

Soluciones sostenibles de pavimentación para zonas rurales

*diseño estructural de pavimento articulado en la
comuna Joa Jipijapa*



Glider Nunoilo Parrales Cantos
Jefferson Humberto Zambrano Mero
Denny Augusto Cobos Lucio
Carlos José Zavala Vázquez
Freddy Humberto Guillen Morales
Dayana Michelle Castro Chilán
Diego Sornoza Parrales
Martha Álvarez Álvarez
Ronald Pastor Delgado Alvia
Luis Alfonso Moreno Ponce





Soluciones sostenibles de pavimentación para zonas rurales

*diseño estructural de pavimento articulado en la comuna
Joa Jipijapa*

Glider Nuniilo Parrales Cantos
Jefferson Humberto Zambrano Mero
Denny Augusto Cobos Lucio
Carlos José Zavala Vázquez
Freddy Humberto Guillen Morales
Dayana Michelle Castro Chilán
Diego Sornoza Parrales
Martha Álvarez Álvarez
Ronald Pastor Delgado Alvia
Luis Alfonso Moreno Ponce

Quito, Ecuador

2025



Sustainable paving solutions for rural areas

*structural design of articulated pavement in the Joa
commune, Jipijapa*

Soluções sustentáveis de pavimentação para zonas rurais

*projeto estrutural de pavimento articulado na comuna Joa
Jipijapa*

Religación Press

[Ideas desde el Sur Global]

Equipo Editorial / Editorial team

Ana B. Benalcázar
Editora Jefe / Editor in Chief
Felipe Carrión
Director de Comunicación / Scientific Communication Director
Melissa Díaz
Coordinadora Editorial / Editorial Coordinator
Sarahí Licango Rojas
Asistente Editorial / Editorial Assistant

Consejo Editorial / Editorial Board
Jean-Arsène Yao
Dilrabo Keldiyorovna Bakhranova
Fabiana Parra
Mateus Gamba Torres
Siti Mistima Maat
Nikoleta Zampaki
Silvina Sosa

Religación Press, es parte del fondo editorial del Centro de Investigaciones CICSHAL-RELIGACIÓN | Religación Press, is part of the editorial collection of the CICSHAL-RELIGACIÓN Research Center |

Diseño, diagramación y portada | Design, layout and cover: Religación Press.
CP 170515, Quito, Ecuador. América del Sur.
Correo electrónico | E-mail: press@religion.com
www.religacion.com

Disponible para su descarga gratuita en | Available for free download at | <https://press.religacion.com>

Este título se publica bajo una licencia de Atribución 4.0 Internacional (CC BY 4.0)
This title is published under an Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) license.



Derechos de autor | Copyright: Glider Nunoilo Parrales Cantos, Jefferson Humberto Zambrano Mero, Denny Augusto Cobos Lucio, Carlos José Zavala Vázquez, Freddy Humberto Guillen Morales, Dayana Michelle Castro Chilán, Diego Sornoza Parrales, Martha Álvarez Álvarez, Ronald Pastor Delgado Alvia, Luis Alfonso Moreno Ponce

Primera Edición | First Edition: 2025

Editorial | Publisher: Religación Press

Materia Dewey | Dewey Subject: 625.8 - Revestimientos artificiales de carreteras

Clasificación Thema | Thema Subject Categories: TN - Ingeniería civil, topografía y construcción | TNT - Destrezas y oficios de la construcción | AMCR - Arquitectura y diseño ecológicos

BISAC: TEC009020

Público objetivo | Target audience: Profesional / Académico | Professional / Academic

Colección | Collection: Ingeniería

Soportel Format: PDF / Digital

Publicación | Publication date: 2025-12-15

ISBN: 978-9942-594-03-7

Título: Soluciones sostenibles de pavimentación para zonas rurales.

Diseño estructural de pavimento articulado en la comuna Joa Jipijapa

CITAR COMO [APA 7]

Parrales Cantos, G. N., Zambrano Mero, J. H., Cobos Lucio, D. A., Zavala Vázquez, C. J., Guillen Morales, F. H., Castro Chilán, D. M., Sornoza Parrales, D., Álvarez Álvarez, M., Delgado Alvia, R. P., y Moreno Ponce L. A. (2025). *Soluciones sostenibles de pavimentación para zonas rurales: diseño estructural de pavimento articulado en la comuna Joa Jipijapa*. Religación Press. <https://doi.org/10.46652/ReligacionPress.339>

Revisión por pares

La presente obra fue sometida a un proceso de evaluación mediante el sistema de dictaminación por pares externos bajo la modalidad doble ciego. En virtud de este procedimiento, la investigación que se desarrolla en este libro ha sido avalada por expertos en la materia, quienes realizaron una valoración objetiva basada en criterios científicos, asegurando con ello la rigurosidad académica y la consistencia metodológica del estudio.

Peer Review

This work was subjected to an evaluation process by means of a double-blind peer review system. By virtue of this procedure, the research developed in this book has been endorsed by experts in the field, who made an objective evaluation based on scientific criteria, thus ensuring the academic rigor and methodological consistency of the study.

Sobre los autores/ About the authors

Glider Nuno Parrales Cantos.

Ingeniero Civil, Magíster en Administración Ambiental, Investigador acreditado SENESCYT, Investigador de la Carrera de Ingeniería Civil UNESUM. Actualmente Profesor titular.

Universidad Estatal Del Sur De Manabí | Manabí | Ecuador

<https://orcid.org/0000-0002-2233-8825>

glider.parrales@unesum.edu.ec

Jefferson Humberto Zambrano Mero.

Ingeniero Civil.

Universidad Estatal Del Sur De Manabí | Manabí | Ecuador

zambrano-jefferson7076@unesum.edu.ec

Denny Augusto Cobos Lucio.

Ingeniero Civil, Universidad Técnica de Manabí, Ecuador. Magíster en Construcción de Obras Viales, Universidad Técnica de Manabí. Investiga temas: Identificación de zonas seguras para edificaciones de categoría baja en la ciudad de Jipijapa-Ecuador; Planeamiento local. Actualmente es profesor en la Universidad Estatal del Sur de Manabí.

Universidad Estatal Del Sur De Manabí | Manabí | Ecuador

<https://orcid.org/0000-0003-2094-9689>

denny.cobos@unesum.edu.ec

Carlos José Zavala Vázquez.

Ingeniero Civil, Universidad Técnica de Manabí, Ecuador; Master en construcción de obras viales, Universidad Estatal del sur de Manabí, Ecuador; miembro del equipo investigador de “Evaluación del manejo del Relleno Sanitario de La ciudad de Jipijapa y su impacto socio económico”. Profesor en la Carrera de Ingeniería civil de la Universidad Estatal del sur de Manabí.

Universidad Estatal Del Sur De Manabí | Manabí | Ecuador

<https://orcid.org/0000-0001-6265-2651>

carlos.zavala@unesum.edu.ec

Freddy Humberto Guillen Morales.

Ingeniero Civil, Universidad Técnica de Manabí en Ecuador; Magister en Administración Ambiental, Universidad Estatal Santiago de Guayaquil. Docente Contratado de la Universidad Estatal del Sur de Manabí.

Universidad Estatal Del Sur De Manabí | Manabí | Ecuador

<https://orcid.org/0000-0002-1463-7032>

freddy.guillem@unesum.edu.ec

Dayana Michelle Castro Chilán.

Arquitecta, Universidad Técnica de Manabí en Ecuador; Magíster en Diseño y Gestión de Proyectos Tecnológico. Docente Contratado de la Universidad Estatal del Sur.

Universidad Estatal Del Sur De Manabí | Manabí | Ecuador

<https://orcid.org/0000-0001-5245-167X>

dayana.castro.guillem@unesum.edu.ec

Diego Sornoza Parrales.

Magíster en Gerencia Educativa; Maestría en Administración de Tecnologías de Información; Doctor Of Philosophy Education Studies; Critical Policy Equity And Leadership Studies; Economista; Ingeniero en Computación y Redes; Carrera de Ingeniería Civil; Universidad Estatal del Sur de Manabí; Jipijapa; Ecuador.

Universidad Estatal Del Sur De Manabí | Manabí | Ecuador

<https://orcid.org/0000-0001-9319-9298>

diego.sornoza@unesum.edu.ec

Martha Álvarez Álvarez.

Magíster en Riego y Drenaje; Ingeniero Civil; Carrera de Ingeniería Civil; Universidad Estatal del Sur de Manabí; Jipijapa; Ecuador.

Universidad Estatal Del Sur De Manabí | Manabí | Ecuador

<https://orcid.org/0000-0002-9879-0367>

martha.alvarez@unesum.edu.ec

Ronald Pastor Delgado Alvia.

Ingeniero Civil, Universidad Técnica de Manabí en Ecuador; Magister en Construcción de Obras Viales, Universidad Estatal Santiago de Guayaquil. Docente Contratado de Universidad Estatal del Sur de Manabí.

Universidad Estatal Del Sur De Manabí | Manabí | Ecuador

<https://orcid.org/0000-0002-2669-7542>

ronald.delgado@unesum.edu.ec

Luis Alfonso Moreno Ponce.

Ingeniero Civil, Universidad Técnica de Manabí en Ecuador; Magister en Magíster en Construcción de Obras Viales, Universidad Estatal Santiago de Guayaquil. Docente titular de la Universidad Estatal del Sur de Manabí.

Universidad Estatal Del Sur De Manabí | Manabí | Ecuador

<https://orcid.org/0000-0001-8723-8836>

luis.moreno@unesum.edu.ec

Resumen

La ingeniería civil trasciende la transformación del entorno físico para erigirse como un pilar fundamental del desarrollo económico y social. Esta obra presenta una contribución práctica dirigida a mejorar la infraestructura vial rural de la comuna Joa, en el cantón Jipijapa. Nacida de un compromiso técnico y social, propone una solución viable al problema estructural de la calle B y sus intersecciones, mediante una rigurosa investigación de campo y la aplicación de normativas internacionales. El diseño de pavimento articulado que se expone responde no solo a criterios técnicos, sino también a las condiciones específicas del sector y a las necesidades de sus habitantes. Así, la obra busca demostrar cómo el conocimiento especializado puede materializarse en propuestas concretas para el bienestar comunitario.

Palabras claves:

Ingeniería de infraestructura, Carreteras rurales, pavimento flexible, Normativa AASHTO, Desarrollo local.

Abstract

Civil engineering transcends the transformation of the physical environment to establish itself as a fundamental pillar of economic and social development. This work presents a practical contribution aimed at improving the rural road infrastructure in the Joa commune, within the Jipijapa canton. Born from a technical and social commitment, it proposes a viable solution to the structural problem of Street B and its intersections, through rigorous field research and the application of international standards. The articulated pavement design presented responds not only to technical criteria but also to the specific conditions of the sector and the needs of its inhabitants. Thus, the work seeks to demonstrate how specialized knowledge can materialize into concrete proposals for community well-being.

Keywords:

Infrastructure Engineering, Rural Roads, Flexible Pavement, AASHTO Standards, Local Development.

Resumo

A engenharia civil transcende a transformação do meio físico para se erigir como um pilar fundamental do desenvolvimento económico e social. Esta obra apresenta uma contribuição prática destinada a melhorar a infraestrutura viária rural da comuna de Joa, no cantão de Jipijapa. Nascida de um compromisso técnico e social, propõe uma solução viável para o problema estrutural da Rua B e das suas intersecções, mediante uma rigorosa investigação de campo e a aplicação de normas internacionais. O projeto de pavimento articulado exposto responde não apenas a critérios técnicos, mas também às condições específicas do setor e às necessidades dos seus habitantes. Desta forma, a obra procura demonstrar como o conhecimento especializado pode materializar-se em propostas concretas para o bem-estar comunitário.

Palavras-chave:

Engenharia de Infraestruturas, Estradas Rurais, Pavimento Flexível, Normativa AASHTO, Desenvolvimento Local.

