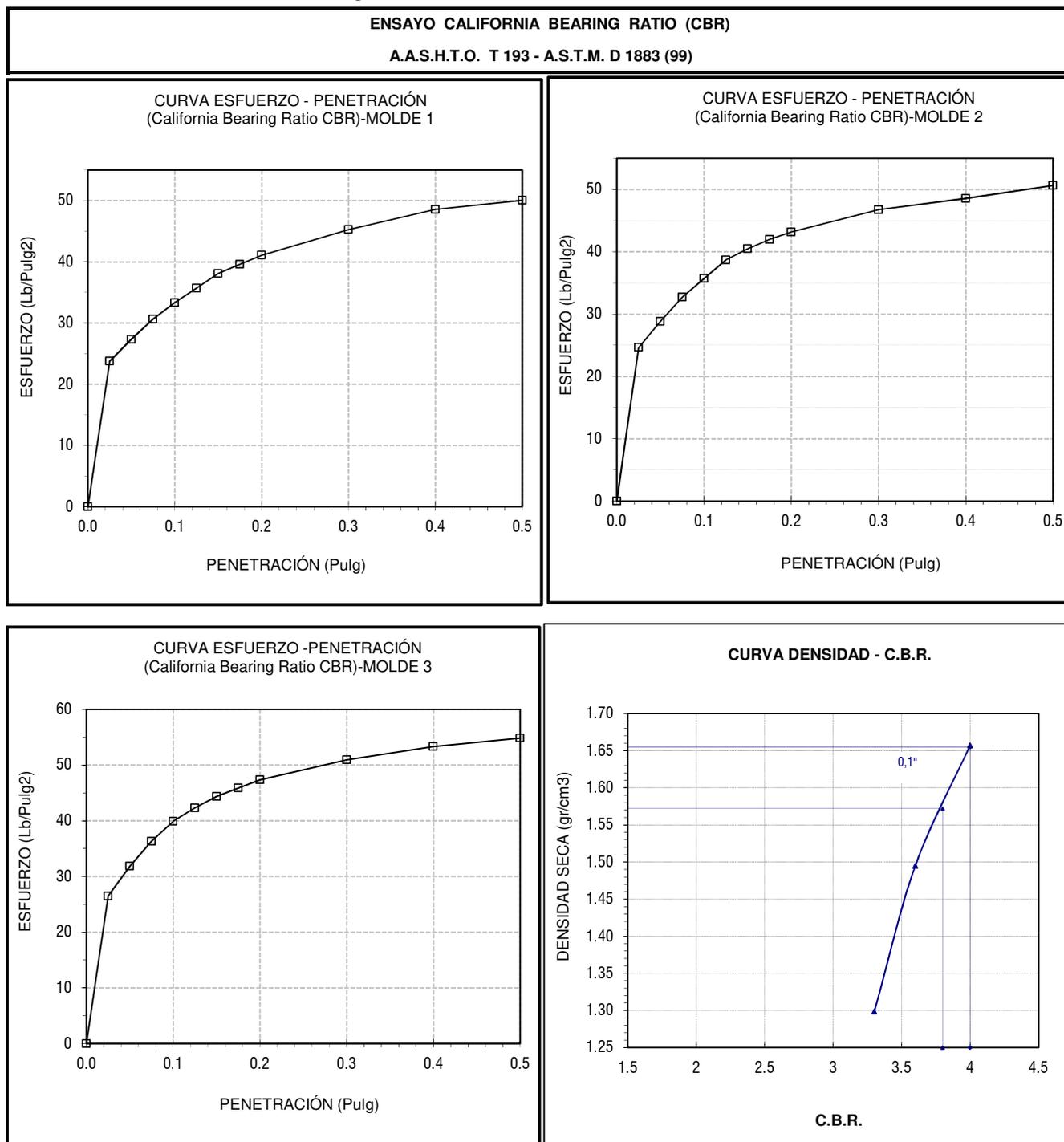


Tabla 100. Valores corregidos de Ensayo de CBR calicata C-5 al 95% de la M.D.S

MOLDE Nº	PENETRAC. (pulg)	PRESIÓN APLICADA CORREGIDA (Lb/pulg²)	PRESIÓN PATRON (Lb/pulg²)	C.B.R. %	DENSIDAD SECA (gr/cm³)
MOLDE 1	0.1	33.00	1000	3.30	1.30
MOLDE 2	0.1	36.00	1000	3.60	1.50
MOLDE 3	0.1	40.00	1000	4.00	1.66

ENSAYO PRÓCTOR MODIFICADO		VALOR RELATIVO DE SOPORTE C.B.R.	
DENSIDAD SECA MÁXIMA (gr/cm³) :	1.655	C.B.R. Para el 95% de la M.D.S. (0,1")=	3.80%
CONTENIDO DE HUMEDAD ÓPTIMO (%) :	21.90	C.B.R. Para el 100% de la M.D.S. (0,1")=	4.00%

Tabla 101. Resultados Límites de Consistencia Calicata C-6

Proyecto : "TESIS"									
Proyectista : Bach. Vásquez Agip, José Kevins									
Ensayo : LÍMITES DE CONSISTENCIA									
LÍMITE LÍQUIDO		Norma : ASTM D 4318							
LÍMITE PLÁSTICO		Norma : ASTM D 4319							
Fecha de Muestreo :		07/ 10 / 2018							
Muestreado por :		J.K.V.A							
Chequeado por :		Laboratorio de Mecánica de Suelos - UNC							
LÍMITES DE CONSISTENCIA		Ubicación : Calicata C6			Potencia : 1.50 m				
		Estrato : E1							
		LÍMITE LÍQUIDO			LÍMITE PLÁSTICO			Límites de Consistencia	
Tara Número	Unidades	1	2	3	1	2	3		
Peso Tara + Muestra Húmeda	Gr	67.30	68.00	72.00	43.80	39.50	46.20	Límite Líquido: LL = 53.50%	
Peso Tara + Muestra Seca	Gr	55.80	56.80	61.20	42.70	38.50	45.60	Límite Plástico: LP = 32.59%	
Peso de la Tara	Gr	40.00	35.20	40.00	40.30	35.70	41.90	Índice de Plasticidad : IP = 20.92%	
Peso de la Muestra Seca	Gr	15.80	21.60	21.20	2.40	2.80	3.70	Contenido de Humedad : Wn = 27.03%	
Peso del Agua	Gr	11.50	11.20	10.80	1.10	1.00	0.60	Grado de Consistencia : Kw = 1.27	
Contenido de Humedad	%	72.78	51.85	50.94	45.83	35.71	16.22	Grado de Consistencia : Media Dura , Sólida	
Número de Golpes		13	20	32	Promedio : 32.59				
		LÍMITE LIQUIDO							
Calicata : C6									
Estrato : E1									
Potencia : 1.50 m									
Número de golpes	Contenido de humedad (%)								
13	72.78								
20	51.85								
32	50.94								
25	53.504								

Tabla 102. Resultados de Análisis Granulométrico por lavado Calicata C-6

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR LAVADO					Norma : NTP 339.128	
Peso Inicial de la Muestra Seca :		200.00 Gr			Ubicación : C-6	
Peso de la Muestra Despues del Lavado :		70.80 Gr			Estrato : E-1	
Pérdida por Lavado :		129.20 Gr			Potencia: 1.50 m	
Tamiz	Abertura (mm)	Retenido			% Q' Pasa	
		P.R.P. (gr)	%RP	%RA		
4	4.760	4.7	2.35	2.35	97.65	
10	2.000	4.1	2.05	4.40	95.60	
20	0.840	6.1	3.05	7.45	92.55	
30	0.590	4.20	2.10	9.55	90.45	
40	0.420	5.70	2.85	12.40	87.60	
60	0.250	11.80	5.90	18.30	81.70	
100	0.149	24.70	12.35	30.65	69.35	
200	0.074	9.50	4.75	35.40	64.60	
Pérdida por Lavado		129.20	64.60	100.00	0.00	
					ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO	

Tabla 103. Resultado de Clasificación de suelos según S.U.C.S de calicata C-6

Proyecto : "TESIS"	
Proyectista : Bach. Vásquez Agip, José Kevins	
Realizado por :	J.K.V.A
Chequeado por :	Laboratorio de Mecánica de Suelos - UNC
CLASIFICACIÓN DE SUELOS SEGÚN S.U.C.S	
Ubicación :	C6 Potencia : 1.50 m
Estrato :	E1 Norma : NTP 339.134
% Que Pasa la Malla N° 200	64.60 %
Límite Líquido LL =	53.50 %
Límite Plástico LP =	32.59 %
Índice de Plasticidad IP =	20.92 %
Tipo de Suelo Según su Granulometría :	Suelo Fino Alta Plasticidad
Tipo de Simbología :	Simbología Normal
Tipo de Suelo :	CH , MH , OH
Suelo :	MH,OH Indicar Tipo de Suelo :
Caractrísticas del Suelo :	MH Son arcillas de alta plasticidad, con límite líquido mayor a 50 %, y se caracterizan por ser muy compresibles.

Tabla 104. Resultado de Clasificación AASHTO Calicata C-6

CLASIFICACIÓN AASHTO		
Parámetros Usados	Ubicación : C6	Potencia 1.50 m
% Que Pasa la Malla N° 200	64.60 %	Estrato : E1
% Que Pasa la Malla N° 40	87.60 %	Determinación del Índice de Grupo IG
% Que Pasa la Malla N° 10	95.60 %	a = 29.60 IG = 13.00
Límite Líquido LL =	53.50 %	b = 40.00
Límite Plástico LP =	32.59 %	c = 13.50
Índice de Plasticidad : IP =	20.92 %	d = 10.92
Tipo de Suelo :	Material Limo Arcilloso	
Clasificación de Suelos :	A - 7	
Suelo :	A - 7 - 5 (13)	
Tipode Material :	Suelo Arcilloso	
Terreno de Fundación :	Regular a Malo	

Tabla 105. Resultado de Ensayo de Próctor Modificado de Calicata C-6

ENSAYO DE PRÓCTOR MODIFICADO			
NORMA : NTP 339.141	Realizado por : JKV		
KM: 000+420	Fecha : '19-12-18		
CALICATA : C-6			
MUESTRA : M-6			

Datos de muestra

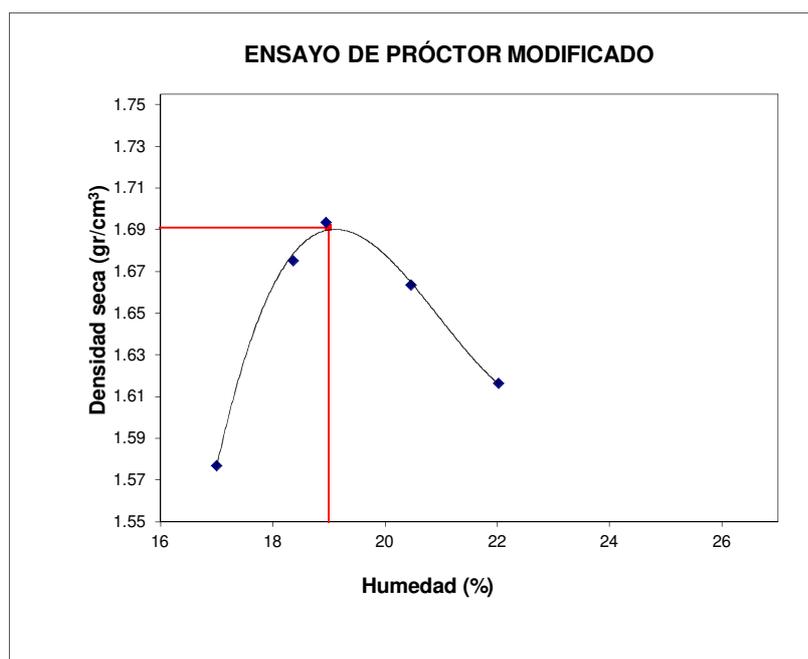
Prog. (Km.) : 000+70
 Material : IN SITU
 Prof (m.) : 1.50 mts.