CONTENIDO

Revisión por pares	6
Peer Review	6
Sobre los autores/ About the authors	8
Resumen	10
Abstract	10
Resumo	11
Introducción	18
Capítulo 1	20
Introducción generalidades, diseño estructural de pavimento articulado en la comuna Joa Jipijapa	20
Introducción	21
Generalidades	21
Fundamentos teóricos	24
Terreno plano	24
Terreno ondulado	24
Terreno montañoso	25
Terreno escarpado	25
Levantamiento topográfico	26
Altimetría	26
Perfil longitudinal del terreno	27
Perfil transversal del terreno	27
Clasificación de las carreteras	28
Clasificación por capacidad (Función del TPDA)	28
Clasificación por Jerarquía en la Red Vial	29
Clasificación por condiciones orográficas	30
Clasificación por el número de calzadas	30
Carreteras de calzadas separadas	30
Carreteras de calzada única	30
Clasificación en función de la superficie de rodamiento	31
Pavimento flexible	31
Pavimento rígido	31
Afirmados	31
Superficie natural	31
Tránsito	31
Tránsito promedio diario	32
Tránsito proyectado	33
Tránsito generado	33

Tránsito desarrollado	33
Tránsito desviado	33
CBR (California Bearing Ratio)	33
Suelos gravosos y arenosos	35
Suelos cohesivos, plásticos, poco o nada expansivos	35
Límite de atterberg	36
Determinación de la densidad y humedad	37
Expansión del material	37
Capítulo 2	40
Diseño de pavimentos	40
Diseño de Pavimento articulado	41
Capas del pavimento articulado	42
Capa de Rodadura	42
Rasante	43
Base	43
Sub-base	43
Subrasante	44
Método AASHTO (93) en el diseño de pavimentos flexibles y articulados	44
Confiabilidad (%R)	46
Coeficiente Estadístico de Desviación Estándar Normal (ZR)	47
Desviación estándar combinada (So)	47
Índice de Serviciabilidad Presente (PSI)	48
Serviciabilidad Inicial (Pi)	48
Serviciabilidad final o terminal (Pt)	48
Variación de serviciabilidad (Δ PSI)	49
Módulo resiliente del material de la subrasante	50
Coeficientes estructurales (ai)	51
Coeficiente de aporte estructural de la mezcla asfáltica a1	51
Módulo resiliente de la capa de base	52
Módulo resiliente de la capa de subbase	53
Coeficientes de Drenaje m1, m2	53
Números estructurales de capas	54
Números estructurales de capas	56
Capítulo 3	59
Tráfico promedio diario anual de la calle b y sus intersecciones calles 6,7 y 8 de la comuna Joa del Cantón Jipijapa	59
Resumen de tráfico promedio diario anual	60
Cálculo del volumen de tránsito semanal (TS)	61

Tránsito promedio diario semanal	61
Tránsito existente	61
Tránsito actual	61
Intensidad de tráfico transformada a vehículos livianos	62
Coeficiente de equivalencia de cargas	64
Estimación de la intensidad diaria de vehículos pesados	66
Determinación del Tráfico de Diseño	67
Estimación de la intensidad diaria de vehículos pesados	67
Determinación del tráfico de diseño	69
Número de ejes equivalentes durante el periodo de diseño	69
Capítulo 4	71
Capacidad portante del suelo de las calles de estudio	71
Ubicación de las Muestras Escogidas en la Comuna Joa	72
Resultado del estudio de suelo de CBR de muestra #1	73
Resultado del estudio de suelo de CBR de muestra #2	79
Resultado del Estudio de Suelo de CBR de Muestra #3	86
Resultado del estudio de suelo de CBR de muestra #4	93
Capítulo 5	102
Pavimento articulado de la calle	102
Pavimento articulado de la calle b y sus intersecciones calles 6, 7 y 8 de la comuna Joa del Cantón Jipijapa (AASTHO 93)	103
Características principales del pavimento articulado para el sitio Joa:	103
Índice de confiabilidad	105
Coeficiente estadístico de desviación estándar normal (ZR)	106
Desviación Estándar Combinada (So)	106
Variación de serviciabilidad (Δ PSI)	107
Cálculo del módulo resiliente del material de la subrasante	107
Cálculo de coeficiente estructural (ai)	108
Coeficiente de aporte estructural de la mezcla asfáltica a1	108
Módulo resiliente de la capa de base	109
Módulo resiliente de la capa de subbase	110
Determinación de Coeficientes de Drenaje m2, m3	111
Cálculo de la estructura del pavimento	111
Capa de arena o de asiento	115
Pendiente o bombeo de la vía	115
Confinamiento del adoquín	116
Conclusiones	117
Referencias	118

TABLAS

Tabla 1. Clasificación de la vía en base al TPDA	29
Fuente: extraído de NEVI (2013).	29
Tabla 2. Por condiciones orográficas	30
Tabla 3. Coeficiente de transformación	32
Tabla 4. Valores referenciales de CBR, usos y suelos	35
Tabla 5. Valores recomendados de nivel de confiabilidad para una sola etapa de diseño (10 o 20 años)	46
Tabla 6. Coeficiente estadístico de la desviación estándar normal (Z_r) para una sola etapa de diseño (10 o 20 años) según el nivel de confiabilidad seleccionado y el rango	47
Tabla 7. Índice de serviciabilidad inicial (P_i) según rango de tráfico	48
Tabla 8. Índice de serviciabilidad final (P_t) según rango de tráfico	49
Tabla 9. Diferencial de serviciabilidad (ΔPSI) según rango de tráfico	50
Tabla 10. Correlación del módulo resiliente con el C.B.R.	50
Tabla 11. Calidad del drenaje	54
Tabla 12. Calidad del drenaje	55
Tabla 13. Resumen del conteo vehicular diario	60
Tabla 14. Resumen de Volumen de tráfico de doble sentido	60
Tabla 15. Tráfico actual	62
Tabla 16. Intensidad de tráfico transformada a vehículos livianos	62
Tabla 17. Coeficiente de Transformación	62
Tabla 18. Tasa de crecimiento del tráfico %	63
Tabla 19. Cálculo del tráfico futuro	63
Tabla 20. Clasificación funcional de la vía de diseño en base al TPDA	64
Tabla 21. Coeficiente de equivalentes de cargas	64
Tabla 22. PVP: proporción de vehículos pesados respecto al total (%)	65
Tabla 23. Tráfico actual para diseño estructural	65
Tabla 24. Distribución del tránsito en función del número de carriles	66
Tabla 25. Coeficiente de equivalencia de cargas	66
Tabla 26. Distribución del tránsito en función del número de carriles	68
Tabla 27. Coeficiente de equivalencia de cargas	68
Tabla 28. Coordenadas de las muestras de suelo	72
Tabla 29. Resumen de resultados obtenidos CBR	72
Tabla 30. Humedad y densidad optima de muestra #1	73
Tabla 31. Ensayo de CBR de penetración muestra #1	75
Tabla 32. Ensayo CBR densidad muestra #1	76
Tabla 33. Carga unitaria muestra #1	77
Tabla 34. CBR 0.10 pulgada de penetración muestra #1	78
Tabla 35. CBR 0.20 pulgada de penetración muestra #1	78
Tabla 36. Humedad y densidad optima de muestra #2	79

REFERENCIAS

Tabla 37. Ensayo de CBR de penetración muestra #2	81
Tabla 38. Ensayo CBR densidad muestra #2	83
Tabla 39. Carga unitaria muestra #2	84
Tabla 40. CBR 0.10 pulgada de penetración muestra #2	85
Tabla 41. CBR 0.20 pulgada de penetración muestra #1	85
Tabla 42. Humedad y densidad optima de muestra #3	86
Tabla 43. Ensayo de CBR de penetración muestra #3	88
Tabla 44. Ensayo CBR densidad muestra #3	90
Tabla 45. Carga unitaria muestra #3	91
Tabla 46. CBR 0.10 pulgada de penetración muestra #3	92
Tabla 47. CBR 0.20 pulgada de penetración muestra #1	92
Tabla 48. Humedad y densidad optima de muestra #4	93
Tabla 49. Ensayo de CBR de penetración muestra #4	95
Tabla 50. Ensayo CBR densidad muestra #4	97
Tabla 51. Carga unitaria muestra #4	99
Tabla 52. CBR 0.10 pulgada de penetración muestra #4	99
Tabla 53. CBR 0.20 pulgada de penetración muestra #4	99
Tabla 54. Valores recomendados de nivel de confiabilidad para una sola etapa de diseño (10 o 20 años)	105
Tabla 55. Coeficiente estadístico de la desviación estándar normal (Z_r) para una sola etapa de diseño (10 o 20 años) según el nivel de confiabilidad seleccionado y el rango	106
Tabla 56. Índices de serviciabilidad presente (PSI)	107
Tabla 57. Resumen del estudio de suelo CBR	107
Tabla 58. Correlación del módulo resiliente con el C.B.R.	108
Tabla 59. Calidad del drenaje	111
Tabla 60. Datos para el numero estructural SN1, SN2, y SN3	113
Tabla 61. Valores mínimos de D2 en función de los ejes equivalente	114
Tabla 62. Espesores obtenidos de la estructura del pavimento	116

Figuras

Figura 1. Perfil Longitudinal	27
Figura 2. Perfiles Transversales	28
Figura 3. CBR	34
Figura 4. Límites de Atterberg	36
Figura 5. Curva densidad máxima y humedad seca	37
Figura 6. Penetración vs carga del pistón	38
Figura 7. Capas de pavimento articulado	42
Figura 8. Valores del coeficiente estructural (a1) para mezclas asfálticas densamente gradadas empleadas como capa de rodamiento y/o intermedia, a partir de la estabilidad Marshall	51
Figura 9. Figura para determinar el coeficiente estructural (a2) de la base granular a2	52
Figura 10. Gráfico para determinar el coeficiente estructural (a3) de la Subbase granular	53
Figura 11. SN de la estructura del pavimento	54
Figura 12. SN de la estructura del pavimento	56
Figura 13. Localización de muestras de suelo	72
Figura 14. Humedad y densidad optima de muestra #1	74
Figura 15. Ensayo de CBR de penetración muestra #1	76
Figura 16. CBR 0.10 pulgada de penetración muestra #1	79
Figura 17. CBR 0.20 pulgada de penetración muestra #1	79
Figura 18. Humedad y densidad optima de muestra #2	81
Figura 19. Ensayo de CBR de penetración muestra #2	83
Figura 20. CBR 0.10 pulgada de penetración muestra #2	86
Figura 21. CBR 0.20 pulgada de penetración muestra #2	86
Figura 22. Humedad y densidad optima de muestra #3	88
Figura 23. Ensayo de CBR de penetración muestra #3	90
Figura 24. CBR 0.10 pulgada de penetración muestra #3	93
Figura 25. CBR 0.20 pulgada de penetración muestra #3	93
Figura 26. Humedad y densidad optima de muestra #4	95
Figura 27. Ensayo de CBR de penetración muestra #4	97
Figura 28. CBR 0.10 pulgada de penetración muestra #3	100
Figura 29. CBR 0.20 pulgada de penetración muestra #4	100
Figura 30. Valores del coeficiente estructural (a1) para mezclas asfálticas densamente gradadas empleadas como capa de rodamiento y/o intermedia, a partir de la estabilidad Marshall	108
Figura 31. Grafica para determinar el coeficiente estructural (a2) de la base granular a2	109
Figura 32. Gráfico para determinar el coeficiente estructural (a3) de la Subbase granular	110
Figura 33. SN de la estructura del pavimento	112
Figura 34. Servicialidad	112
Figura 35. Valor mínimo D1, selección de material y espesor del adoquín comerciales según fabricante	113
Figura 36. Sección típica de la estructura del pavimento articulado	117

Introducción

La ingeniería, en su expresión más elevada, es el puente entre el conocimiento abstracto y la realidad tangible. Como bien señala la definición que abre esta obra, es la disciplina que, fusionando ciencia, técnica y arte, aplica el rigor de las matemáticas y las leyes naturales para crear sistemas y obras físicas. Su fin último, sin embargo, no se agota en la mera construcción; su verdadero propósito es proporcionar bienestar, seguridad y una calidad de vida creciente a la humanidad, actuando con eficiencia y sostenibilidad económica. Este libro se inscribe con firmeza en esa tradición humanista de la ingeniería, proponiendo no solo un ejercicio técnico impecable, sino una intervención con un profundo sentido social.

En el contexto ecuatoriano, el Estado asume, a través de la Ley del Sistema Nacional de Infraestructura Vial, el mandato de garantizar una red de transporte terrestre que impulse el desarrollo. Esta responsabilidad implica la planificación, diseño, construcción y, crucialmente, el mantenimiento de la infraestructura vial, considerando siempre el mínimo impacto ambiental. Sin embargo, existe con frecuencia una brecha entre este mandato legal y la realidad en miles de comunidades rurales del país. La calle B y sus intersecciones en la comuna Joá, cantón Jipijapa, son un testimonio elocuente de esta desconexión. La ausencia de un pavimento adecuado ha generado un problema crónico que trasciende lo meramente vial: en época invernal, el barro y los hundimientos no solo dificultan el tránsito y dañan los vehículos, sino que los baches acumulan aguas lluvias, convirtiéndose en criaderos de mosquitos que amenazan la salud pública. Esta situación no es un dato anecdótico; es un obstáculo diario para el desarrollo productivo, la movilidad segura y la calidad de vida de sus habitantes.

Este trabajo surge, por tanto, de la identificación de una necesidad concreta y urgente. Su objetivo fundamental es presentar un diseño de pavimento articulado para la calle B y sus intersecciones (calles 6, 7 y 8), sustentado en la rigurosa normativa AASHTO 93, pero con la sensibilidad de adaptarse a las condiciones específicas del tránsito local y a las propiedades mecánicas del suelo de la zona. No se trata de importar un modelo de manera acrítica, sino de aplicarlo con inteligencia a un contexto particular.