Compactación

Prueba N°	1	2	3	4	5
Número de capas	5	5	5	5	5
Número de golpes	25	25	25	25	25
Peso suelo + molde (gr.)	5860	5990	6020	6010	5980
Peso molde (gr.)	4124	4124	4124	4124	4124
Peso suelo compactado (gr.)	1736	1866	1896	1886	1856
Volumen del molde (cm ³)	944	944	944	944	944
Densidad húmeda (gr/cm ³)	1.839	1.977	2.008	1.998	1.966

Humedad (%)

Tara N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Tara + suelo húmedo (gr.)	90.30	96.50	110.10	120.70	115.00	125.30	95.30	108.20	132.40	127.70
Tara + suelo seco (gr.)	81.30	86.40	97.60	106.20	100.80	110.20	84.10	94.60	113.90	109.30
Peso de agua (gr.)	9.00	10.10	12.50	14.50	14.20	15.10	11.20	13.60	18.50	18.40
Peso de tara (gr.)	28.00	27.40	28.40	28.50	27.60	28.60	28.80	28.80	27.50	28.00
Peso de suelo seco (gr.)	53.30	59.00	69.20	77.70	73.20	81.60	55.30	65.80	86.40	81.30
Humedad (%)	16.9	17.1	18.1	18.7	19.4	18.5	20.3	20.7	21.4	22.6
Humedad promedio (%)	17.0		18.4		19.0		20.5		22.0	
Densidad Seca (gr/cm ³)	1.572		1.670		1.688		1.659		1.611	



Máxima Densidad Seca (gr/cm ³)	: 1.686
Óptimo Contenido de Humedad (%)	: 19.00

Tabla 106. Resultados de Ensayo de CBR calcata C-6

ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR)											
A.A.S.H.T.O. T 193 - A.S.T.M. D 1883 - NTP 339.145											
COMPACTACIÓN C B R											
NÚMERO MOLDE	1			2			3				
Altura Molde (mm)	126			126			126				
Nº Capas	5			5			5				
NºGolpes x Capa	13			27			56				
Condición de Muestra	ANTES DE EMPAPAR			DESPUÉS			ANTES DE EMPAPAR			DESPUÉS	
P. Húmedo + Molde	11313.0			11859.0			10425.0			11324.0	
Peso Molde (gr)	7803.0			7803.0			6612.0			6612.0	
Peso Húmedo (gr)	3510.0			4056.0			3813.0			4712.0	
Volumen del Molde (cm3)	2286.00			2286.00			2346.00			2346.00	
Densidad Húmeda (gr/cm3)	1.535			1.774			1.625			2.009	
Número de Ensayo	1-A	1-B	1-C	2-A	2-B	2-C	3-A	3-B	3-C		
P.Húmedo + Tara	765.00	782.00	790.00	729.00	806.00	769.00	789.00	780.00	759.00		
Peso Seco + Tara	655.90	668.80	610.70	628.00	694.50	602.20	680.30	676.60	600.90		
Peso Agua (gr)	109.10	113.20	179.30	101.00	111.50	166.80	108.70	103.40	158.10		
Peso Tara (gr)	81.00	82.00	85.00	84.00	80.00	79.00	78.00	86.00	87.00		
P. Muestra Seca	574.90	586.80	525.70	544.00	614.50	523.20	602.30	590.60	513.90		
Contenido de Humedad	18.98%	19.29%	34.11%	18.57%	18.14%	31.88%	18.05%	17.51%	30.76%		
C.Humedad Promedio	19.13%			34.11%			18.36%			31.88%	
DENSIDAD SECA (gr/cm3)	1.289			1.323			1.373			1.523	
ENSAYO DE HINCHAMIENTO											
TIEMPO ACUMULADO		NÚMERO DE MOLDE Nº 1			NÚMERO DE MOLDE Nº 2			NÚMERO DE MOLDE Nº 3			
		LECTURA	HINCHAMIENTO		LECTURA	HINCHAMIENTO		LECTURA	HINCHAMIENTO		
(Hs)	(Días)	DEFORM.	(mm)	(%)	DEFORM.	(mm)	(%)	DEFORM.	(mm)	(%)	
0	0	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00	
24	1	0.140	3.556	2.82	0.120	3.048	2.42	0.030	0.762	0.60	
48	2	0.160	4.064	3.23	0.140	3.556	2.82	0.040	1.016	0.81	
72	3	0.180	4.572	3.63	0.160	4.064	3.23	0.070	1.778	1.41	
96	4	0.200	5.080	4.03	0.180	4.572	3.63	0.090	2.286	1.81	
ENSAYO CARGA - PENETRACIÓN											
PENETRACIÓN		MOLDE Nº 1			MOLDE Nº 2			MOLDE Nº 3			
		CARGA	ESFUERZO		CARGA	ESFUERZO		CARGA	ESFUERZO		
(mm)	(pulg)	KG.	(Kg/Cm2)	(Lb/Pulg2)	KG.	(Kg/Cm2)	(Lb/Pulg2)	KG.	(Kg/Cm2)	(Lb/Pulg2)	
0.00	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
0.64	0.025	32.99	1.70	24.35	36.23	1.87	26.74	39.06	2.02	28.84	
1.27	0.050	37.84	1.96	27.94	41.89	2.16	30.93	46.34	2.40	34.21	
1.91	0.075	42.30	2.19	31.23	47.15	2.44	34.81	52.41	2.71	38.70	
2.54	0.100	45.94	2.37	33.92	51.20	2.65	37.80	57.27	2.96	42.28	
3.18	0.125	49.18	2.54	36.31	55.25	2.86	40.79	60.51	3.13	44.67	
3.81	0.150	52.41	2.71	38.70	57.68	2.98	42.58	63.34	3.27	46.77	
4.45	0.175	54.03	2.79	39.89	59.70	3.09	44.08	65.37	3.38	48.26	
5.08	0.200	56.46	2.92	41.68	61.32	3.17	45.27	67.39	3.48	49.75	
7.62	0.300	62.13	3.21	45.87	66.18	3.42	48.86	72.25	3.73	53.34	
10.16	0.400	66.58	3.44	49.16	68.61	3.55	50.65	75.49	3.90	55.73	
12.70	0.500	68.61	3.55	50.65	71.44	3.69	52.74	77.51	4.01	57.23	

Figura 55. Curvas Esfuerzo vs Penetración Calicata C-6

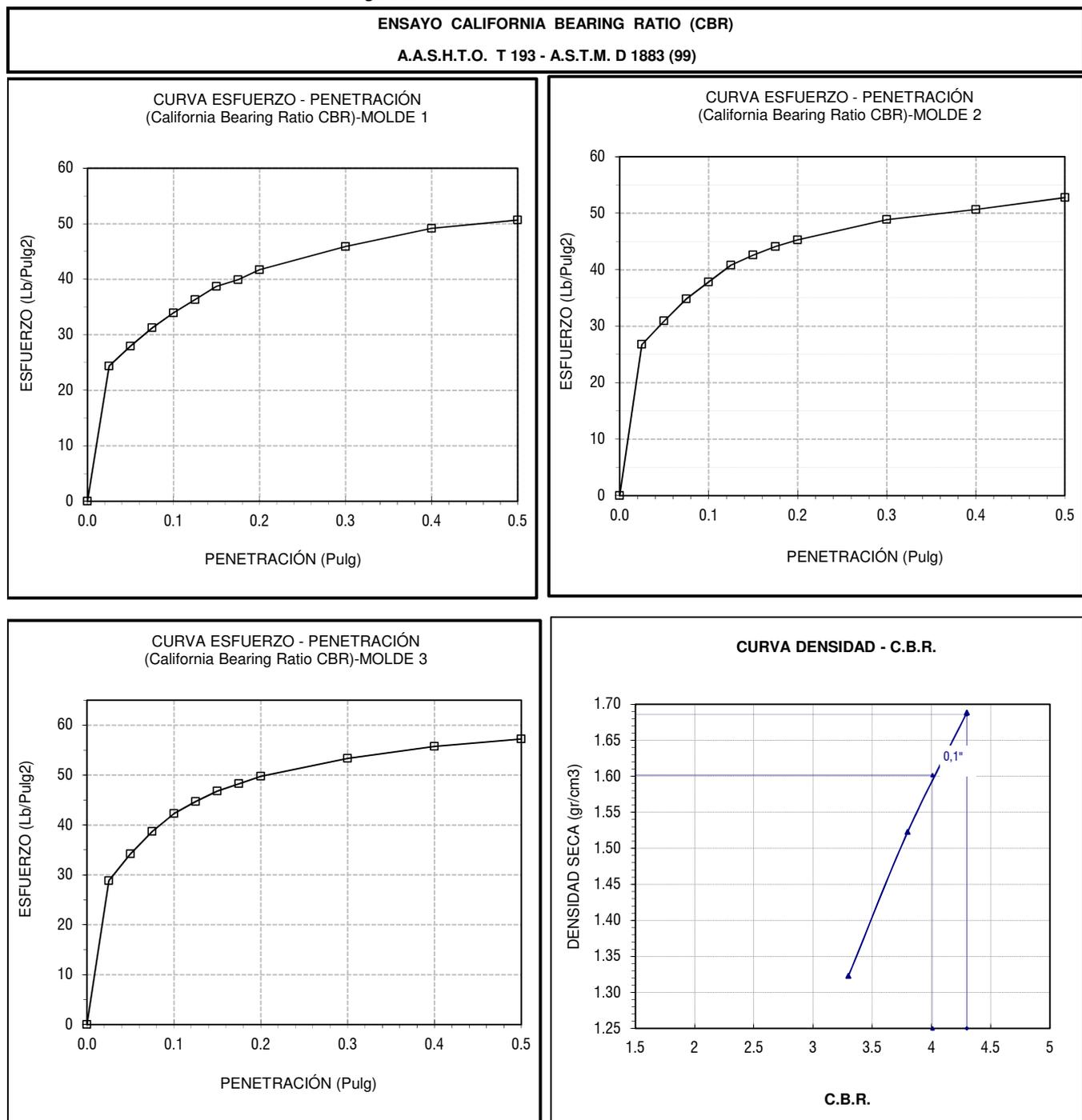


Tabla 107. Valores corregidos de Ensayo de CBR calicata C-6 al 95% de la M.D.S

MOLDE Nº	PENETRAC. (pulg)	PRESIÓN APLICADA CORREGIDA (Lb/pulg ²)	PRESIÓN PATRON (Lb/pulg ²)	C.B.R. %	DENSIDAD SECA (gr/cm ³)
MOLDE 1	0.1	33.00	1000	3.30	1.32
MOLDE 2	0.1	38.00	1000	3.80	1.52
MOLDE 3	0.1	43.00	1000	4.30	1.69

ENSAYO PRÓCTOR MODIFICADO		VALOR RELATIVO DE SOPORTE C.B.R.	
DENSIDAD SECA MÁXIMA (gr/cm ³) :	1.686	C.B.R. Para el 95% de la M.D.S. (0,1")=	4.0%
CONTENIDO DE HUMEDAD ÓPTIMO (%) :	19.00	C.B.R. Para el 100% de la M.D.S. (0,1")=	4.30%

Tabla 108. Resumen de ensayos de laboratorio Calicatas C-1...C-6

RESUMEN DE ENSAYO DE LABORATORIO

Proyecto :		"TESIS"															
Proyectista :		Bach. Vásquez Agip, José Kevins															
RESUMEN DE ENSAYOS DE LABORATORIO																	
Calicata	Estrato	Profundidad (m)	Conetnido de Humedad W (%)	Límites de Consistencia		Índice de Plasticidad IP (%)	Grado de Consistencia Kw	Granulometría			Clasificación de Suelos					CBR (%)	
				Líquido LL (%)	Plástico LP (%)			% Q que Pasa			Clasificación AASHTO			Clasificación SUCS			
								N° 10	N° 40	N° 200	Simbología	I.G.	Suelo	T. Fundación	Simbología		Descripcion
C - 1	E1	1.50	32.55	60.47	31.86	28.61	0.98	96.90	91.20	69.85	A - 7 - 5	(18.0)	Suelo Arcilloso	Regular a Malo	CH	Son arcillas de alta plasticidad, con límite líquido mayor a 50 %, y se caracterizan por ser muy compresibles.	3.15
C - 2	E1	1.50	31.59	59.89	32.94	26.95	1.05	97.10	91.65	70.60	A - 7 - 5	(18.0)	Suelo Arcilloso	Regular a Malo	MH	Son limos de alta plasticidad, con límite líquido mayor a 50 %, y se caracterizan por ser muy compresibles.	3.45
C - 3	E1	1.50	45.50	72.09	24.07	48.02	0.55	98.10	94.05	74.70	A - 7 - 6	(20.0)	Suelo Arcilloso	Regular a Malo	CH	Son arcillas de alta plasticidad, con límite líquido mayor a 50 %, y se caracterizan por ser muy compresibles.	2.50
C - 4	E1	1.50	27.52	50.96	32.14	18.82	1.25	96.30	89.35	67.30	A - 7 - 5	(12.0)	Suelo Arcilloso	Regular a Malo	MH	Son arcillas de alta plasticidad, con límite líquido mayor a 50 %, y se caracterizan por ser muy compresibles.	4.00
C - 5	E1	1.50	29.32	58.02	34.18	23.84	1.20	98.60	95.10	76.60	A - 7 - 5	(18.0)	Suelo Arcilloso	Regular a Malo	MH	Son limos de alta plasticidad, con límite líquido mayor a 50 %, y se caracterizan por ser muy compresibles.	3.80
C - 6	E1	1.50	27.03	53.50	32.59	20.92	1.27	95.60	87.60	64.60	A - 7 - 5	(13.0)	Suelo Arcilloso	Regular a Malo	MH	Son arcillas de alta plasticidad, con límite líquido mayor a 50 %, y se caracterizan por ser muy compresibles.	4.00

ESTRATIGRAFÍA DE CALICATAS

CALICATA C-1

Profundidad 0.0 (m)	Tipo de excavación	Muestra N°	Simbolo	Clasificación SUCS	Descripción visual (INSITU)
0.1	A CIELO ABIERTO	M-1		CH A-7-5(18)	Relleno sin compactar, afirmado de color marron claro, piedras de 2 a 3"
0.2					
0.3					Arcillas de alta plasticidad, con límite líquido mayor a 50%, y se caracterizan por ser muy compresibles.
0.4					
0.5					
0.6					
0.7					
0.8					
0.9					
1.0					
1.1					
1.2					
1.3					
1.4					
1.5					

CALICATA C-2

Profundidad 0.0 (m)	Tipo de excavación	Muestra N°	Simbolo	Clasificación SUCS	Descripción visual (INSITU)
0.1	A CIELO ABIERTO	M-2		MH A-7-5(18)	Relleno sin compactar, afirmado de color marron claro, piedras medianas de 2 a 3"
0.2					
0.3					Limos inorganicos de alta plasticidad, con límite líquido mayor a 50%, y se caracterizan por ser muy compresibles.
0.4					
0.5					
0.6					
0.7					
0.8					
0.9					
1.0					
1.1					
1.2					
1.3					
1.4					
1.5					

CALICATA C-3

Profundidad 0.0 (m)	Tipo de excavación	Muestra N°	Simbolo	Clasificación SUCS	Descripción visual (INSITU)
0.1	A CIELO ABIERTO	M-3		CH A-7-6(20)	Relleno sin compactar, afirmado de color marron claro, piedras medianas de 2 a 3"
0.2					
0.25					Arcillas de alta plasticidad, con límite líquido mayor a 50%, y se caracterizan por ser muy compresibles.
0.3					
0.4					
0.5					
0.6					
0.7					
0.8					
0.9					
1.0					
1.1					
1.2					
1.3					
1.4					
1.5					

CALICATA C-4

Profundidad 0.0 (m)	Tipo de excavación	Muestra N°	Simbolo	Clasificación SUCS	Descripción visual (INSITU)
0.1	A CIELO ABIERTO	M-4		MH A-7-5(12)	Relleno sin compactar, afirmado de color marron claro, piedras medianas de 2 a 3"
0.2					
0.3					Limos inorganicos de alta plasticidad, con límite líquido mayor a 50%, y se caracterizan por ser muy compresibles.
0.4					
0.5					
0.6					
0.7					
0.8					
0.9					
1.0					
1.1					
1.2					
1.3					
1.4					
1.5					

CALICATA C-5

Profundidad 0.0 (m)	Tipo de excavación	Muestra N°	Simbolo	Clasificación SUCS	Descripción visual (INSITU)
0.1	A CIELO ABIERTO	M-5		MH A-7-5(18)	Relleno sin compactar, afirmado de color marron claro, piedras medianas de 2 a 3"
0.2					
0.3					Limos inorganicos de alta plasticidad, con límite líquido mayor a 50%, y se caracterizan por ser muy compresibles.
0.4					
0.5					
0.6					
0.7					
0.8					
0.9					
1.0					
1.1					
1.2					
1.3					
1.4					
1.5					

CALICATA C-6

Profundidad 0.0 (m)	Tipo de excavación	Muestra N°	Simbolo	Clasificación SUCS	Descripción visual (INSITU)
0.1	A CIELO ABIERTO	M-6		MH A-7-5(13)	Relleno sin compactar, afirmado de color marron claro, piedras medianas de 2 a 3"
0.2					
0.3					Limos inorganicos de alta plasticidad, con límite líquido mayor a 50%, y se caracterizan por ser muy compresibles.
0.4					
0.5					
0.6					
0.7					
0.8					
0.9					
1.0					
1.1					
1.2					
1.3					
1.4					
1.5					

Fuente: Elaboración propia

	UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA Facultad de Ingeniería Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil	
	TESIS: "COMPARACIÓN ENTRE EL DISEÑO DE PAVIMENTO RÍGIDO Y FLEXIBLE REFORZADOS CON GEOMALLA BIAXIAL EN LA PAVIMENTACIÓN DE LA AV. PERÚ DE LA CIUDAD DE CHOTA-CAJAMARCA"	LAMINA N°:
	PLANO: ESTRATIGRAFIA DE CALICATAS	00
	TESISTA: VÁSQUEZ AGIP, José Kevins	ESCALA: 1/20
ASESOR:	ING. EVER RODRÍGUEZ GUEVARA	

ANEXO III:

**ILUSTRACIONES DEL DESARROLLO
DE LA TESIS**

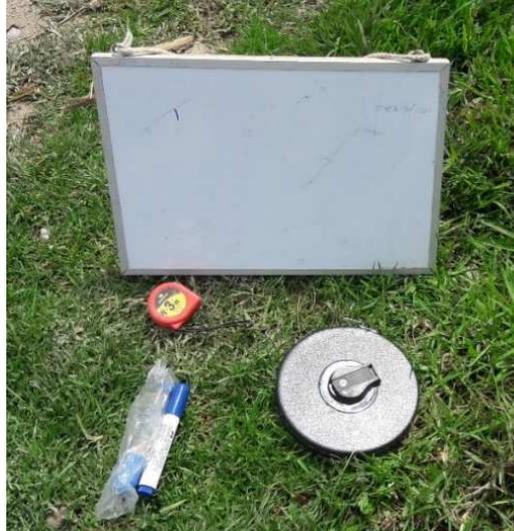


Figura 56. Instrumentos para la toma de datos de campo (Calicatas)



Figura 57. Medicación de tramos cada 70 m para ubicación de Calicatas



Figura 58. Realización de calicata N° 1



Figura 59. Realización de calicata N° 2



Figura 60. Realización de calicata N° 3



Figura 61. Realización de calicata N° 4



Figura 62. Realización de calicata N° 5



Figura 63. Realización de calicata N° 6



Figura 64. Peso de muestra para realizar el ensayo de análisis granulométrico por lavado



Figura 65. Vertido de la muestra para lavado



Figura 66. Realización del lavado de la muestra



Figura 67. Muestra lavada para su posterior secado



Figura 68. Tamizado de la muestra por las mallas correspondientes para el ensayo de granulometría





Figura 71. Limite liquido



Figura 72. Peso de cada una de las muestras para el ensayo de compactación



Figura 73. Muestra para realización del ensayo de compactación



Figura 69. Ensayo de limite líquido y plástico



Figura 70. Peso de muestras en tara



Figura 74. Mezclado de cada una de las muestras con su respectivo porcentaje de agua



Figura 75. Llenado del molde por capas y compactación de la misma con su respectivo número de golpes



Figura 76. Enrazado de la muestra en el molde



Figura 77. Materiales para el ensayo de CBR



Figura 78. Moldes para el ensayo de CBR



Figura 79. Peso del molde



Figura 80. Agregando el porcentaje de agua necesaria a la muestra



Figura 82. Compactación por capas según el número de golpes



Figura 81. Enrazado de muestra compactada



Figura 83. Peso de muestra compactada más molde



Figura 84. Muestras preparadas para Hinchamiento.