Este libro forma parte del proyecto de investigación de la Carrera de Ingeniería Civil de la UNESUM, con título: "Diagnóstico de infraestructura física para fomentar el desarrollo productivo del sitio Joa - Jipijapa". Por tanto, la crónica documentada de un proceso de ingeniería con propósito. Narra el viaje desde la identificación de un problema comunitario concreto hasta la formulación de una solución técnica viable y contextualizada. Entre sus páginas, el lector – ya sea estudiante, técnico, ingeniero o planificador – encontrará no solo fórmulas y procedimientos normativos, sino la aplicación de esos conocimientos a un caso real, con sus limitaciones, adaptaciones y compromisos.

El valor de esta obra trasciende el diseño específico para la calle B de Joa. Se erige como un modelo metodológico que ilustra cómo el rigor académico, guiado por un compromiso social, puede traducirse en propuestas concretas para el bienestar comunitario. Demuestra que la ingeniería civil, cuando está bien enfocada, cumple plenamente con su misión: emplear materiales y energía para crear obras que, con eficiencia y bases económicas sólidas, provean servicios que mejoren la calidad de vida, generen seguridad y, en definitiva, fortalezcan el tejido social y económico de nuestras comunidades. Es una invitación a seguir construyendo, desde la técnica y la empatía, un Ecuador mejor conectado y más equitativo.

Capítulo 1

Introducción generalidades, diseño estructural de pavimento articulado en la comuna Joa Jipijapa

Introducción

La ingeniería es la ciencia que, con la técnica y el arte, aplicando la matemática y las ciencias naturales, crea y desarrolla sistemas, elementos y obras físicas mediante el empleo de energía y materiales, para proporcionar a la humanidad, con eficiencia y sobre bases económicas, bienes y servicios que le den bienestar con seguridad y creciente calidad de vida (Giordani & Leone, s.f.).

En el Ecuador las infraestructuras viales son garantizadas por el estado ecuatoriano lo establece en “Ley sistema nacional de infraestructura vial transporte terrestre” Art. 15.- Atribuciones y Deberes. Corresponde al ministerio rector: 4. Administrar la red vial estatal realizando las acciones de planificación, diseño, construcción, rehabilitación, señalización, conservación, mantenimiento, operación y financiamiento, considerando el mínimo impacto ambiental (ASAMBLEA NACIONAL, 2017).

Actualmente en la calle B y sus intersecciones calles 6, 7 y 8 de la comuna Joa del cantón Jipijapa no presenta una adecuada infraestructura vial, al no contar con una estructura del pavimento estas calles traen el problema de que en épocas invernales causan barro, hundimientos, perdida regular de la capa de rodadura que destruyen los automotores que circulan por estas calles, además estos baches acumulan aguas lluvias donde los mosquitos depositan sus huevos que perjudican la salud.

El proyecto tiene la finalidad de realizar el diseño de pavimento articulado sustentándose con la normativa AASHTO del año 1993, la estructura del pavimento de la calle B y sus intersecciones calles 6, 7 y 8 de la comuna Joa del cantón Jipijapa adaptándose a las condiciones del tránsito y propiedades mecánicas del suelo presente en la calle de estudio.

Generalidades

La vía es la comunicación que existe entre un lugar a otro, satisfaciendo las necesidades de los usuarios que transitan por ella, son un factor importante para la economía del país pues depende de las condiciones de servicio para transportar diferentes productos sean agrícolas, ganaderas o

comerciales a otras comunidades. Por ende, la carretera genera desarrollo mercantil en el área rural y urbano.

Los accidentes de tránsito en América Latina reportan víctimas segundo tras segundo, siendo una de las causas de fatalidad más alta en la región y del mundo. Los problemas de seguridad vial son causados por falta de infraestructura apropiada y poca educación vial (Caribe, 2015).

En Ecuador, entre 2007 y 2016, la construcción de infraestructura pública fue uno de los elementos de impulso al crecimiento económico. Según datos del Ministerio de Economía y Finanzas, en este período se registra un acumulado aproximado de USD 21.950 millones de dólares en infraestructura económica, de los cuales se invirtieron alrededor de USD 1.600 millones de dólares en obras viales, según el Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTOP, 2016). En este contexto, y aprovechando el auge en los ingresos del Estado, se implementan un sin número de proyectos destinados a crear o rehabilitar carreteras de acceso y conexión hacia diferentes zonas estratégicas del país (Zhangallimbay & Ordoñez, 2022).

Al pasar los años al no existir mantenimiento en la carretera provoca un deterioro en la infraestructura vial, lo cual incide en la circulación de vehículos causando problemas y accidentes de tránsito.

En Manabí la situación de la infraestructura vial es preocupante debido a la carga pesada de los vehículos e influencia de los factores externos del ambiente, ha provocado imperfecciones en la superficie del pavimento, deteriorando el diseño estructural vial con las cargas que fueron experimentadas entonces es favorable rediseñar la red vial (Moreno, 2023).

El estado de las calles en el cantón Jipijapa va en un creciente deterioro, ya que se han visto afectada por problemas de distinta índole, producto de una mala calidad del asfalto y estudio del suelo, que ha traído como consecuencia malestar en los transeúntes y daños en los vehículos que circulan por esta zona. Este trabajo propicia conocimientos a las autoridades competentes sobre el problema antes mencionado, y den solución a esta problemática para que el estado de las calles de la ciudad mejore y no exista ningún tipo de peligro ni malestar hacia los habitantes, conductores y peatones que circulan por el sector; y de esta manera se pueda potenciar a la ciudad como un atractivo en el sector turístico (Moreno, 2023).

La zona del proyecto a desarrollar se ubica en la comuna Joa del cantón Jipijapa en la calle B y sus intersecciones 6, 7 y 8 donde no existe un diseño estructural y su vía está en mal estado provocando malestar en los ciudadanos y baja economía por el poco tránsito de vehículos así mismo bajos ingresos económicos por no trasladar su actividad agrícola de la comuna.

La gran mayoría de vías del país, debido a las condiciones de intemperismo, son afectadas por factores de lluvia u olas de calor. Sin embargo, también debido al aumento de tráfico, su estructura empieza a ser deficiente, por lo que, su funcionalidad empieza a ser alcanzar niveles críticos de servicio. Por lo tanto, de acuerdo con los factores mencionados anteriormente, estas vías se deterioran de manera acelerada aumentando los índices de accidentes, y disminuyendo la calidad servicio para sus organismos de circulación (Acosta, 2021).

El pavimento enfrenta una variedad de problemas estructurales que pueden causar daño superficial así mismo la calidad del pavimento afecta de manera directa la operatividad y seguridad de las vías. Para disminuir estas consecuencias de este tipo de problemas se requieren la aplicación de herramientas para simular los escenarios del pavimento en el mundo real (Vera, 2016).

Los daños potenciales que tienden a producirse durante la vida útil del pavimento traen consigo graves problemas que tienen como consecuencia el impacto en la seguridad y operatividad de las redes viales. Los problemas son ocasionados por diferentes motivos, como lo pueden ser: aumento del caudal vehicular, la falta de mantenimiento viales o carencia en la implementación de obras complementarias. Estos problemas en su mayoría son originados por capas de poco espeso. Otros serían la aplicación de suelos cohesivos o expansivos que al contacto con el agua estos se expanden o se reducen en gran medida, afectando la capacidad de soporte del mismo y debilitando las capas del pavimento (Vera, 2016). El modelo de diseño de pavimentos considerado como el más pertinente para nuestro entorno local ecuatoriano, el Modelo aashto/93, aunque si bien es cierto, fue diseñado para la construcción de carreteras en los Estados Unidos de Norte América, por la metodología de construcción implicada, se ha convertido en el modelo más usado en todo el mundo, con las adecuaciones

pertinentes a cada zona geográfica en donde se implementa. Existen tres grupos generales de pavimentos, el primero de ellos es el de los conocidos como los pavimentos flexibles, el segundo es el de los pavimentos rígidos y finalmente se tiene un tercer tipo, conocido como el grupo de los pavimentos compuestos (Zambrano, 2015).

Se cree que hay una falla geológica que conecta la depresión elevada de Jipijapa es con la parte del oeste. En otros términos, Jipijapa se encuentra dentro de un a cuenca geológica y al borde de esta se encuentra una falla que permite que levante zona montañosa al oeste de Jipijapa. La estratigráfica del sector es la siguiente: lutitas arcillosas, lutitas y limolitas calcáreas con betillas de yeso (Herrera, 2005).

Fundamentos teóricos

La topografía tiene un papel importante en la ubicación física de la vía ya que influye en los alineamientos horizontales, pendientes, distancias de visibilidad y secciones transversales. Desde el punto de vista del ministerio de transporte clasifica los terrenos en las siguientes categorías (Criollo, 2017).

Terreno plano

Las pendientes transversales a las vías que sean menores al 5% requiere de mínimos movimientos de tierras en la etapa de construcción de carreteras al no presentar dificultad en el trazado ni en su explanación, por lo general las pendientes en sentido longitudinal son menores al 3% (NEVI, 2013).

Terreno ondulado

Este tipo de terreno cuenta con pendientes transversales a la vía del 6% al 12%, al momento de la etapa de construcción de vías se requiere de movimiento de tierras moderado lo que da la facilidad de alineamientos entre la mayoría rectos, pocas dificultades en el trazado y en la expla-

nación, así como por lo general pendientes longitudinales del 3% al 6% (NEVI, 2013).

Terreno montañoso

Este tipo de terreno por lo general sus pendientes transversales a la vía suelen ser del 13% al 40%, en la etapa de construcción de carreteras en estos terrenos se requieren de grandes movimientos de tierras, construcción de puentes y estructuras para evitar realizar grandes movimientos de tierras, por lo que presenta dificultades en el trazado y en la explanación, sus pendientes longitudinales están por lo general entre 6% al 8% (NEVI, 2013).

Terreno escarpado

En este tipo de terreno por lo general sus pendientes transversales a la vía pasan del 40%. Al momento de construcción de carreteras sobre este tipo de terreno se necesita muchos movimientos de tierras y existen muchas dificultades para el trazado y la explanación, pues los alineamientos están prácticamente definidos por divisorias de agua. Las pendientes longitudinales por lo general son mayores del 8%, que, para evitarlos, el diseñador deberá considerar la construcción de puentes, túneles o estructuras (NEVI, 2013).

Cuando se encuentren en terrenos con pendientes longitudinales altas y restricciones que obstaculicen la de visibilidad, se debe reducir las carreteras y también la velocidad de los vehículos, empezando por los de carga pesada. Este hecho puede hacer necesario construir carriles adicionales o auxiliares para los camiones donde haya un tramo muy largo de pendiente alta; o hacer una vía de cuatro carriles, en vez de dos, con distancias de visibilidad adecuadas (NEVI, 2013).

Levantamiento topográfico

Es el estudio que realiza el análisis técnico representado del terreno, para estudiar las características físicas con las alteraciones que permiten

reflejar a detalle los datos mediante un plano el cual se utiliza para planificar en la construcción (Mendoza, 2020).

El levantamiento topográfico se divide en:

Planimetría. La Planimetría puede entenderse como una parte de la topografía dedicada al estudio de los métodos que se ponen en marcha para lograr representar una escala y detalles de un terreno sobre una superficie plana. Esto hace que la planimetría prescinda del relieve y la altitud para lograr una representación en dirección horizontal (Italo, 2024).

En la arquitectura se enfoca en la creación de los planos de plantas, cortes y elevaciones en arquitectura, los cuales son esenciales para una adecuada logística y circulación. Es posible complementar esta técnica con planos que incluyan detalles, estructuras e instalaciones interiores, entre otros aspectos. Asimismo, el análisis detallado de la planta arquitectónica brinda una perspectiva interesante para descubrir innovaciones y mejoras que permitan crear espacios más eficientes además de adecuados a las necesidades tanto del proyecto como de sus usuarios (Italo, 2024).

Altimetría

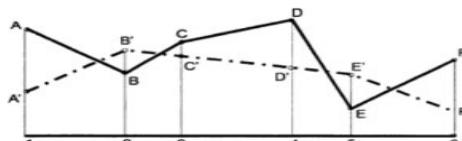
La parte de la topografía que se dedica a medir las alturas y estudiar los métodos y técnicas para representar el relieve de un terreno se conoce como altimetría. Además, para calcular y representar la altura o cota de cada punto en relación al plano de referencia. Finalmente, la altimetría se emplea para mostrar la verdadera forma del terreno, incluyendo su tamaño, límites y forma de relieve, mediante la realización de diversos cálculos y operaciones (Ofiteat, 2017).

Perfil longitudinal del terreno

Se refiere a las secciones verticales del mismo obtenidos en un trazo rectilíneo, curvilíneo o que combine partes rectas y partes curvas con respecto a un determinado plano de comparación. Proporcionan información clara acerca del relieve del terreno con visas al proyecto de obra de ingeniería como túneles, carreteras, viaductos, etc (Gayarre, 2002).