Figura 85. Muestras colocadas en el agua 4 días



Figura 88. Moldes listos para la prueba de Penetración



Figura 86. Lecturas del deformímetro debido al hinchamiento



Figura 89. Máquina para realizar la prueba de penetración



Figura 87. Toma de lecturas de hinchamiento



Figura 90. Realización de prueba de penetración calicata N°1



Figura 91. Realización de prueba de penetración calicata N°5

ANEXO IV:

FICHA TÉCNICA DE GEOMALLA

BIAXIAL BX-1200

TeknöGrid BX-1200

TeknöGrid BX-1200 es una Geomalla Biaxial, fabricada en polipropileno, desarrolladas para interactuar con suelos granulares, que proporcionan un aporte que mejora las propiedades mecánicas de las estructuras de suelo, dado el adecuado tamaño de sus aberturas y su gran resistencia junto con su alto módulo de deformación.

CARACTERISTICAS GENERALES:

1. Alta resistencia a la tensión.
2. Alto módulo de deformación.
3. Gran resistencia disponible a largo plazo.
4. Excelente interacción con el suelo.

CAMPOS DE APLICACIÓN:

Estabilización de subrasantes y refuerzo de bases en:

- Vías pavimentadas, vías no pavimentadas, Caminos, Vías para ferrocarriles.
- Diques, Edificaciones.
- Plataformas industriales, portuarias, aeroportuarias.
- Locaciones petroleras.

CARACTERISTICAS	METODO DE ENSAYO	UNIDADES	VALOR PROM.TIPICO
Resistencia Tensión Longitudinal	ASTM D 6637	kN/m	20
Resistencia Tensión Transversal	ASTM D 6637	kN/m	20
Elongación Longitudinal		%	16,1
Elongación Transversal		%	13,5
Resistencia a la Deformación al 2%	ASTM D 6637	kN/m	8,3
Resistencia a la Deformación al 5%	ASTM D 6637	kN/m	15,9

DIMENSIONES Y PRESENTACION:

Ancho x Largo:	m x m	4 x 50
Area por rollo:	m ²	200
Peso por rollo (Aprox.):	Kgs.	70
Color:		NEGRO
Procedencia:		U.S.A.

Email: gerencia@teknotech.com.ec

www.teknotech.com.ec

info@teknotech.com.ec

cyanez_gomez@hotmail.com



ANEXO V:

PUNTOS TOPOGRÁFICOS

Tabla 109. Puntos topográficos

PUNTO	ESTE	NORTE	COTA
1	757662.192	9275005.323	2261.895
2	757662.811	9275012.320	2262.321
3	757662.643	9275015.697	2262.485
4	757662.898	9275020.789	2262.793
5	757663.884	9275025.561	2263.125
6	757690.166	9275004.439	2263.131
7	757690.091	9275008.053	2263.310
8	757689.687	9275011.695	2263.612
9	757690.194	9275016.012	2263.855
10	757689.461	9275025.476	2264.522
11	757734.466	9275000.433	2264.821
12	757733.647	9275007.285	2265.342
13	757733.216	9275013.219	2265.834
14	757733.175	9275019.315	2266.285
15	757734.741	9275033.365	2267.543
16	757782.341	9275009.440	2266.232
17	757780.824	9275016.774	2266.894
18	757779.445	9275022.139	2267.112
19	757777.845	9275028.876	2267.720
20	757774.906	9275040.344	2268.840
21	757832.206	9275022.562	2266.865
22	757831.484	9275029.976	2267.232
23	757830.846	9275034.978	2267.922
24	757830.429	9275041.800	2268.935
25	757829.027	9275054.304	2270.768
26	757898.633	9275033.249	2266.895
27	757894.138	9275047.982	2268.550
28	757893.101	9275051.188	2269.000
29	757891.204	9275055.659	2269.621
30	757887.949	9275067.643	2271.112

PUNTO	ESTE	NORTE	COTA
31	757974.282	9275053.380	2268.511
32	757970.731	9275067.225	2269.565
33	757969.610	9275070.796	2269.920
34	757969.806	9275075.582	2270.312
35	757967.490	9275091.957	2271.621
36	758019.253	9275071.928	2270.268
37	758017.720	9275078.079	2270.659
38	758015.738	9275083.439	2271.112
39	758013.835	9275086.815	2271.431
40	758012.856	9275098.869	2272.320
41	758054.371	9275075.255	2271.110
42	758052.642	9275082.348	2271.421
43	758051.626	9275085.866	2271.550
44	758050.672	9275090.376	2271.815
45	758047.411	9275099.270	2272.213
46	758100.483	9275072.198	2272.100
47	758101.249	9275083.322	2272.020
48	758100.585	9275089.847	2271.905
49	758099.645	9275097.059	2271.908
50	758090.845	9275110.926	2271.897
51	758137.811	9275065.247	2273.821
52	758140.820	9275076.364	2273.301
53	758141.572	9275081.612	2273.000
54	758142.264	9275087.927	2272.703
55	758148.828	9275094.814	2272.408

Fuente: Expediente técnico (MEJORAMIENTO DEL SERVICIO DE TRANSITABILIDAD EN LA AV. PERÚ TRAMO INCA GARCILASO DE LA VEGA - CARRETERA 3N, DISTRITO DE CHOTA, PROVINCIA DE CHOTA - CAJAMARCA - ETAPA I)

ANEXO VI:

**NORMAS DE ENSAYOS DE
LABORATORIO**

7.1. NORMAS DE ENSAYOS DE LABORATORIO

Los ensayos de Laboratorio aplicables a los **EMS** con fines de pavimentación son las indicadas en la tabla.

NORMA	DENOMINACIÓN
NTP 339.126:1998	SUELOS. Métodos para la reducción de las muestras de campo a tamaños de muestras de ensayo.
NTP 339.127:1998	SUELOS. Método de ensayo para determinar el contenido de humedad del suelo.
NTP 339.128:1999	SUELOS. Método de ensayo para el análisis granulométrico.
NTP 339.132:1999	SUELOS. Método de ensayo para determinar el material que pasa el tamiz 75 μm (N° 200)
NTP 339.134:1999	SUELOS. Método para la clasificación de suelos con propósitos de ingeniería (SUCS Sistema Unificado de Clasificación de Suelos)
NTP 339.135:1999	SUELOS. Método para la clasificación de suelos para uso en vías de transporte.
NTP 339.141:1999	SUELOS. Método de ensayo para la compactación de suelos en laboratorio utilizando una energía modificada (2700 kN-m/m ³ (56000pie-lbf/pie ³))
NTP 339.145:1999	SUELOS. Método de ensayo de CBR (Relación de soporte de California) de suelos compactados en el laboratorio.

ANEXO VII:

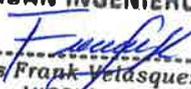
**CERTIFICADO DE ENSAYOS DE
LABORATORIO**

EL QUE SUSCRIBE LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES DE LA
EMPRESA GUERSAN INGENIEROS S.R.L

CERTIFICA

Que el bachiller en Ingeniería Civil VÁSQUEZ AGIP, JOSÉ KEVINS, identificado con DNI N°: 73112343, ex alumno de la escuela académico profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Cajamarca, ha realizado y registrado durante el periodo de noviembre – diciembre del año 2018 los ensayos necesarios para el desarrollo de la tesis titulada “COMPARACIÓN ENTRE EL DISEÑO DE PAVIMENTO RÍGIDO Y FLEXIBLE REFORZADOS CON GEOMALLA BIAXIAL EN LA PAVIMENTACIÓN DE LA AV. PERÚ DE LA CIUDAD DE CHOTA-CAJAMARCA”, en autorización de las autoridades de dicha facultad, los ensayos están registrados en este laboratorio para las consultas necesarias.

Se expide presente certificado a solicitud del interesado para los fines que crea conveniente.

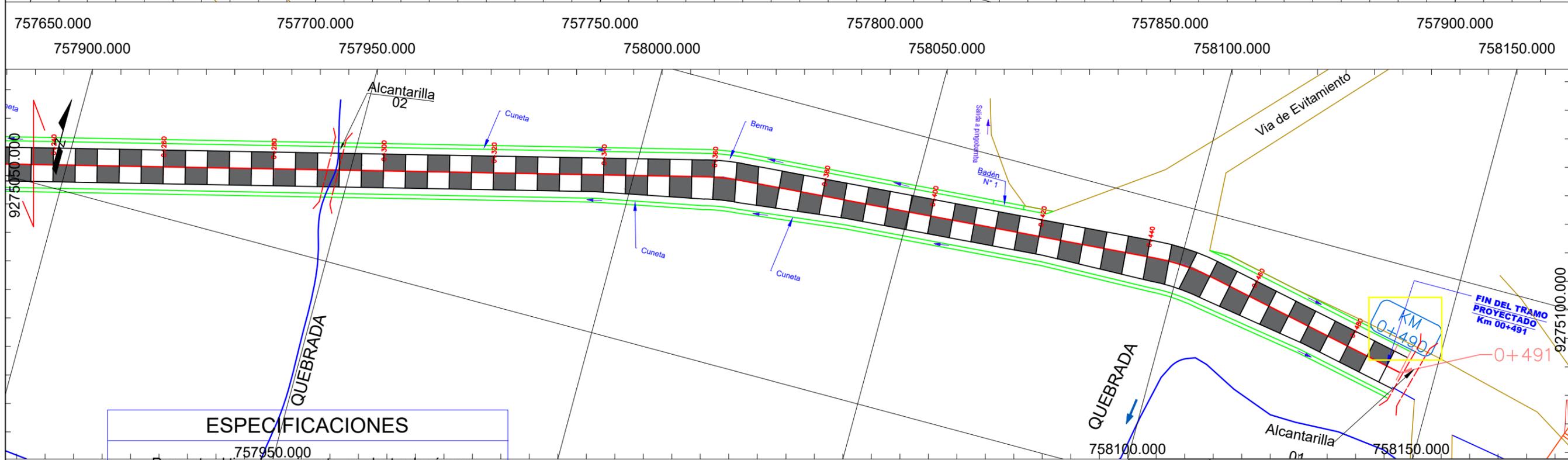
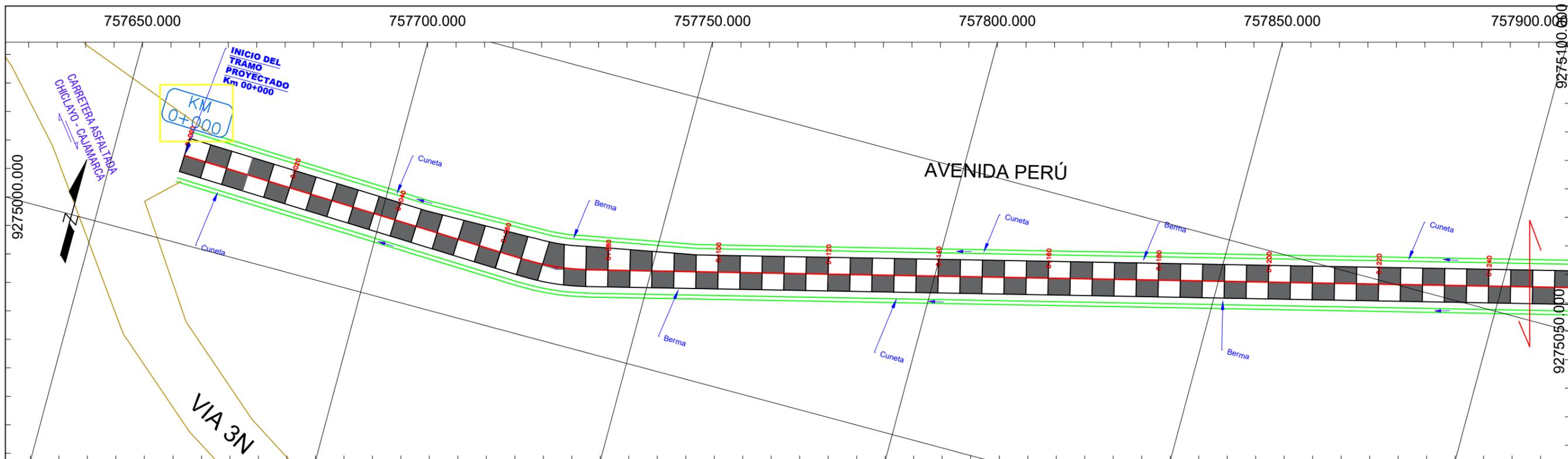
GUERSAN INGENIEROS S.R.L