Se debe necesitar una libreta de campo correspondiente a la nivelación de puntos, en la parte inferior del perfil se especifican todos los datos correspondientes a la nivelación, además de los datos de nivelación debe aparecer datos correspondientes al trazado del plano rasante sobre el que se asentara la vía proyectada (Gayarre, 2002).

Figura 1. Perfil Longitudinal

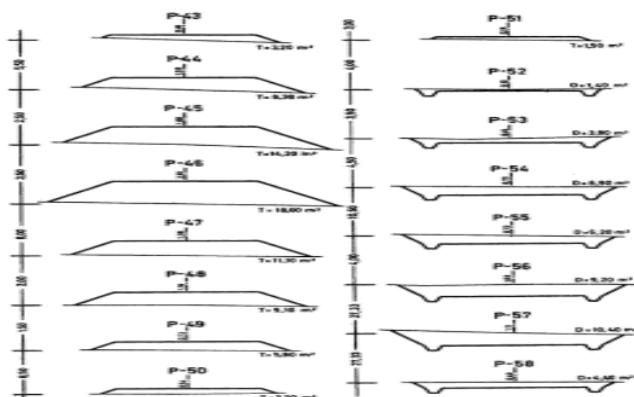


Fuente: extraído de Gayarre (2002).

Perfil transversal del terreno

Son necesariamente perpendiculares al perfil longitudinal se dibuja de modo que la izquierda y la derecha sean las del perfil longitudinal. Se colocan acotaciones en la parte inferior del perfil detallando: estado de alineaciones, puntos nivelados, distancias al origen, ordenadas a la rasante, cotas rojas, plano de comparación y se procede a dibujar (Peña & Altemir, 2021).

Figura 2. Perfiles Transversales



Fuente: extraído de Peña & Altemir (2021).

Clasificación de las carreteras

Las vías del Ecuador se clasifican según el (NEVI, 2013):

- Clasificación por capacidad (Función del TPDA)
- Clasificación por jerarquía en la red vial
- Clasificación por condiciones orográficas
- Clasificación por número de calzadas
- Clasificación en función de la superficie de rodamiento

Clasificación por capacidad (Función del TPDA)

Para lograr la seguridad en el tránsito se considera los datos y estadísticas reales a nivel nacional las cuales son colectadas por el ministerio de obras públicas. Esta clasificación deberá ser diseñada para características funcionales y geométricas orientada a brindar eficiencia al conductor (Soledispa & Loor, 2022).

Tabla 1. Clasificación de la vía en base al TPDA

Clasificación funcional de las vías en base al TPDA			
Descripción	Clasificación funcional	Tráfico promedio Diario Anual TPDAD	
		Límite inferior	Límite superior
Autopista	AP2	80000	120000
	AP1	50000	80000
Autovía o carretera multicarril	AV2	26000	50000
	AV1	8000	26000
Carretera de 2 carriles	C1	1000	8000
	C2	500	1000
	C3	0	500

Fuente: extraído de NEVI (2013).

Clasificación por Jerarquía en la Red Vial

Corredores Arteriales. Aquellas vías que tienen un alto desempeño funcional debido a que sirven como principales conectores de puertos marítimos, capitales de provincia, pasos de frontera además tienen alta movilidad y son usadas en viajes de larga distancia. Las características que destacan operación de tráfico eficiente, estándares geométricos, seguridad en giros y maniobras (NEVI, 2013).

Vías Colectoras. Son conocidos por su media jerarquía funcional se usan para recolectar el tráfico de la zona rural o una región unen caminos locales con los regionales para ser conducidas a los corredores arteriales. Estas carreteras tienen requisitos de estándares geométricos adecuados y se usan para el servicio intermedio del tráfico (NEVI, 2013).

Caminos Vecinales. Este camino es una carretera convencional básica incluye a todos los caminos rurales a excepción de los mencionados anteriormente, son destinados a recibir el tráfico doméstico de poblaciones rurales, accesos a sitios turísticos y zonas de producción agrícola (NEVI, 2013).

Clasificación por condiciones orográficas

Dependen del relieve del terreno natural atravesado en la tabla 3. En función de la máxima inclinación media de la línea de la máxima pendiente, correspondiente a la franja original del terreno interceptada por la explanación de la carretera (NEVI, 2013).

Tabla 2. Por condiciones orográficas

Tipo de Relieve	Máxima inclinación media
Llano	$i \leq 5$
Ondulado	$5 < i \leq 15$
Accidentado	$15 < i \leq 25$
Muy accidentado	$25 < i$

Fuente: extraído de NEVI (2013).

Clasificación por el número de calzadas

Carreteras de calzadas separadas

Son aquellas calzadas que se diferencian para cada sentido de circulación, con una separación física entre ambas. Excepcionalmente pueden tener más de una calzada para cada sentido de circulación (NEVI, 2013).

Carreteras de calzada única

Son las que tienen una sola calzada para ambos sentidos de circulación, sin separación física, independientemente del número de carriles (NEVI, 2013).

Clasificación en función de la superficie de rodamiento

Pavimento flexible

Son aquellos que tienen una capa de rodadura formada por una mezcla bituminosa de asfalto altamente resistente a los ácidos, álcalis y sales (NEVI, 2013).

Pavimento rígido

Son aquellos donde la capa de rodadura está formada por una losa de concreto hidráulico (agua, cemento, arena y grava), con o sin refuerzo estructural, apoyada sobre la sub-rasante de material granular (NEVI, 2013).

Afirmados

Son aquellas en las que la superficie de rodadura se compone de una capa de material granular con tamaño máximo dos y media pulgadas ($2\frac{1}{2}$ ") y con proporción de finos, debidamente compactado (NEVI, 2013).

Superficie natural

Su capa de rodadura se compone del terreno natural del lugar, debidamente conformado (NEVI, 2013).

Tránsito

Los datos del tránsito deben incluir las cantidades de vehículos o volúmenes por días del año y por horas del día, como también la distribución de vehículos por tipos y pesos, es decir, su composición. Datos estadísticos de accidentes de tránsito, así como diagramas de colisión servirán también para mejorar las condiciones geométricas de una intersección, etc (NEVI, 2013).

Es difícil determinar la vida útil de una carretera, puesto que cada una de sus partes está sujeta a variaciones en su vida esperada, por varias causas, como obsolescencia, cambios inesperados en los usos del terreno, etc. Se considera que la zona o derechos de vía tienen una vida de 100 años (para los cálculos económicos); el pavimento, entre 10 y 30 años; los puentes, entre 25 y 100 años, y las estructuras de drenaje menores, de 50 años, siempre suponiendo un mantenimiento adecuado (NEVI, 2013).

Tránsito promedio diario

Se abrevia con las letras TPDA y representa el transito total que circula por la carretera durante el año dividido por 365 días, o sea que es el volumen de tránsito promedio por día. Este valor es importante para determinar el uso anual como justificación de costos en el análisis económico y para dimensionar los elementos estructurales y funcionales de la carretera (NEVI, 2013).

$$\mathbf{TPDA} = \frac{\mathbf{TA}}{365}$$

Ecu. 1 Tránsito promedio diario

Tabla 3. Coeficiente de transformación

Tipo De Vehículo	Coeficiente De Transformación	Tipo De Vehículo	Coeficiente De Transformación
Livianos	1	Remolques con capacidad de carga en kg	
Motocicletas	0.5	Hasta 600	3
Buses pesados con capacidad de carga en kg:		12000	3.5
Hasta 2000	1.5	20000	4
5000	2	30000	5
8000	2.5	Mayor a 30000	6
14000	3.5		
Mayor a 14000	4.5		

NOTA: Para terrenos ondulados y montañosos estos coeficientes aumentan 1.4 y 2.0 veces respectivamente, menos para vehículos livianos.

Fuente: extraído de NEVI (2013).

Tránsito proyectado

Obtenida la tasa de crecimiento anual se calcula el tráfico proyectado para el periodo de diseño de la vía en base al tráfico actual en función del TPDA (Alvarado, 2004).

$$TP = TA (1 + i)^n \quad \text{Ecu. 2 Tránsito proyectado}$$

Tránsito generado

Al construir una nueva carretera o mejorar una existente, se encuesta a los conductores acerca de los viajes que estos realizarían en caso de que se cumplan con una serie de mejoras ofrecida (Alvarado, 2004).

$$TG = 0.25 (TP + TD) \quad \text{Ecu. 3 Tránsito generado}$$

Tránsito desarrollado

Se determina de acuerdo a la producción agrícola, el asentamiento de industrias y actividad turística (Alvarado, 2004).

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

$$\text{Ecu. 4 Tránsito desarrollado}$$

Tránsito desviado

Es el volumen de vehículos que se ve atraído hacia la nueva carretera ya sea por novedad o ahorro de tiempo y combustible (Alvarado, 2004).

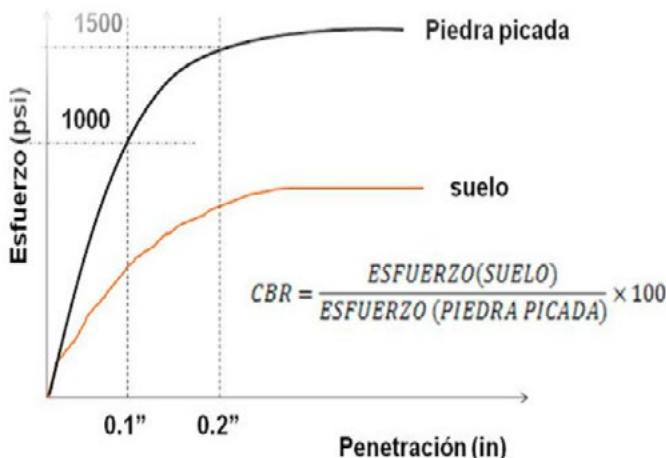
$$Td = 0.20 (TP + TD) \quad \text{Ecu. 5 Tránsito desviado}$$

CBR (California Bearing Ratio)

Es un ensayo de carga que usa un pistón metálico, de 0.5 pulgadas cuadradas de área, para penetrar desde la superficie de un suelo compactado en un molde metálico a una velocidad constante de penetración. Se define CBR, el parámetro del ensayo, como la relación entre la carga unitaria en el pistón requerida para penetrar 0.1" (0.25 cm) y 0.2" (0.5 cm) en el suelo ensayado, y la carga unitaria requerida para penetrar la misma cantidad en una piedra picada bien gradada estándar; esta relación se expresa en porcentaje (Sanchez, 2018).

ASTM dice que el que se reporta es el de 0.1" mientras este sea menor que el de 0.2". En el caso en el que el valor de CBR para 0.1" fuera mayor que el de 0.2" habría que repetir el ensayo para ese espécimen (Sanchez, 2018).

Figura 3. CBR



Fuente: extraído de Sanchez (2018).

$$\%CBR = \frac{\text{carga unitaria del ensayo} \times 100}{\text{carga unitaria patrón}}$$

Ecu. 6 Expresión de CBR

En el laboratorio se preparan 3 muestras como mínimo las que poseen distintas energías de compactación según la norma AASTHO 65, 30 y 10 golpes (Chang, 2014).

Es necesario durante este periodo tomar registros de expansión para instantes escogidos arbitrariamente y al final del periodo de saturación se hace la penetración para obtener el valor del CBR para el suelo en condiciones de saturación completa (Chang, 2014).

Tabla 4. Valores referenciales de CBR, usos y suelos

No. CBR	Clasificación General	Usos	Sistema de Clasificación	
			Unificado	AASHTO
0-3	Muy Pobre	Subrasante	OH, CH, MH, OL	A5, A6, A7
3-7	Pobre a Regular	Subrasante	OH, CH, MH, OL	A4, A5, A6, A7
7-20	Regular	Sub-base	OL, CL, ML, SC, SM, SP	A2, A4, A6, A7
20-50	Bueno	Base, Sub-base	GM, GC, SW, SM, SP, GP	A1b, A2-5, A3, A2-6
>50	Excelente	Base	GW, GM	A1a, A2-4, A3

Fuente: extraído de Chang (2014).

Suelos gravosos y arenosos

Estos suelos en la clasificación unificada corresponden a los siguientes grupos: GW, GP, SW Y SP (Chang, 2014).

- Son suelos generalmente de IP<2 y de compactación rápido en el campo
- En general el CBR casi no vería apreciablemente con los cambios de humedad
- El CBR se puede determinar sin saturar la muestra
- El CBR que se adopte podrá ser el que corresponde a su máxima densidad o sigue un criterio más conservador, el menor de los CBR
- El CBR de estos suelos granulares es generalmente mayor de 20%

Suelos cohesivos, plásticos, poco o nada expansivos

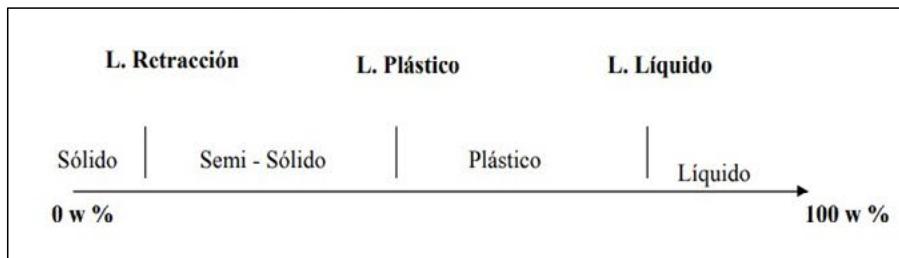
Estos suelos son los más comunes y pertenecen a la siguiente clasificación unificada: GM, GC, SM, SC, CL, ML, OL.