Davis Frank Velásquez Hilario
INGENIERO CIVIL
CIP N° 195303

Cajamarca, diciembre de 2019

ANEXO VIII:

PLANOS ILUSTRATIVOS



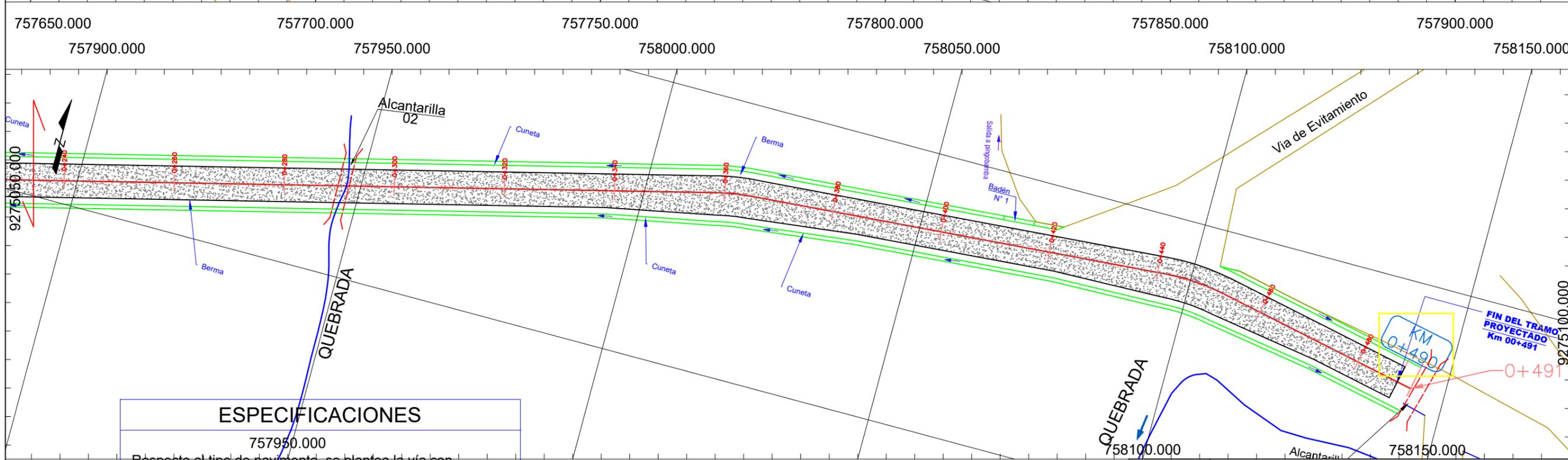
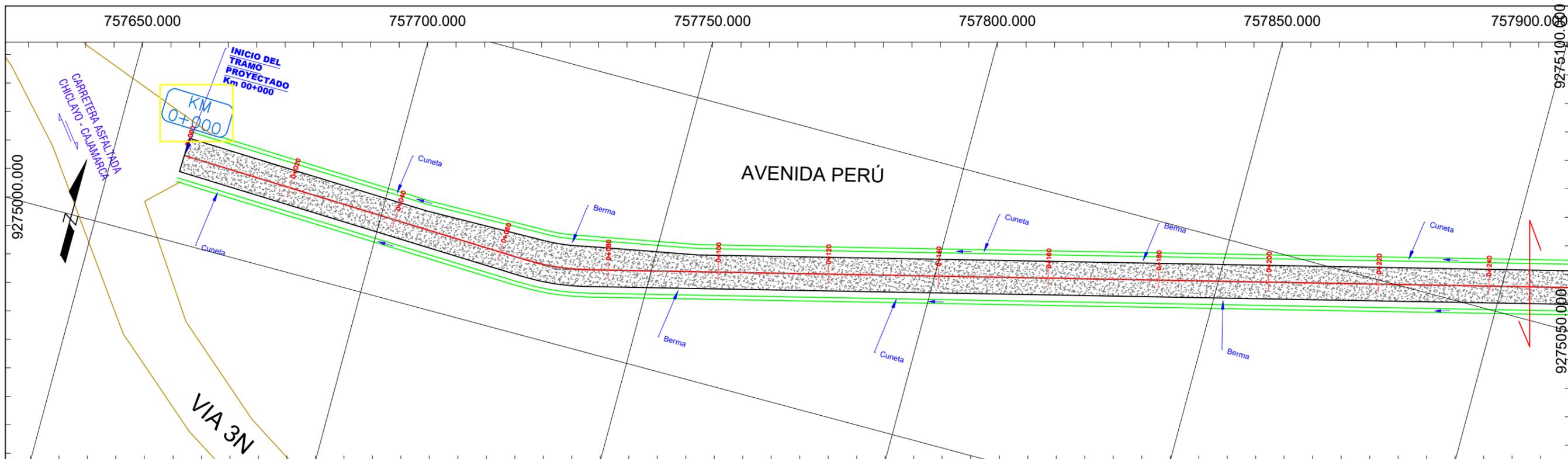
ESPECIFICACIONES

Respecto al tipo de pavimento, se plantea la vía con pavimento rígido de $f_c=210\text{kg/cm}^2$. La calzada está conformada por 02 carriles de 3.30 m. de ancho, teniendo en cuenta además el incremento de sobrancho (S/A) en curvas según lo indicado.

Las bermas serán de concreto hidráulico $f_c=175\text{kg/cm}^2$ +25% de piedra mediana.

Fuente: Elaboración propia

	UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA Facultad de Ingeniería Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil	LAMINA N°: P-01
	TESIS: "COMPARACIÓN ENTRE EL DISEÑO DE PAVIMENTO RÍGIDO Y FLEXIBLE REFORZADOS CON GEOMALLA BIAJIAL EN LA PAVIMENTACIÓN DE LA AV. PERÚ DE LA CIUDAD DE CHOTA-CAJAMARCA"	
	PLANO: PLANTA PAVIMENTO RÍGIDO TESISISTA: VÁSQUEZ AGIP, José Kevins	
ASESOR : ING. EVER RODRÍGUEZ GUEVARA		ESCALA: 1/750



ESPECIFICACIONES

757950.000

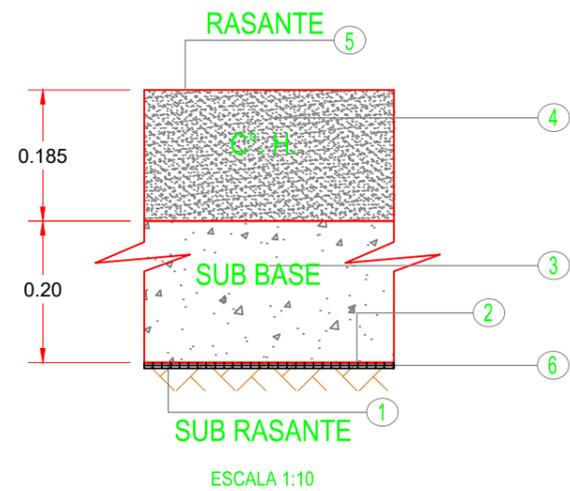
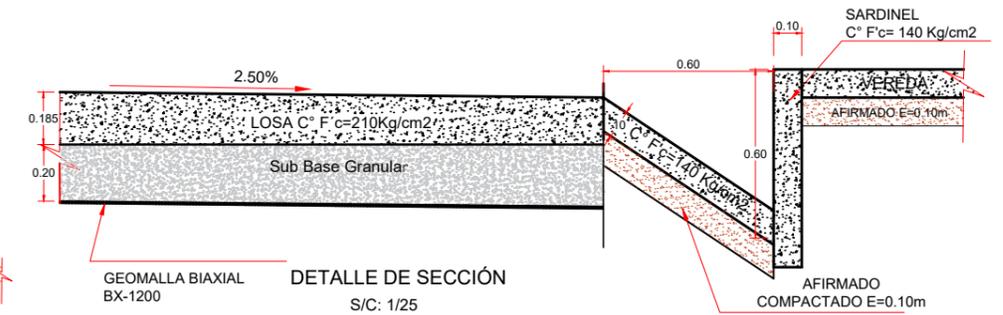
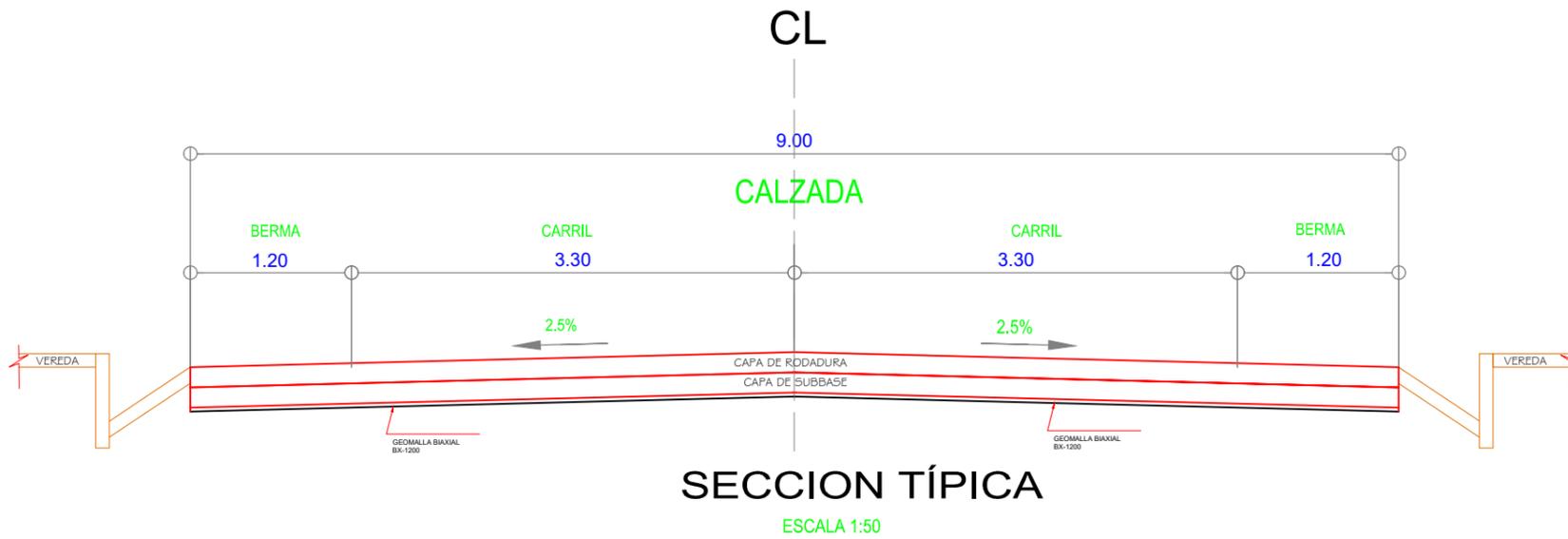
Respecto al tipo de pavimento, se plantea la vía con pavimento flexible, mezcla en caliente. La calzada está conformada por 02 carriles de 3.30 m. de ancho, teniendo en cuenta además el incremento de sobreebanco (S/A) en curvas según lo indicado.