- Se aplica a condiciones climatéricas normales y aquellos suelos CBR no varié apreciablemente con el contenido de humedad
- No requiere estricto control de la humedad cuando se compacta en el campo
- Se aplica a condiciones climatéricas desfavorable y a aquellos suelos que son muy sensibles a cambios de humedad
- Se requiere un mayor control de la humedad en el campo.

Límite de atterberg

Los límites de consistencia se basan en el concepto de que los suelos finos, presentes en la naturaleza, pueden encontrarse en diferentes estados, dependiendo de su propia naturaleza y la cantidad de agua que contengan. Así, un suelo se puede encontrar en un estado sólido, semisólido, plástico y líquido o viscoso (Santín, 2005).

Figura 4. Límites de Atterberg



Fuente: extraído de Santín (2005).

Los límites de Atterberg pertenecen, junto al análisis granulométrico, al tipo de ensayos de identificación. Pero, si el análisis granulométrico nos permite conocer la magnitud cuantitativa de la fracción fina, los límites

de Atterberg nos indican su calidad, completando así el conocimiento del suelo. Frecuentemente se utilizan los límites directamente en las especificaciones para controlar los suelos a utilizar en terraplenes (Santín, 2005).

$$IP = W_L - W_p \quad \text{Ecu. 7 Índice de plasticidad}$$

$$IL = \frac{W_n - W_p}{W_L - W_p} \quad \text{Ecu. 8 Índice de liquidez}$$

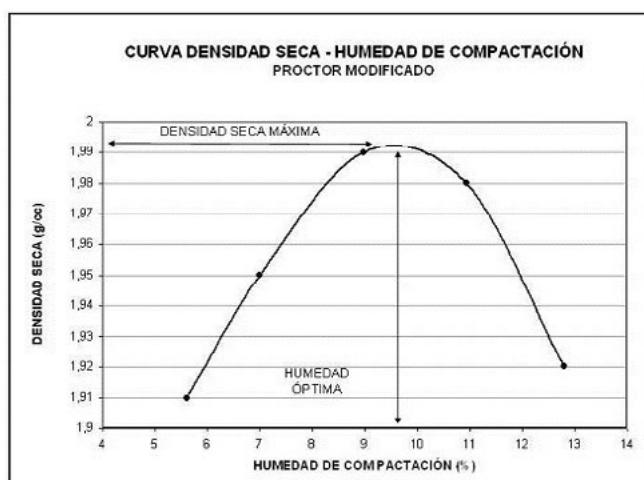
Donde:

- WP = límite plástico
- WL = Límite líquido
- Wn = Humedad natural

Determinación de la densidad y humedad

Se prepara una muestra que tenga la misma densidad y humedad que se proyecta alcanzar en el sitio donde se construirá el pavimento (Chang, 2014).

Figura 5. Curva densidad máxima y humedad seca



Fuente: extraído de Chang (2014).

Expansión del material

Los adobes, suelos orgánicos y algunos suelos cohesivos tienen expansiones muy grandes generalmente mayor del 10%. Los especímenes son saturados por 96 horas, con una sobrecarga igual peso del pavimento que se utilizará en el campo, pero en ningún caso será menor que 4.50k. Es necesario durante este periodo tomar registros de expansión cada 24 horas y al final de la saturación tomar el porcentaje de expansión que es (Chang, 2014)

$$\%E = \frac{\text{Expansión}}{\text{Altura de la muestra}} * 100 \quad \text{Ecu. 9 Porcentaje de la altura inicial}$$

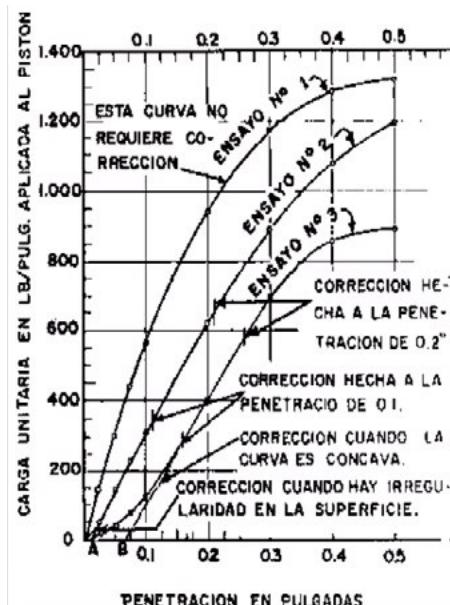
$$\text{Expansión} = E = E' * 0.001 \text{ plg} \quad \text{Ecu. 10 Expansión}$$

$$E' = \text{Diferencias de lecturas dial (plg)} = \text{lectura final} - \text{lectura inicial del dial}$$

Las normas instituyen que los materiales directos para:

- Sub base deben tener expansiones menores de 2%
- Base deben tener expansiones menores de 1%

Figura 6. Penetración vs carga del pistón



Fuente: extraída de Chang (2014).

En la ingeniería civil, el pavimento es una estructura formada por distintas capas de materiales que permiten soportar las cargas vehiculares y/o de otros tipos. Además de resistir el tráfico también cumple otras funciones como la de proveer una superficie de rodadura uniforme, impermeable, antideslizante y resistente a los agentes del medio ambiente (PROCCSA, 2020)

Capítulo 2

Diseño de pavimentos

SOLUCIONES SOSTENIBLES DE PAVIMENTACIÓN PARA ZONAS RURALES

El diseño de pavimentos consiste en la determinación de los espesores de cada capa que constituye la sección estructural del pavimento, la cual permitirá soportar las cargas durante un periodo de tiempo determinado. Existen diferentes métodos de diseño de pavimentos, los cuáles toman en cuenta principalmente los siguientes factores: tránsito o condiciones de carga, características del suelo de cimentación, características de los materiales que constituyen las capas del pavimento, agentes ambientales y periodo de diseño (PROCCSA, 2020).

Un diseño de pavimentos permite optimizar los volúmenes de materiales de construcción a utilizar, mejorar la vida útil esperada y/o incrementar la resistencia de la sección estructural del pavimento o de alguna de sus capas. Es decir, con un adecuado diseño de pavimentos se proyectan vías terrestres técnica y económicamente factibles (PROCCSA, 2020).

Con el diseño de pavimentos también se pueden comparar diferentes alternativas de materiales y de espesores de capa. Cada método de diseño tiene algún parámetro que permite identificar la calidad o la resistencia del pavimento, ya sea mediante un coeficiente o una equivalencia que representa el paquete estructural (PROCCSA, 2020).

Los métodos de diseño de pavimentos también pueden utilizarse con otras finalidades, como la de determinar la vida remanente. Esto se logra mediante un cálculo inverso de la sección estructural del pavimento, conociendo los espesores y las características de los materiales tanto del pavimento como de las terracerías. La vida remanente del pavimento es muy importante, ya que permite tomar medidas para la conservación de las vías terrestres (PROCCSA, 2020).

Diseño de Pavimento articulado

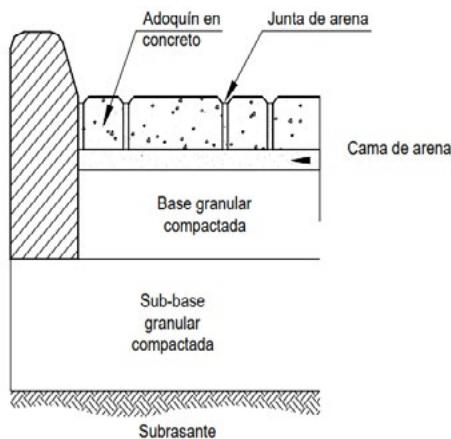
Los pavimentos articulados comportan de la misma manera que el pavimento flexible, es por ello que para su diseño se utilizan el mismo método de pavimento flexible o pavimento asfáltico. La principal característica de un pavimento flexible es que los esfuerzos y deformaciones dentro de su estructura se transmiten de forma vertical, por lo que las capas subyacentes

son más susceptibles a deteriorarse. Los pavimentos flexibles se componen de tres capas primordialmente, carpeta, base y subbase (PROCCSA, 2020).

Capas del pavimento articulado

Un pavimento articulado este compuesto por una capa de rodadura de adoquines de concreto, la capa de base y la de subbase cuando la anterior exista y opcionalmente una capa de mejoramiento de la subsanante (Castillo, 2003).

Figura 7. Capas de pavimento articulado



Fuente: extraído de Castillo (2003).

Capa de Rodadura

Su función primordial de esta capa es proteger la base impermeabilizando la superficie para evitar infiltraciones de agua lluvia, esta permite proporcionar una superficie de rodadura lisa, y evita el desgaste de la base debido al tráfico de vehículos, así como incrementar la capacidad de sопорте del pavimento (Rebolledo, 2010).

Rasante

Es la que corresponde a la superficie de rodadura terminada (Rebolledo, 2010).

Base

Es la principal capa situada debajo de la carpeta asfáltica y su función principal es distribuir las cargas a la sub-base, por lo que se la debe construir con piedra de buena calidad, triturada y mezclada con material de relleno, o bien con suelo y grava. Su estabilidad dependerá de la graduación de las partículas, su forma, densidad relativa, fricción interna y cohesión, por lo que el material debe cumplir con las normas AASHTO; estar libre de impurezas orgánicas, y la porción retenida en el tamiz N° 4 debe cumplir con la prueba de desgaste. Por su parte, el porcentaje que pasa la malla N° 40 debe cumplir con los límites indicados en y el porcentaje que pasa la malla 200 debe ser menor que la mitad del porcentaje que pasa el tamiz N°.40 (Rebolledo, 2010).

Sub-base

En los pavimentos flexibles, la sub-base es la capa situada debajo de la base y sobre la capa sub-rasante, se encarga de soportar y distribuir uniformemente las cargas aplicadas en la rodadura de pavimento. Debe por lo tanto ser capaz de controlar los cambios de volumen y elasticidad, que puedan dañar el pavimento. En su construcción se recomienda el empleo de materiales granulares (Rebolledo, 2010).

El material de la sub-base debe tener un CBR mayor que el de la subrasante y su espesor puede variar por tramos, de acuerdo con la calidad de la subrasante. Para su construcción se verificará que los materiales cumplan con la AASHTO sobre una muestra saturada, sin bloques mayores que 2/3 del espesor de la capa, verificando el IP y límites segín, además de estar libre de impurezas. Se colocan en capas de 20 cm máximo, homogenizadas, conformadas y compactadas, hasta alcanzar su máxima densidad (Rebolledo, 2010).

Subrasante

Es la capa del terreno de una carretera que soporta la estructura de pavimento. Se extiende hasta una profundidad que no afecte la carga que corresponde al tránsito previsto. Esta puede estar formada en corte o relleno y una vez compactada debe tener las secciones transversales y pendientes especificadas en los planos finales de diseño (Rebolledo, 2010).

Método AASHTO (93) en el diseño de pavimentos flexibles y articulados

La aplicación del Método AASHTO-72 se mantuvo hasta mediados del año 1983, cuando se determinó que, aun cuando el procedimiento que se aplicaba alcanzaba sus objetivos básicos, podían incorporársele algunos de los adelantos logrados en los análisis y el diseño de pavimentos que se habían conocido y estudiado desde ese año 1972. Por esta razón, en el período 1984-1985 el Subcomité de Diseño de Pavimentos junto con un grupo de Ingenieros Consultores comenzó a revisar el “Procedimiento Provisional para el Diseño de Pavimentos AASHTO-72”, y a finales del año 1986 concluye su trabajo con la publicación del nuevo “Manual de Diseño de Estructuras de Pavimentos AASHTO 86” y sigue una nueva revisión en el año 1993, por lo cual, hoy en día, el método se conoce como Método AASHTO-93 (AASHTO, 1993).

Este Manual mantiene las ecuaciones de comportamiento de los pavimentos que se establecieron en el Experimento Vial de la AASHO en 1961, como los modelos básicos que deben ser empleados en el diseño de pavimentos; introduciendo, sin embargo, los cambios más importantes sucedidos en diferentes áreas del diseño, incluyendo las siguientes (AASHTO, 1993):

1. Incorporación de un “Factor de Confiabilidad” – fundamentado en un posible cambio del tráfico a lo largo del período de diseño, que permite al Ingeniero Proyectista utilizar el concepto de análisis de riesgo para los diversos tipos de facilidades viales a proyectar (AASHTO, 1993).