Las bermas serán de asfalto.

758000.000 758050.000

Fuente: Elaboración propia

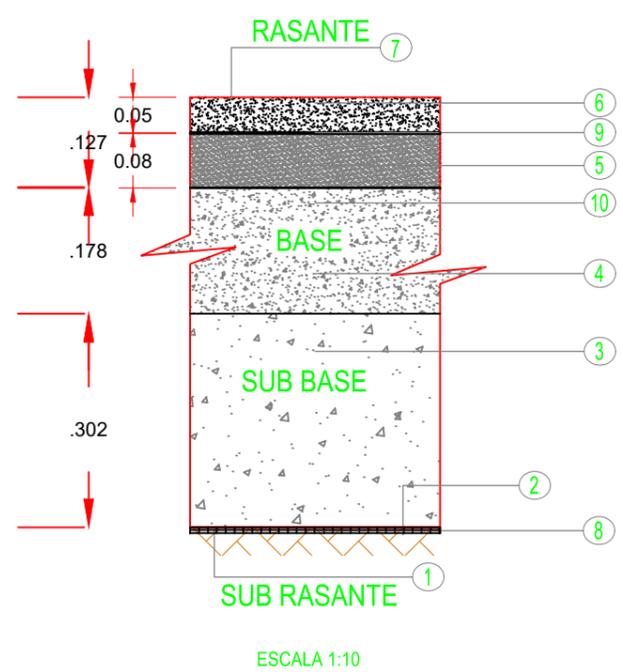
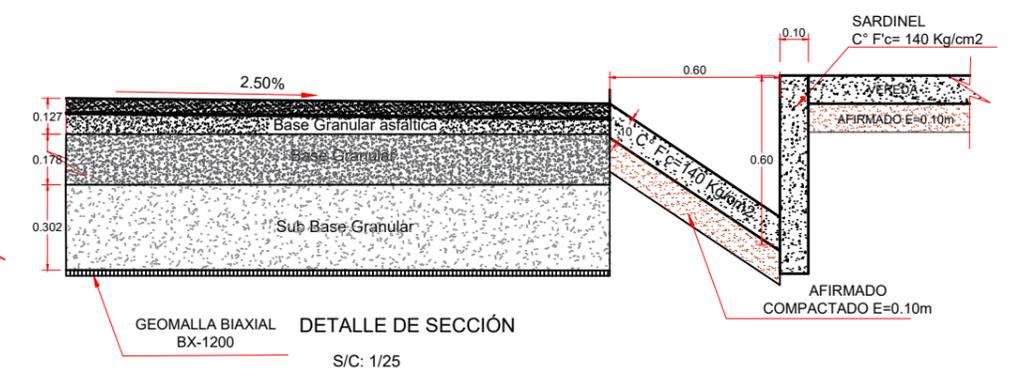
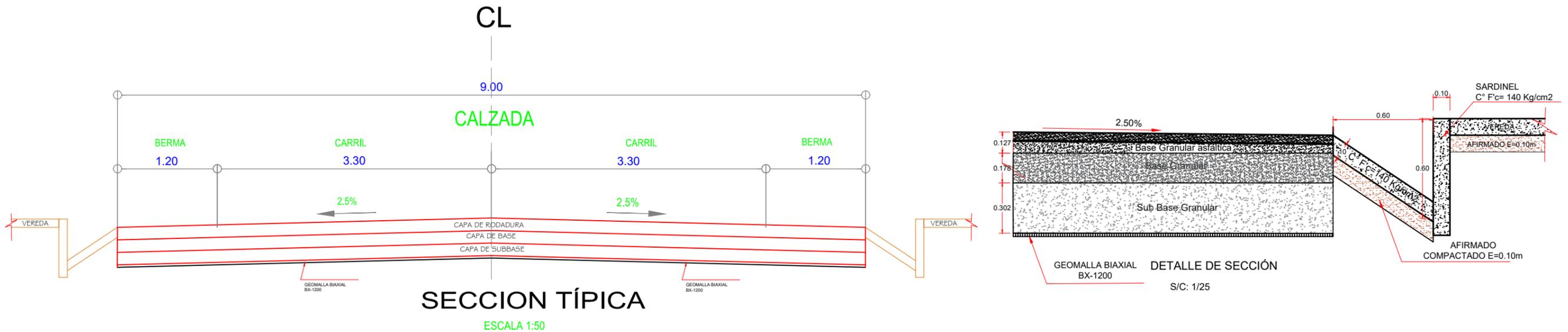
	UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA Facultad de Ingeniería Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil		LAMINA N°: P-02
	TESIS: "COMPARACIÓN ENTRE EL DISEÑO DE PAVIMENTO RÍGIDO Y FLEXIBLE REFORZADOS CON GEOMALLA BIAJIAL EN LA PAVIMENTACIÓN DE LA AV. PERÚ DE LA CIUDAD DE CHOTA-CAJAMARCA"		
	PLANO: PLANTA PAVIMENTO FLEXIBLE TESISISTA: VÁSQUEZ AGIP, José Kevins		
ASESOR :		ING. EVER RODRÍGUEZ GUEVARA	
ESCALA: 1/750			



- ① *SUB-RASANTE.
- ② *PERFILADO Y COMPACTACION DE LA PLATAFORMA A NIVEL DE LA SUB- RASANTE, CONSIDERANDO LOS SOBREANCHOS Y NIVELES DE BOMBEO Y/O PERALTES CORRESPONDIENTES.
- ③ *SUB-BASE GRANULAR, ESPESOR DE 20 cm.
- ④ *CONCRETO HIDRÁULICO $f_c = 210 \text{ kg/km}^2$.
- ⑤ *RASANTE.
- ⑥ *GEOMALLA BIAIXIAL BX-1200 $e=1.27\text{mm}$.

Fuente: Elaboración propia

	UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA Facultad de Ingeniería Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil	
	TESIS: "COMPARACIÓN ENTRE EL DISEÑO DE PAVIMENTO RÍGIDO Y FLEXIBLE REFORZADOS CON GEOMALLA BIAIXIAL EN LA PAVIMENTACIÓN DE LA AV. PERÚ DE LA CIUDAD DE CHOTA-CAJAMARCA"	LAMINA Nº:
	PLANO: SECCIÓN TÍPICA DE PAVIMENTO RÍGIDO	S-01
	TESISTA: VÁSQUEZ AGIP, José Kevins	ASESOR:
ING. EVER RODRÍGUEZ GUEVARA		ESCALA: IND.



- ① *SUB-RASANTE.
- ② *PERFILADO Y COMPACTACION DE LA PLATAFORMA A NIVEL DE LA SUB- RASANTE, CONSIDERANDO LOS SOBREANCHOS Y NIVELES DE BOMBEO Y/O PERALTES CORRESPONDIENTES.
- ③ *SUB-BASE GRANULAR, ESPESOR DE 30.2 cm.
- ④ *BASE GRANULAR, ESPESOR DE 17.8 cm.
- ⑤ *BASE GRANULAR ASFALTICA (Base Negra).
- ⑥ *CARPETA DE CONCRETO ASFALTICO.
- ⑦ *RASANTE.
- ⑧ *GEOMALLA BIAXIAL BX-1200 e=1.27mm.
- ⑨ *RIEGO DE LIGA ER1 (0.5 lts/m²).
- ⑩ *IMPRIMACION CON EBRL (1.50 lts/m²)+RIEGO DE LIGA.

Fuente: Elaboración propia

	UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA Facultad de Ingeniería Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil	
	TESIS: "COMPARACIÓN ENTRE EL DISEÑO DE PAVIMENTO RÍGIDO Y FLEXIBLE REFORZADOS CON GEOMALLA BIAXIAL EN LA PAVIMENTACIÓN DE LA AV. PERÚ DE LA CIUDAD DE CHOTA-CAJAMARCA"	LAMINA N°: S-02
	PLANO: SECCIÓN TÍPICA DE PAVIMENTO FLEXIBLE TESISISTA: VÁSQUEZ AGIP, José Kevins	
ASESOR :	ING. EVER RODRÍGUEZ GUEVARA	ESCALA: IND.

ANEXO IX:

**ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS
PARA PAVIMENTO RIGIDO Y FLEXIBLE
REFORZADOS CON GEOMALLA
BIAXIAL BX-1200**

Análisis de precios unitarios

Presupuesto	0502001 PAVIMENTO RÍGIDO REFORZADO CON GEOMALLA BIAIXIAL BX-1200						
Subpresupuesto	001 PAVIMENTO RÍGIDO						
Partida	01.01.01 TRAZO Y REPLANTEO						
Rendimiento	m2/DIA	500.0000	EQ. 500.0000	Costo unitario directo por : m2	1.45		
Código	Descripción Recurso		Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.
	Mano de Obra						
014700032	TOPOGRAFO		hh	1.0000	0.0160	26.42	0.42
014701004	PEON		hh	1.0000	0.0160	16.76	0.27
	Materiales						
021355003	ESMALTE		gal		0.0030	35.00	0.11
022906006	YESO EN BOLSAS DE 10 kg		bls		0.0200	10.00	0.20
024401002	ESTACA DE MADERA EUCALIPTO DE 1"X2"X0.40M		u		0.0500	0.60	0.03
	Equipos						
033701001	HERRAMIENTAS MANUALES		%MO		3.0000	0.69	0.02
0349880021	ESTACION TOTAL		he	1.0000	0.0160	25.00	0.40
	0.42						
Partida	01.01.02 LIMPIEZA DE TERRENO MANUAL						
Rendimiento	m2/DIA	250.0000	EQ. 250.0000	Costo unitario directo por : m2	1.10		
Código	Descripción Recurso		Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.
	Mano de Obra						
014701004	PEON		hh	2.0000	0.0640	16.76	1.07
	Equipos						
033701001	HERRAMIENTAS MANUALES		%MO		3.0000	1.07	0.03
	0.03						
Partida	01.02.01 CORTE A NIVEL DE SUB RASANTE CON MAQUINARIA						
Rendimiento	m3/DIA	690.0000	EQ. 690.0000	Costo unitario directo por : m3	6.53		
Código	Descripción Recurso		Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.
	Mano de Obra						
014701001	CAPATAZ		hh	0.5000	0.0058	23.44	0.14
014701004	PEON		hh	2.0000	0.0232	16.76	0.39
	0.53						
	Equipos						
033701001	HERRAMIENTAS MANUALES		%MO		3.0000	0.53	0.02
0349040099	TRACTOR DE ORUGAS CAT D6 DE 140-160 HP		hm	1.0000	0.0116	317.40	3.68
0349040103	EXCAVADORA SOBRE CADENA DE 135 HP		hm	1.0000	0.0116	198.28	2.30
	6.00						
Partida	01.02.02 ELIMINACION DE MATERIAL EXCEDENTE CON MAQUINARIA D=2KM						
Rendimiento	m3/DIA	500.0000	EQ. 500.0000	Costo unitario directo por : m3	17.13		
Código	Descripción Recurso		Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.
	Mano de Obra						
014701004	PEON		hh	1.0000	0.0160	16.76	0.27
	0.27						
	Equipos						
033701001	HERRAMIENTAS MANUALES		%MO		3.0000	0.27	0.01
0348040036	CAMION VOLQUETE 15 m3		hm	4.0000	0.0640	223.42	14.30
0349040102	CARGADOR SOBRE LLANTAS 125-155 HP 3 yd3		hm	1.0000	0.0160	159.33	2.55
	16.86						
Partida	01.02.03 NIVELACION Y COMPACTACION DE SUBRASANTE CON MAQUINARIA						
Rendimiento	m2/DIA	600.0000	EQ. 600.0000	Costo unitario directo por : m2	10.03		
Código	Descripción Recurso		Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.
	Mano de Obra						
014701002	OPERARIO		hh	0.5000	0.0067	23.44	0.16
014701004	PEON		hh	4.0000	0.0533	16.76	0.89
	1.05						

	Materiales					
0239050000	AGUA		m3	0.0300	5.00	0.15
						0.15
	Equipos					
0337010001	HERRAMIENTAS MANUALES		%MO	3.0000	1.05	0.03
0348120001	CAMION CISTERNA 4 X 2 (AGUA) 1,500 gl		hm	2.0000	0.0267	135.05
0349090013	MOTONIVELADORA DE 125 HP		hm	1.2500	0.0167	185.45
0349110021	RODILLO LISO VIBRATORIO 10 - 12 TN, 70 - 100 HP		hm	1.1500	0.0153	136.62
						8.83
Partida	01.02.04	SUMINISTRO E INSTALACION DE GEOMALLA BIAXIAL BX-1200				
Rendimiento	m2/DIA	5,000.0000	EQ. 5,000.0000	Costo unitario directo por : m2		11.56
Código	Descripción Recurso		Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.
	Mano de Obra					
0147010002	OPERARIO		hh	1.0000	0.0016	23.44
0147010003	OFICIAL		hh	1.0000	0.0016	18.53
0147010004	PEON		hh	1.0000	0.0016	16.76
						0.10
	Materiales					
0200010001	GEOMALLA BIAXIAL BX-1200-30KN/M		m2	1.1000	10.42	11.46
						11.46
	Equipos					
0337010001	HERRAMIENTAS MANUALES		%MO	3.0000	0.10	
						0.00
Partida	01.02.05	COLOCACION, EXTENDIDO, COMPACTADO DE SUB BASE GRANULAR e=0.20m				
Rendimiento	m3/DIA	485.0000	EQ. 485.0000	Costo unitario directo por : m3		43.08
Código	Descripción Recurso		Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.
	Mano de Obra					
0147010001	CAPATAZ		hh	1.0000	0.0165	23.44
0147010004	PEON		hh	4.0000	0.0660	16.76
						1.50
	Materiales					
0205300040	MATERIAL AFIRMADO		m3	1.2000	28.20	33.84
0239050000	AGUA		m3	0.0300	5.00	0.15
						33.99
	Equipos					
0337010001	HERRAMIENTAS MANUALES		%MO	3.0000	1.50	0.05
0348120001	CAMION CISTERNA 4 X 2 (AGUA) 1,500 gl		hm	1.0000	0.0165	135.05
0349090013	MOTONIVELADORA DE 125 HP		hm	1.0000	0.0165	185.45
0349110021	RODILLO LISO VIBRATORIO 10 - 12 TN, 70 - 100 HP		hm	1.0000	0.0165	136.62
						2.25
						7.59
Partida	01.03.01	CONCRETO F'c=210 Kg/Cm2 E= 0.19 M, PAV.RIGIDO PISO SEMIPULIDO				
Rendimiento	m3/DIA	20.0000	EQ. 20.0000	Costo unitario directo por : m3		362.05
Código	Descripción Recurso		Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.
	Mano de Obra					
0147010002	OPERARIO		hh	4.0000	1.6000	23.44
0147010003	OFICIAL		hh	1.0000	0.4000	18.53
0147010004	PEON		hh	2.0000	0.8000	16.76
						13.41
						58.32
	Materiales					
0221010027	CONCRETO PREMEZCLADO T.1 f'c=210 kg/cm2 INCLUYE BOM		m3	1.0000	300.00	300.00
0239050000	AGUA		m3	0.0200	5.00	0.10
						300.10
	Equipos					
0337010001	HERRAMIENTAS MANUALES		%MO	3.0000	58.32	1.75
0349070004	VIBRADOR DE CONCRETO 4 HP 1.5"		hm	1.0000	0.4000	4.70
						1.88
						3.63
Partida	01.03.02	ENCOFRADO Y DESENCOFADO EN LOSA DE CONCRETO HIDRAULICO				
Rendimiento	m2/DIA	15.0000	EQ. 15.0000	Costo unitario directo por : m2		26.19
Código	Descripción Recurso		Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.
	Mano de Obra					
0147010001	CAPATAZ		hh	0.1000	0.0533	23.44
0147010002	OPERARIO		hh	1.0000	0.5333	23.44
0147010004	PEON		hh	1.0000	0.5333	16.76
						8.94
						22.69
	Materiales					
0202000008	ALAMBRE NEGRO RECOCIDO # 8		kg	0.1250	3.50	0.44

0202010002	CLAVOS PARA MADERA CON CABEZA DE 2 1/2"	kg	0.2500	3.00	0.75		
0202010005	CLAVOS PARA MADERA CON CABEZA DE 3"	kg	0.1500	3.50	0.53		
0243130019	MADERA DE TORNILLO PARA ENCOFRADO	p2	0.2000	5.50	1.10		
							2.82
	Equipos						
0337010001	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO	3.0000	22.69	0.68		
							0.68
Partida	01.03.03	CURADO CON ANTISOL EN LOSA DE CONCRETO HIDRAULICO					
Rendimiento	m2/DIA	350.0000	EQ. 350.0000	Costo unitario directo por : m2	1.48		
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	
	Mano de Obra						
0147010004	PEON	hh	1.0000	0.0229	16.76	0.38	
							0.38
	Materiales						
0253070004	CURADOR PARA CONCRETO - ANTISOL	gal		0.0313	23.97	0.75	
							0.75
	Equipos						
0337010001	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		3.0000	0.38	0.01	
0348080061	EQUIPO PULVERIZADOR (FUMIGADOR)	h	1.0000	0.0229	15.00	0.34	
							0.35
Partida	01.03.04	ACERO fy=4200 kg/cm2 GRADO 60 PARA DOWELS					
Rendimiento	kg/DIA	260.0000	EQ. 260.0000	Costo unitario directo por : kg	5.39		
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	
	Mano de Obra						
0147010001	CAPATAZ	hh	0.1000	0.0031	23.44	0.07	
0147010002	OPERARIO	hh	1.0000	0.0308	23.44	0.72	
0147010003	OFICIAL	hh	1.0000	0.0308	18.53	0.57	
							1.36
	Materiales						
0202000007	ALAMBRE NEGRO RECOCIDO # 16	kg		0.0600	2.87	0.17	
0203020003	ACERO CORRUGADO fy=4200 kg/cm2 GRADO 60	kg		1.0700	3.57	3.82	
							3.99
	Equipos						
0337010001	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		3.0000	1.36	0.04	
							0.04
Partida	01.04.01	SELLADO DE JUNTAS DE DILATACION Y CONTRACCION					
Rendimiento	m/DIA	100.0000	EQ. 100.0000	Costo unitario directo por : m	4.61		
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	
	Mano de Obra						
0147010002	OPERARIO	hh	1.0000	0.0800	23.44	1.88	
0147010004	PEON	hh	1.0000	0.0800	16.76	1.34	
							3.22
	Materiales						
0201020003	LEÑA	tercio		0.0800	5.00	0.40	
0205010005	ARENA GRUESA DE RIO	m3		0.0100	30.00	0.30	
0213000006	ASFALTO RC-250	gal		0.0400	7.33	0.29	
0229120063	TECKNOPORT E= 1"	m2		0.2500	1.20	0.30	
							1.29
	Equipos						
0337010001	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		3.0000	3.22	0.10	
							0.10

FUENTE: RENDIMIENTOS Y COSTO DE HM DE MAQUINARIA Y/EQUIPO SEGUN ESTUDIO DEFINITIVO PARA LA REHABILITACION Y MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA CHONGOYAPE-CHOTA: TRAMO COCHABAMBA -CHOTA.