2. Sustitución del Valor Soporte del Suelo (Si), por el Módulo Resiliente (Método de Ensayo AASHTO T274), el cual proporciona un procedimiento de laboratorio racional, o mejor aún de carácter científico que se corresponde con los principios fundamentales de la teoría elástica para la determinación de las propiedades de resistencia de los materiales.
3. Empleo de los módulos resilientes para la determinación de los coeficientes estructurales, tanto de los materiales naturales o procesados, como de los estabilizados (AASHTO, 1993).
4. Establecimiento de guías para la construcción de sistemas de sub-drenajes, y modificación de las ecuaciones de diseño, que permiten tomar en cuenta las ventajas que resultan, sobre el comportamiento de los pavimentos, como consecuencia de un buen drenaje (AASHTO, 1993).
5. Sustitución del “Factor Regional” - valor indudablemente bastante subjetivo – por un enfoque más racional que toma en consideración los efectos de las características ambientales -tales como humedad y temperatura- sobre las propiedades de los materiales (AASHTO, 1993).

$$\log_{10} W_{t18} = Z_r * S_0 + 9.36 * \log_{10}(SN + 1) - 0.20 + \frac{\log_{10} \left[\frac{\Delta PSI}{4.20 - 1.50} \right]}{0.40 + \frac{1094}{(SN+1)^{5.19}}} +$$

2.32 * $\log_{10} M_r - 8.07$ **Ecu. 11 Ecuación AASHTO-93 de diseño pavimento**

Donde:

- SN = Número estructural
- Wt18 = Número de cargas de 18 kips (80 KN) previstas
- Zr = Desviación estándar normal
- So = Error estándar combinado de la predicción del tráfico
- ΔPSI = Diferencia de serviciabilidad (Po-Pt)
- Po = Serviciabilidad inicial
- Pt = Serviciabilidad final
- Mr = Módulo de resiliencia

Confiabilidad (%R)

El método AASHTO incorpora el criterio de la confiabilidad (%R) que representa la probabilidad que una determinada estructura se comporte, durante su periodo de diseño, de acuerdo con lo previsto. Esta probabilidad está en función de la variabilidad de los factores que influyen sobre la estructura del pavimento y su comportamiento (MTC, 2014).

Tabla 5. Valores recomendados de nivel de confiabilidad para una sola etapa de diseño (10 o 20 años)

Tipos de caminos	Trafico	Ejes equivalentes combinados	Nivel confiabilidad [R%]
Caminos de bajo volumen de transito	Tpo	75.000	150.000
	Tp1	150.001	300.000
	Tp2	300.001	500.000
	Tp3	500.001	750.000
	Tp4	750.001	1.000.000
	Tp5	1.000.001	1.500.000
	Tp6	1.500.001	3.000.000
	Tp7	3.000.001	5.000.000
	Tp8	5.000.001	7.500.000
	Tp9	7.500.001	10.000.000
	Tp10	10.000.001	12.500.000
	Tp11	12.500.001	15.000.000
	Tp12	15.000.001	20.000.000
	Tp13	20.000.001	25.000.000
	Tp14	25.000.001	30.000.000
	Tp15	>30000000	95%

Fuente: extraído de AASHTO (1993).

Coeficiente Estadístico de Desviación Estándar Normal (ZR)

Representa el valor de la confiabilidad seleccionada, para un conjunto de datos en una distribución normal (MTC, 2014).

Tabla 6. Coeficiente estadístico de la desviación estándar normal (Z_r) para una sola etapa de diseño (10 o 20 años) según el nivel de confiabilidad seleccionado y el rango

Tipos de caminos	Trafico	Ejes equivalentes combinados	Desviación estándar normal [ZR]
Caminos de bajo volumen de transito	Tpo	75.000	-0.385
	Tp1	150.001	-0.524
	Tp2	300.001	-0.674
	Tp3	500.001	-0.842
	Tp4	750.001	-0.842
	Tp5	1.000.001	-1.036
	Tp6	1.500.001	-1.036
	Tp7	3.000.001	-1.036
	Tp8	5.000.001	-1.282
	Tp9	7.500.001	-1.282
	Tp10	10.000.001	-1.282
	Tp11	12.500.001	-1.282
	Tp12	15.000.001	-1.645
	Tp13	20.000.001	-1.645
	Tp14	25.000.001	-1.645
	Tp15	>30000000	-1.645

Fuente: extraído de AASHTO (1993).

Desviación estándar combinada (So)

Es un valor que toma en cuenta la variabilidad esperada de la predicción del tránsito y de los otros factores que afectan el comportamiento del pavimento. La guía (AASHTO, 1993), recomienda adoptar para los pavimentos flexibles, valores de Socomprendidos entre 0.40 y 0.50. El manual recomienda el valor de 0,45 (MTC, 2014).

Índice de Serviciabilidad Presente (PSI)

Es la comodidad de circulación ofrecida al usuario. Su valor varía de 0 a 5. Un valor de refleja la mejor comodidad teórica (difícil de alcanzar) y

por el contrario un valor de 0 refleja el peor. Cuando la condición de la vía decrece por deterioro, el PSI también decrece (MTC, 2014).

Serviciabilidad Inicial (Pi)

Es la condición de una vía recientemente construida (MTC, 2014).

Tabla 7. Índice de serviciabilidad inicial (Pi) según rango de tráfico

Tipos de caminos	Trafico	Ejes equivalentes combinados	Índice de serviciabilidad inicial [Pi]
Caminos de bajo volumen de transito	Tp1	150.001	3.80
	Tp2	300.001	3.80
	Tp3	500.001	3.80
	Tp4	750.001	3.80
Restos de caminos	Tp5	1.000.001	4.00
	Tp6	1.500.001	4.00
	Tp7	3.000.001	4.00
	Tp8	5.000.001	4.00
	Tp9	7.500.001	4.00
	Tp10	10.000.001	4.00
	Tp11	12.500.001	4.00
	Tp12	15.000.001	4.20
	Tp13	20.000.001	4.20
	Tp14	25.000.001	4.20
	Tp15	>30000000	4.20

Fuente: extraído de AASHTO (1993).

Serviciabilidad final o terminal (Pt)

Es la condición de una vía que ha alcanzado la necesidad de algún tipo de rehabilitación o reconstrucción (MTC, 2014).

A continuación, se indican los índices de serviciabilidad inicial para los diferentes tipos de tráficos:

Tabla 8. Índice de serviciabilidad final (Pt) según rango de tráfico

Tipos de caminos	Trafico	Ejes equivalentes combinados	Índice de serviciabilidad final [PT]
Caminos de bajo volumen de transito	Tp1	150.001	300.000
	Tp2	300.001	500.000
	Tp3	500.001	750.000
	Tp4	750.001	1.000.000
Restos de caminos	Tp5	1.000.001	1.500.000
	Tp6	1.500.001	3.000.000
	Tp7	3.000.001	5.000.000
	Tp8	5.000.001	7.500.000
	Tp9	7.500.001	10.000.000
	Tp10	10.000.001	12.500.000
	Tp11	12.500.001	15.000.000
	Tp12	15.000.001	20.000.000
	Tp13	20.000.001	25.000.000
	Tp14	25.000.001	30.000.000
	Tp15	>30000000	3.00

Fuente: extraído de AASHTO (1993).

Variación de serviciabilidad (Δ PSI)

Es la diferencia entre la serviciabilidad inicial y terminal asumida para el proyecto en desarrollo (MTC, 2014).

Tabla 9. Diferencial de serviciabilidad (Δ PSI) según rango de tráfico

Tipos de caminos	Trafico	Ejes equivalentes combinados	Diferencial de serviciabilidad [ΔPSI]
Caminos de bajo volumen de transito	Tp1	150.001	300.000
	Tp2	300.001	500.000
	Tp3	500.001	750.000
	Tp4	750.001	1.000.000

	Tp5	1.000.001	1.500.000	1.50
	Tp6	1.500.001	3.000.000	1.50
	Tp7	3.000.001	5.000.000	1.50
	Tp8	5.000.001	7.500.000	1.50
	Tp9	7.500.001	10.000.000	1.50
Restos de caminos	Tp10	10.000.001	12.500.000	1.50
	Tp11	12.500.001	15.000.000	1.50
	Tp12	15.000.001	20.000.000	1.20
	Tp13	20.000.001	25.000.000	1.20
	Tp14	25.000.001	30.000.000	1.20
	Tp15	>30000000		1.20

Fuente: extraído de AASHTO (1993).

Módulo resiliente del material de la subrasante

Las ecuaciones de correlación recomendadas son las siguientes:

Tabla 10. Correlación del módulo resiliente con el C.B.R.

Valor	Módulo resiliente
$CBR \leq 7.20\%$	$MR=1500^*CBR$
$7.20 \leq CBR \leq 20.00\%$	$MR=3000^*CBR^{0.65}$
$CBR \geq 20.00\%$	$MR=4326^*\ln(CBR)+241$

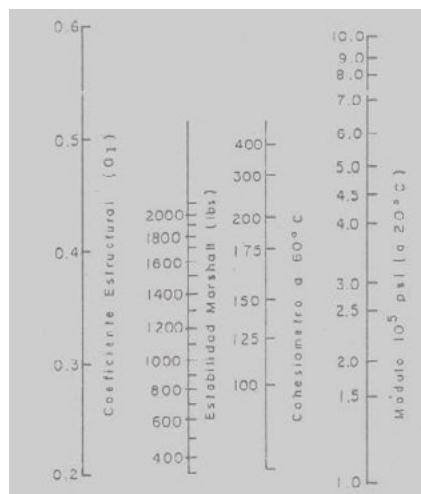
Fuente: extraído de AASHTO (1993).

Coeficientes estructurales (ai)

Los materiales usados en cada una de las capas de la estructura de un pavimento flexible tienen un coeficiente estructural “a”. Estos coeficientes representan la capacidad estructural del material para resistir las cargas solicitantes y están basados en correlaciones obtenidas a partir de la prueba AASHO de 1958-60 y ensayos posteriores.

Coeficiente de aporte estructural de la mezcla asfáltica a1

Figura 8. Valores del coeficiente estructural (a_1) para mezclas asfálticas densamente gradadas empleadas como capa de rodamiento y/o intermedia, a partir de la estabilidad Marshall

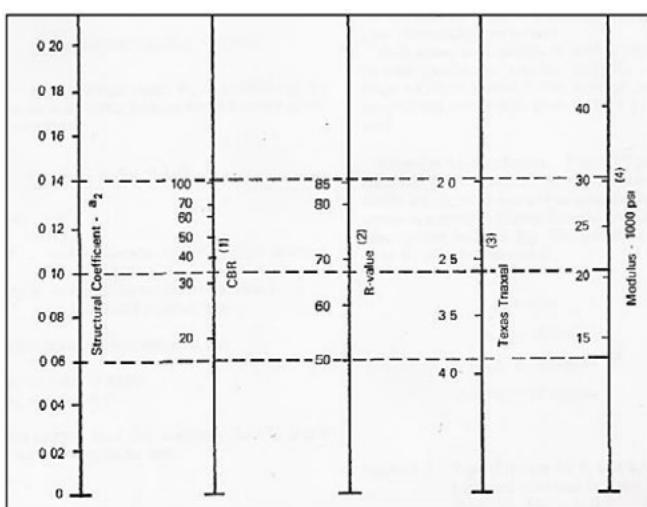


Fuente: extraído de AASHTO (1993).

Módulo resiliente de la capa de base

Figura 9. Figura para determinar el coeficiente estructural (a_2) de la base granular

a_2



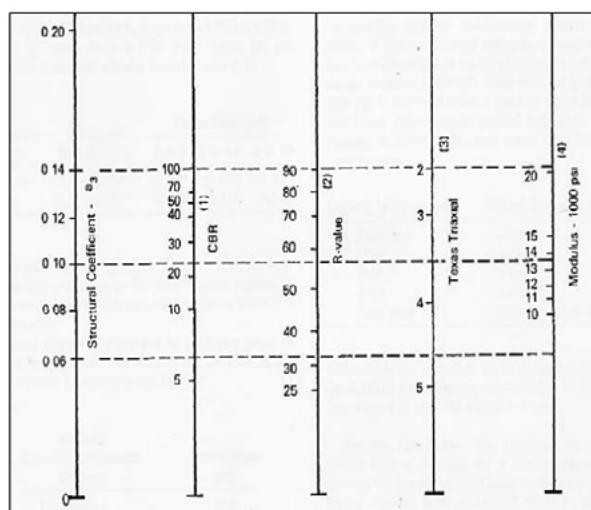
Fuente: extraído de AASHTO (1993).

Donde:

1. Escala derivada de correlaciones de Illinas.
2. Escala derivada de correlaciones obtenidas del Instituto de Asfalto California, Nuevo México y Wyaming.
3. Escala derivada de correlaciones obtenidas de Texas.
4. Escala derivada del proyecto (3) del NCHRP.

Módulo resiliente de la capa de subbase

Figura 10. Gráfico para determinar el coeficiente estructural (a_3) de la Subbase granular



Fuente: extraído de AASHTO (1993).

Donde:

1. Escala derivada de correlaciones de Illinas.
2. Escala derivada de correlaciones obtenidas del Instituto de Asfalto Clifornia, Nuevo Mexico y Wyaming.
3. Escala derivada de correlaciones obtenidas de Texas.
- 4.- Escala derivada del proyecto (3) del N.

Coeficientes de Drenaje m_1, m_2

El valor del coeficiente de drenaje está dado por dos variables que son:

- La calidad del drenaje.
- Exposición a la saturación, que es el porcentaje de tiempo durante el año en que un pavimento está expuesto a niveles de humedad que se aproximan a la saturación (AASHTO, 1993).

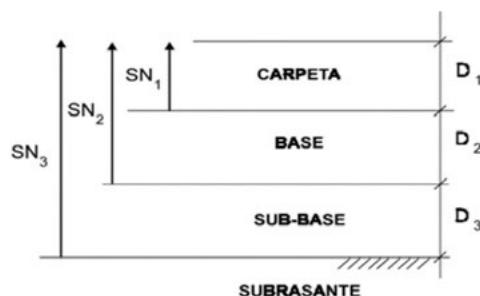
Tabla 11. Calidad del drenaje

Calidad del drenaje	$p = \%$ del tiempo en que el pavimento está expuesto a niveles de humedad cercano a la saturación			
	Menor que 1%	1% - 5%	5% - 25%	Mayor que 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: extraído de AASHTO (1993).

Números estructurales de capas

Figura 11. SN de la estructura del pavimento



Fuente: extraído de AASHTO (1993).

$$D_1 \geq \frac{SN_1}{a_1} \quad \text{Ecu. 12 } D_1$$

Se adopta un espesor D1 ligeramente mayor y el número estructural absorbido por esta capa será:

$$SN_1 = a_1 D_1 \quad \text{Ecu. 13 } `SN_1$$

Para determinar el espesor mínimo de la capa base, se entra al ábaco con el MR de la sub-base, para obtener el número estructural SN2 que será absorbido por la carpeta y la cana base, de donde:

$$D_2 \geq \frac{SN_2 - SN_1}{a_2 * m_2} \geq \frac{SN_b}{a_2 * m_2} \quad \text{Ecu. 14 } D_2$$

Se adopta un espesor D2 ligeramente mayor y el número estructural absorbido será:

$$SN_b = a_2 m_2 D_2 \quad \text{Ecu. 15 } \text{número estructural de la base}$$

Finalmente, para la sub-base se ingresa con el MR que corresponde a la sub-rasante y se obtiene $SN_3 = SN$ para todo el paquete estructural, por tanto, el espesor será:

$$D_3 \geq \frac{SN - SN_1}{a_3 * m_3} \geq \frac{SN_{sb}}{a_3 * m_3} \quad \text{Ecu. 16 } D_3$$

Se adopta un espesor D3 ligeramente mayor y el número estructural absorbido por la sub-base será:

$$SN_3 = a_3 m_3 D_3 \quad \text{Ecu. 17 } \text{número estructural de la sub-base}$$

La suma de los números estructurales de las capas que constituyen el pavimento debe ser mayor o igual a:

$$SN_1 + SN_2 + SN_3 \geq SN \quad \text{Ecu. 18 } \text{condición capas de pavimento}$$

Este procedimiento no es aplicable para determinar espesores de capas que estén sobre otras que tengan un módulo resiliente mayor de 280 Mpa (40000 PSI); en estos casos, el espesor de la capa colocada sobre otra que tenga estas características deberá ser definida por el costo-eficiencia de la misma o utilizar espesores mínimos desde el punto de vista constructivo (AASHTO, 1993).

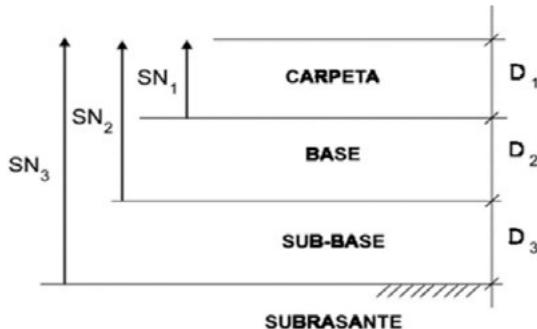
Tabla 12. Calidad del drenaje

Calidad del drenaje	p=% del tiempo en que el pavimento está expuesto a niveles de humedad cercano a la saturación			
	Menor que 1%	1% - 5%	5% - 25%	Mayor que 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: extraído de AASHTO (1993).

Números estructurales de capas

Figura 12. SN de la estructura del pavimento



Fuente: extraído de AASHTO (1993).

$$D_1 \geq \frac{SN_1}{a_1} \quad \text{Ecu. 12 } D_1$$

Se adopta un espesor D₁ ligeramente mayor y el número estructural absorbido por esta capa será:

$$SN_1 = a_1 D_1 \quad \text{Ecu. 13 } `SN_1$$

Para determinar el espesor mínimo de la capa base, se entra al ábaco

con el MR de la sub-base, para obtener el número estructural SN₂ que será absorbido por la carpeta y la capa base, de donde:

$$D_2 \geq \frac{SN_2 - SN_1}{a_2 * m_2} \geq \frac{SN_b}{a_2 * m_2} \quad \text{Ecu. 14 D2}$$

Se adopta un espesor D₂ ligeramente mayor y el número estructural absorbido será:

$$SN_b = a_2 m_2 D_2 \quad \text{Ecu. 15 número estructural de la base}$$

Finalmente, para la sub-base se ingresa con el MR que corresponde a la sub-rasante y se obtiene SN₃ = SN para todo el paquete estructural, por tanto, el espesor será:

$$D_3 \geq \frac{SN - SN_1}{a_3 * m_3} \geq \frac{SN_{sb}}{a_3 * m_3} \quad \text{Ecu. 16 D3}$$

Se adopta un espesor D₃ ligeramente mayor y el número estructural absorbido por la sub-base será:

$$SN_3 = a_3 m_3 D_3 \quad \text{Ecu. 17 número estructural de la sub-base}$$

La suma de los números estructurales de las capas que constituyen el pavimento debe ser mayor o igual a:

$$SN_1 + SN_2 + SN_3 \geq SN \quad \text{Ecu. 18 condición capas de pavimento}$$

Este procedimiento no es aplicable para determinar espesores de capas que estén sobre otras que tengan un módulo resiliente mayor de 280 Mpa (40000 PSI); en estos casos, el espesor de la capa colocada sobre otra que tenga estas características deberá ser definida por el costo-eficiencia de la misma o utilizar espesores mínimos desde el punto de vista constructivo (AASHTO, 1993).

Capítulo 3

Tráfico promedio diario anual de la calle b y sus intersecciones calles 6,7 y 8 de la comuna Joa del Cantón Jipijapa

Resumen de tráfico promedio diario anual

Tabla 13. Resumen del conteo vehicular diario

Tipo de Vehículo	DICIEMBRE 2023							TO-TAL, TS	PRO-ME-DIO [TD]	% PESA-DOS
	Lunes 07	Martes 08	Miércoles 09	Jueves 10	Vier-nes 11	Sá-bado 12	Do-mingo 13			
Livialos	11	9	9	14	10	10	8	71	10	0.755
2D	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.000
2DA	2	2	4	3	3	4	5	23	3	0.245
2DB	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.000
3A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.000
4O	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.000
V3A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.000
Total, [TD]	13	11	13	17	13	14	13	94	13	1.00

Fuente: extraído de Vinculación CIC UNESUM (2023).

Tabla 14. Resumen de Volumen de tráfico de doble sentido

Livianos		Buses	Camio-nenes					
Días	Trafico 12 h	Trafico 12 h	Trafico 12 h	TO-TAL	% LI-VIA-NOS	% BU-SSES	% CA-MIO-NES	% TOTAL
Lunes	11	0	2	13	0.85	0.00	0.15	1.00
Martes	9	0	2	11	0.82	0.00	0.18	1.00
Miércoles	9	0	4	13	0.69	0.00	0.31	1.00
jueves	14	0	3	17	0.82	0.00	0.18	1.00
vier-nes	10	0	3	13	0.77	0.00	0.23	1.00
Sába-do	10	0	4	14	0.71	0.00	0.29	1.00
Do-mingo	8	0	5	13	0.62	0.00	0.38	1.00
PROMEDIO					0.75	0.00	0.25	1.00
	71	0	23	94	0.76	0.00	0.24	1.00

Fuente: extraído de Vinculación CIC UNESUM (2023).

Cálculo del volumen de tránsito semanal (TS)

Volumen medio de 3 días laborables

$$TS = \frac{\text{Días laborables}}{\# \text{ de Días}}$$

$$TS = \frac{13 + 11 + 13}{3} = \frac{37}{3} = 13$$

$$VTS = (TS * 2) + TVD$$

$$VTS = (13 * 2) + (13 + 11 + 13 + 17 + 13 + 14 + 13)$$

$$VTS = 26 + 94 = 120$$

$$VTS = 120 \text{ veh/día}$$

Tránsito promedio diario semanal

Porcentaje de vehículos que circulan de 6:00 am – 18:00 pm estimado por percepción observatorio 80%

$$TPDS_{24h} = \frac{\text{Tránsito Semanal}}{\% \text{volumen que circulan 12h}}$$

$$TPDS_{24h} = \frac{120}{80\%}$$

$$TPDS_{24h} = 150 \text{ veh/día}$$

Tránsito existente

$$TE = \frac{TPDS}{7 \text{ Días}}$$

$$TE = \frac{150}{7} = 21 \text{ Veh/día}$$

Tránsito actual

Volumen horario de diseño

K= 5-10 % (para el estudio =8%)

$$VHD = K * TE$$

$$VHD = 0.08 * 21 = 2 \text{ veh/día}$$

$$TPDA = VHD * 24$$

$$TPDA = 2 \frac{\text{veh}}{\text{día}} * 24h = 48 \text{ veh}$$

Tabla 15. Tráfico actual

CLASE	TPDA	%	Nº Vehículos	Tráfico desviado (2%)	Tráfico generado (10%)	Tráfico por desarrollo (5%)	Tráfico actual
Livialino		0.75	71	1	7	4	83
Buses	48	0.00	0	0	0	0	0
Camiones		0.25	23	0	2	1	26
Total		1.00	94	TRAFICO ACTUAL			109

Fuente: elaboración propia

Intensidad de tráfico transformada a vehículos livianos

Tabla 16. Intensidad de tráfico transformada a vehículos livianos

Intensidad de Tráfico Transformada a Vehículos Livianos			
Clases	Nº/Clases	Factor de transformación	Tráfico actual
Livialinos	83	1	83
Buses	0	2.5	0
Camiones	26	4.5	117
SUMAN	109		200

Fuente: elaboración propia

Tabla 17. Coeficiente de Transformación

Tipo De Vehículo	Coeficiente De Transformación	Tipo De Vehículo	Coeficiente De Transformación
Livialinos	1	Remolques con capacidad de carga en kg	
Motocicletas	0.5	Hasta 600	3
Buses pesados con capacidad de carga en kg:		12000	3.5
Hasta 2000	1.5	20000	4
5000	2	30000	5
8000	2.5	Mayor a 30000	6

Tipo De Vehículo	Coeficiente De Transformación	Tipo De Vehículo	Coeficiente De Transformación
14000	3.5		
Mayor a 14000	4.5		
NOTA: Para terrenos ondulados y montañosos estos coeficientes aumentan 1.4 y 2.0 veces respectivamente, menos para vehículos livianos.			

Fuente: extraído de NEVI (2013).

Tabla 18. Tasa de crecimiento del tráfico %

PERIODO	LIVIANOS	BUS	CAMIONES
2010 – 2015	4.23%	2.87%	2.10%
2015 – 2020	3.65%	2.55%	1.87%
2020 – 2025	3.14%	2.29%	1.68%
2025 – 2040	2.80%	2.08%	1.53%

Fuente: extraído de NEVI (2013).

Tabla 19. Cálculo del tráfico futuro

Trafficó futuro										
Clase	ta (2022)	r (2022- 2024)	n	tf (2024)	r (2024 -2029)	n	tf (2029)	r (2029 -2042)	n	tf (2038)
Livia- no	83	3.65%	2	90	2.80%	5	104	2.80%	13	149
Buses	0	2.55%	2	0	2.08%	5	0	2.08%	13	0
Ca- mio- nes	117	1.87%	2	122	1.53%	5	132	1.53%	13	161
Total, trafficó futuro										310

Fuente: elaboración propia

Tabla 20. Clasificación funcional de la vía de diseño en base al TPDA

Clasificación funcional de las vías en base al TPDA			
Descripción	Clasificación funcional	Tráfico promedio Diario Anual TPDAd	
		Límite inferior	Límite superior
Autopista	AP2	80000	120000
	AP1	50000	80000
Autowía o carretera multicarril	AV2	26000	50000
	AV1	8000	26000
Carretera de 2 carriles	C1	1000	8000
	C2	500	1000
	C3	0	500

Fuente: extraído de NEVI (2013).