Análisis de precios unitarios

Presupuesto	0502002 PAVIMENTO FLEXIBLE REFORZADO CON GEOMALLA BIAIXIAL						
Subpresupuesto	001 PAVIMENTO FLEXIBLE						
Partida	01.01.01 TRAZO Y REPLANTEO						
Rendimiento	m2/DIA	500.0000	EQ. 500.0000	Costo unitario directo por : m2	1.45		
Código	Descripción Recurso		Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.
	Mano de Obra						
0147000032	TOPOGRAFO		hh	1.0000	0.0160	26.42	0.42
0147010004	PEON		hh	1.0000	0.0160	16.76	0.27
							0.69
	Materiales						
0213550003	ESMALTE		gal		0.0030	35.00	0.11
0229060006	YESO EN BOLSAS DE 10 kg		bis		0.0200	10.00	0.20
0244010002	ESTACA DE MADERA EUCALIPTO DE 1"X2"X0.40M		u		0.0500	0.60	0.03
							0.34
	Equipos						
0337010001	HERRAMIENTAS MANUALES		%MO		3.0000	0.69	0.02
0349880021	ESTACION TOTAL		he	1.0000	0.0160	25.00	0.40
							0.42
Partida	01.01.02 LIMPIEZA DE TERRENO MANUAL						
Rendimiento	m2/DIA	250.0000	EQ. 250.0000	Costo unitario directo por : m2	1.10		
Código	Descripción Recurso		Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.
	Mano de Obra						
0147010004	PEON		hh	2.0000	0.0640	16.76	1.07
							1.07
	Equipos						
0337010001	HERRAMIENTAS MANUALES		%MO		3.0000	1.07	0.03
							0.03
Partida	01.02.01 CORTE A NIVEL DE SUB RASANTE CON MAQUINARIA						
Rendimiento	m3/DIA	690.0000	EQ. 690.0000	Costo unitario directo por : m3	6.53		
Código	Descripción Recurso		Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.
	Mano de Obra						
0147010001	CAPATAZ		hh	0.5000	0.0058	23.44	0.14
0147010004	PEON		hh	2.0000	0.0232	16.76	0.39
							0.53
	Equipos						
0337010001	HERRAMIENTAS MANUALES		%MO		3.0000	0.53	0.02
0349040099	TRACTOR DE ORUGAS CAT D6 DE 140-160 HP		hm	1.0000	0.0116	317.40	3.68
0349040103	EXCAVADORA SOBRE CADENA DE 135 HP		hm	1.0000	0.0116	198.28	2.30
							6.00
Partida	01.02.02 ELIMINACION DE MATERIAL EXCEDENTE CON MAQUINARIA D=2KM						
Rendimiento	m3/DIA	500.0000	EQ. 500.0000	Costo unitario directo por : m3	17.13		
Código	Descripción Recurso		Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.
	Mano de Obra						
0147010004	PEON		hh	1.0000	0.0160	16.76	0.27
							0.27
	Equipos						
0337010001	HERRAMIENTAS MANUALES		%MO		3.0000	0.27	0.01
0348040036	CAMION VOLQUETE 15 m3		hm	4.0000	0.0640	223.42	14.30
0349040102	CARGADOR SOBRE LLANTAS 125-155 HP 3 yd3		hm	1.0000	0.0160	159.33	2.55
							16.86
Partida	01.02.03 NIVELACION Y COMPACTACION DE SUBRASANTE CON MAQUINARIA						
Rendimiento	m2/DIA	600.0000	EQ. 600.0000	Costo unitario directo por : m2	10.03		
Código	Descripción Recurso		Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.
	Mano de Obra						
0147010002	OPERARIO		hh	0.5000	0.0067	23.44	0.16
0147010004	PEON		hh	4.0000	0.0533	16.76	0.89
							1.05
	Materiales						
0239050000	AGUA		m3		0.0300	5.00	0.15

0.15

Equipos

0337010001	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		3.0000	1.05	0.03
0348120001	CAMION CISTERNA 4 X 2 (AGUA) 1,500 gl	hm	2.0000	0.0267	135.05	3.61
0349090013	MOTONIVELADORA DE 125 HP	hm	1.2500	0.0167	185.45	3.10
0349110021	RODILLO LISO VIBRATORIO 10 - 12 TN, 70 - 100 HP	hm	1.1500	0.0153	136.62	2.09
						8.83

Partida **01.02.04 SUMINISTRO E INSTALACION DE GEOMALLA BIAIXIAL BX-1200**

Rendimiento	m2/DIA	5,000.0000	EQ. 5,000.0000	Costo unitario directo por : m2	11.56	
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
	Mano de Obra					
0147010002	OPERARIO	hh	1.0000	0.0016	23.44	0.04
0147010003	OFICIAL	hh	1.0000	0.0016	18.53	0.03
0147010004	PEON	hh	1.0000	0.0016	16.76	0.03
						0.10
	Materiales					
0200010001	GEOMALLA BIAIXIAL BX-1200-30KN/M	m2		1.1000	10.42	11.46
						11.46
	Equipos					
0337010001	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		3.0000	0.10	
						0.00

Partida **01.02.05 COLOCACION, EXTENDIDO Y COMPACTACION DE BASE GRANULAR e= 0.20 m**

Rendimiento	m3/DIA	390.0000	EQ. 390.0000	Costo unitario directo por : m3	60.90	
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
	Mano de Obra					
0147010001	CAPATAZ	hh	1.0000	0.0205	23.44	0.48
0147010004	PEON	hh	4.0000	0.0821	16.76	1.38
						1.86
	Materiales					
0205010040	MATERIAL CLASIFICADO PARA BASE GRANULAR	m3		1.2000	41.22	49.46
0239050000	AGUA	m3		0.0290	5.00	0.15
						49.61
	Equipos					
0337010001	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		3.0000	1.86	0.06
0348120001	CAMION CISTERNA 4 X 2 (AGUA) 1,500 gl	hm	1.0000	0.0205	135.05	2.77
0349090013	MOTONIVELADORA DE 125 HP	hm	1.0000	0.0205	185.45	3.80
0349110021	RODILLO LISO VIBRATORIO 10 - 12 TN, 70 - 100 HP	hm	1.0000	0.0205	136.62	2.80
						9.43

Partida **01.02.06 COLOCACION, EXTENDIDO, COMPACTADO DE SUB BASE GRANULAR e=0.30m**

Rendimiento	m3/DIA	485.0000	EQ. 485.0000	Costo unitario directo por : m3	43.08	
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
	Mano de Obra					
0147010001	CAPATAZ	hh	1.0000	0.0165	23.44	0.39
0147010004	PEON	hh	4.0000	0.0660	16.76	1.11
						1.50
	Materiales					
0205300040	MATERIAL AFIRMADO	m3		1.2000	28.20	33.84
0239050000	AGUA	m3		0.0300	5.00	0.15
						33.99
	Equipos					
0337010001	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		3.0000	1.50	0.05
0348120001	CAMION CISTERNA 4 X 2 (AGUA) 1,500 gl	hm	1.0000	0.0165	135.05	2.23
0349090013	MOTONIVELADORA DE 125 HP	hm	1.0000	0.0165	185.45	3.06
0349110021	RODILLO LISO VIBRATORIO 10 - 12 TN, 70 - 100 HP	hm	1.0000	0.0165	136.62	2.25
						7.59

Partida **01.03.01 IMPRIMACION ASFALTICA**

Rendimiento	m2/DIA	4,500.0000	EQ. 4,500.0000	Costo unitario directo por : m2	2.70	
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
	Mano de Obra					
0147010001	CAPATAZ	hh	1.0000	0.0018	23.44	0.04
0147010004	PEON	hh	6.0000	0.0107	16.76	0.18
						0.22
	Materiales					
0213000023	ASFALTO DILUIDO MC-30	gal		0.2500	7.33	1.83
0253000000	KEROSENE INDUSTRIAL	gal		0.0520	6.33	0.33
						2.16
	Equipos					
0349020007	COMPRESORA NEUMATICA 76 HP 125-175 PCM	hm	1.0000	0.0018	66.56	0.12

0349130004	CAMION IMPRIMIDOR 6 X 2 178 - 210 HP 1,800 gal	hm	1.0000	0.0018	111.36	0.20
						0.32
Partida	01.03.02	RIEGO DE LIGA				
Rendimiento	m2/DIA	4,500.0000	EQ. 4,500.0000	Costo unitario directo por : m2		2.99
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
	Mano de Obra					
0147010001	CAPATAZ	hh	1.0000	0.0018	23.44	0.04
0147010003	OFICIAL	hh	1.0000	0.0018	18.53	0.03
0147010004	PEON	hh	6.0000	0.0107	16.76	0.18
						0.25
	Materiales					
020.010002	EMULSION ASFALTICA CRS-1	gal		0.2640	8.67	2.29
						2.29
	Equipos					
0337010001	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		3.0000	0.25	0.01
0349010090	BARREDORA MECANICA	hm	1.0000	0.0018	68.50	0.12
0349080092	TRACTOR DE TIRO DE 80 HP	hm	1.0000	0.0018	67.00	0.12
0349130004	CAMION IMPRIMIDOR 6 X 2 178 - 210 HP 1,800 gal	hm	1.0000	0.0018	111.36	0.20
						0.45
Partida	01.03.03	CARPETA ASFALTICA EN CALIENTE DE 5"				
Rendimiento	m2/DIA	1,500.0000	EQ. 1,500.0000	Costo unitario directo por : m2		46.38
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
	Mano de Obra					
0147010001	CAPATAZ	hh	1.0000	0.0053	23.44	0.12
0147010002	OPERARIO	hh	2.0000	0.0107	23.44	0.25
0147010004	PEON	hh	10.0000	0.0533	16.76	0.89
						1.26
	Materiales					
0205010031	AGREGADO GRUESO PARA ASFALTO	m3		0.0635	57.50	3.65
0205010032	AGREGADO FINO PARA ASFALTO	m3		0.0635	50.00	3.18
0220010001	CEMENTO ASFALTICO PEN 60/70 Y 85/100	gal		3.6830	8.57	31.56
						38.39
	Equipos					
0348040036	CAMION VOLQUETE 15 m3	hm	2.0000	0.0107	223.42	2.39
0349030018	RODILLO NEUMATICO AUTOPROPULSADO 127 HP 8-23 ton	hm	1.0000	0.0053	123.55	0.65
0349030043	RODILLO TANDEM ESTATICO AUTOPROPULSADO 58-70HP 8-10	hm	1.0000	0.0053	125.00	0.66
0349050007	COCINA DE ASFALTO 320 gl	hm	1.0000	0.0053	450.00	2.39
0349050032	PAVIMENTADORA SOBRE LLANTAS 69 HP 10-16'	hm	1.0000	0.0053	121.66	0.64
						6.73

FUENTE: RENDIMIENTOS Y COSTO DE HM DE MAQUINARIA Y/EQUIPO SEGUN ESTUDIO DEFINITIVO PARA LA REHABILITACION Y MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA CHONGOYAPE-CHOTA: TRAMO COCHABAMBA -CHOTA.