La calle B y sus intersecciones calles 6, 7 y 8 de la comuna Joa del cantón Jipijapa según el estudio y análisis realizado mediante el método de volumen de tráfico TPDA y en base al Ministerio de Transportes y Obras Públicas, la calle es carretera de dos carriles con una clasificación tipo C3.

Coeficiente de equivalencia de cargas

Para calcular el número de ejes totales para el diseño, hay que convertir las cargas por eje de todos los tipos y magnitudes que circulan por la vía a la carga de cálculo.

$$Fe = \left(\frac{P}{P_c} \right)^b$$

Tabla 21. Coeficiente de equivalentes de cargas

Valores de PC			
Configuración	Simples	Tándem	Triple
Ruedas simples	6.60	11.08	13.90
Ruedas duales	8.20	15.00	23.00

Fuente: extraído obtenidos de los valores de PC.

El exponente tiene en cuenta el tipo de estructura, siendo en flexibles igual a 4, en estructuras tipo semirrígidas igual a 8 y para rígidas igual a 12.

Tabla 22. PVP: proporción de vehículos pesados respecto al total (%)

Tipo de Vehículo	PVP: Proporción de vehículos pesados respecto al total (%)							Total, de pesados	[%] Pesados	[%] Pesados			
	DICIEMBRE 2023												
	Lunes 07	Martes 08	Miércoles 09	Jueves 10	Vier-nes 11	Sá-bado 12	Do-mingo 13						
Livia-nos	11	9	9	14	10	10	8	71	71	75.53 -			
2D	0	0	0	0	0	0	0	0		0.00			
2DA	2	2	4	3	3	4	5	23		100.00			
2DB	0	0	0	0	0	0	0	0	23	0.00			
3A	0	0	0	0	0	0	0	0		0.00			
4O	0	0	0	0	0	0	0	0		0.00			
V3A	0	0	0	0	0	0	0	0		0.00			
Total, TD	35	47	56	52	48	39	68	94	94.00	100 1.00			

Fuente: extraído de Vinculación CIC UNESUM (2023).

Número de carriles = 2 carriles

Pvp = 24.47%

TE = 21.00 Veh/día

Tabla 23. Tráfico actual para diseño estructural

Tráfico actual para diseño estructural				
Te	Td(2%)	Tg(10%)	T*Des.(5%)	Ta
21	0.42	2.1	1.05	26.00

Fuente: elaboración propia

Para el valor de la tasa de crecimiento, el MTOP ha realizado estudios, en los cuales determina que para todo el Ecuador dicha tasa varía entre el 5% y el 7%

$$TPDAo = Ta * (1 + r)^n$$

$$TPDAo = 26.00 * (1 + 0.07)^2 = 30 \text{ veh.}$$

Estimación de la intensidad diaria de vehículos pesados

Pvp = proporción de vehículos pesados respecto al total % = 24.47%

Pcd = proporción de vehículos pesados en el carril de diseño % = 100%

Nº de carriles = 1 por cada sentido

Tabla 24. Distribución del tránsito en función del número de carriles

N. de carriles en cada dirección	Porcentaje de vehículos pesados por el carril de diseño
1	100
2	80 - 100
3	60 - 80
4	50 - 75

Fuente: extraído de Cobos (2018).

K = distribución por sentido de circulación = 1.00

$$ICDo = TPDAo * \frac{Pvp}{100} * \frac{Pcd}{100} * k$$

$$ICDo = 30 * \frac{24.47}{100} * \frac{100}{100} * 1.00 = 8 \text{ veh.}$$

Tabla 25. Coeficiente de equivalencia de cargas

Tipo	Carga total	Carga/Eje	[%] Veh	Pc	Fe=[P/Pc]^b	Fce
2D	7.00	3.00	0.00	6.60	0.04269	0.00000
		4.00		8.20	0.05662	0.00000
2DA	10.00	3.00	1.00	6.60	0.04269	0.042690
		7.00		8.20	0.53105	0.531050

Tipo	Carga total	Carga/Eje	[%] Veh	Pc	Fe=[P/Pc]^b	Fce
2DB	18.00	7.00	0.00	6.60	1.26537	0.00000
		11.00		8.20	3.23829	0.00000
3a	27.00	7.00	0.00	6.60	1.26537	0.00000
		20.00		15.00	3.16049	0.00000
V3A	27.00	7.00	0.00	6.60	1.26537	0.00000
		20.00		15.00	3.16049	0.00000
Total		1.00				0.57374

Fuente: elaboración propia

Determinación del Tráfico de Diseño

El tráfico de diseño es el número de ejes equivalentes a la carga de cálculo que se prevé para el carril de diseño, durante el periodo de diseño. El tráfico de diseño hasta el año n, se determina como:

$$Nn = 365 * ICDO * Kr * Fce$$

Donde:

- Fce = Factor camión-eje
- n = Periodo de diseño
- Kr = Factor que toma en cuenta el incremento del tránsito hasta el año n, se calcula como r= 8% n = 20 años

Estimación de la intensidad diaria de vehículos pesados

- Pvp = proporción de vehículos pesados respecto al total % = 24.47%
- Pcd = proporción de vehículos pesados en el carril de diseño % = 100%
- N° de carriles = 1 por cada sentido

Tabla 26. Distribución del tránsito en función del número de carriles

N. de carriles en cada dirección	Porcentaje de vehículos pesados por el carril de diseño
1	100
2	80 - 100
3	60 - 80
4	50 - 75

Fuente: extraído de Cobos (2018).

K = distribución por sentido de circulación = 1.00

$$ICDo = TPDAo * \frac{Pvp}{100} * \frac{Pcd}{100} * k$$

$$ICDo = 30 * \frac{24.47}{100} * \frac{100}{100} * 1.00 = 8 \text{ veh.}$$

Tabla 27. Coeficiente de equivalencia de cargas

Tipo	Carga total	Carga/Eje	[%] Veh	Pc	Fe=[P/Pc]^b	Fce
2D	7.00	3.00	0.00	6.60	0.04269	0.00000
		4.00		8.20	0.05662	0.00000
2DA	10.00	3.00	1.00	6.60	0.04269	0.042690
		7.00		8.20	0.53105	0.531050
2DB	18.00	7.00	0.00	6.60	1.26537	0.00000
		11.00		8.20	3.23829	0.00000
3a	27.00	7.00	0.00	6.60	1.26537	0.00000
		20.00		15.00	3.16049	0.00000
V3A	27.00	7.00	0.00	6.60	1.26537	0.00000
		20.00		15.00	3.16049	0.00000
Total			1.00			0.57374

Fuente: elaboración propia

Determinación del tráfico de diseño

El tráfico de diseño es el número de ejes equivalentes a la carga de cálculo que se prevé para el carril de diseño, durante el periodo de diseño. El tráfico de diseño hasta el año n, se determina como:

$$Nn = 365 * ICDO * Kr * Fce$$

Donde:

- Fce = Factor camión-eje
- n = Periodo de diseño
- Kr = Factor que toma en cuenta el incremento del tránsito hasta el año n, se calcula como r= 8% n = 20 años

$$Kr = \frac{(1 + r)^n - 1}{\ln(1 + r)}$$

$$Kr = \frac{(1 + 0.08)^{20} - 1}{\ln(1 + 0.08)} = 47.57$$

$$Nn = 365 * ICDO * Kr * Fce$$

$$Nn = 365 * 8 * 47.57 * 0.57 = 79176 \text{ ejes de 8 ton}$$

Número de ejes equivalentes durante el periodo de diseño

El cálculo para los ejes equivalentes demuestra un total de 79176.00 de ejes de 8 ton.

Capítulo 4

Capacidad portante del suelo de las calles de estudio

Se detallan los parámetros técnicos mediante ensayos de laboratorio con el fin de determinar las características físicas y mecánicas del suelo de la calle B y sus intersecciones calles 6, 7 y 8 de la comuna Joa del cantón Jipijapa.

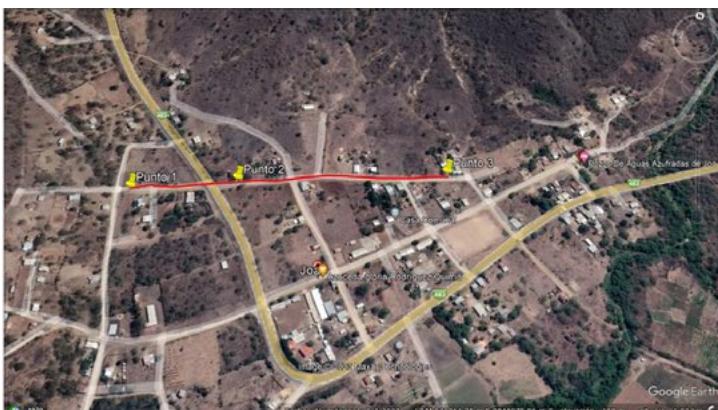
Ubicación de las Muestras Escogidas en la Comuna Joa

Tabla 28. Coordenadas de las muestras de suelo

Ubicación	Norte	Este
Muestra #1	9848084.77	540706.22
Muestra #2	9848114.30	540868.96
Muestra #3	9848158.75	541189.48

Fuente: extraído de Vinculación CIC UNESUM (2023).

Figura 13. Localización de muestras de suelo



Fuente: extraído de Google Earth (2024).

Tabla 29. Resumen de resultados obtenidos CBR

Resumen de resultados	
Muestra #1	CBR [%]
0.10 pulgada penetración	3.50
0.20 pulgada penetración	3.89
Muestra #2	
0.10 pulgada penetración	6.40
0.20 pulgada penetración	6.10

Resumen de resultados	
Muestra #1	CBR [%]
Muestra #3	CBR [%]
0.10 pulgada penetración	15.70
0.20 pulgada penetración	18.70
Muestra #4	CBR [%]
0.10 pulgada penetración	22.20
0.20 pulgada penetración	22.10

Fuente: elaboración propia

Resultado del estudio de suelo de CBR de muestra #1

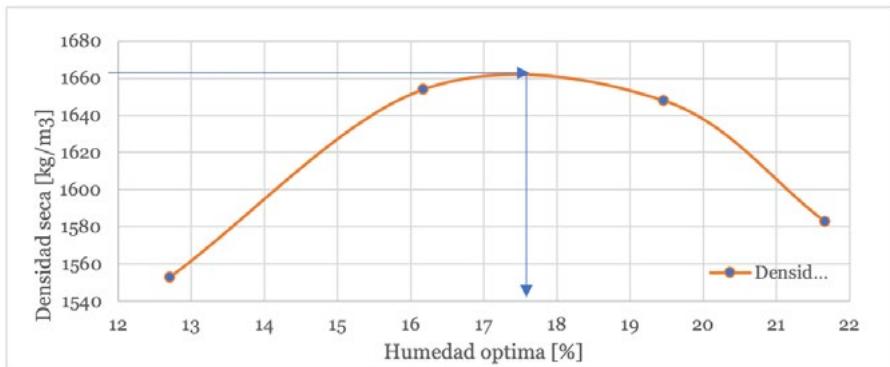
Tabla 30. Humedad y densidad optima de muestra #1

PRUEBA PROCTOR MODIFICADO ASTM (D-1557)				
Golpes por Capas	56.00	Proyecto:		
No Capas	3.00	Localiza-	ción:	Joa
Peso del Martillo [kg]	4.50	Volumen del Molde [cm ³]		2104.92
Altura de caída [cm]	30.00	Peso del Molde [gr]		3147.10
DATOS PARA LA CURVA				
MUESTRA No	1.00	2.00	3.00	4.00
P. Molde + Suelo Húmedo [gr]	6831.20	7193.50	7292.00	7200.20
Peso Molde [gr]	3147.10	3147.10	3147.10	3147.10
Peso Suelo Húmedo [g]	3684.10	4046.40	4144.90	4053.10
Cont. Promedio Agua [%]	12.71	16.17	19.46	21.66
Den. Húmeda [gr/cm ³]	1.750	1.922	1.969	1.926
Den. Seca [kg/ m ³]	1553	1654	1648	1583
CONTENIDO DE AGUA				
MUESTRA No	F1	N1	J2	3X2
Tara + Suelo Húmedo [gr]	187.13	193.65	167.04	179.15
				171.05
				176.03
				173.88
				179.04
Tara + Suelo Seco [gr]	169.48	174.55	147.15	158.44
				146.49
				152.96
				148.58
				151.03
Peso Tara [gr]	28.47	26.41	25.85	28.55
				26.17
				28.33
				26.77
				26.82

PRUEBA PROCTOR MODIFICADO ASTM (D-1557)								
Peso Agua [gr]	17.65	19.10	19.89	20.71	24.56	23.07	25.30	28.01
Peso Suelo Seco [gr]	141.01	148.14	121.30	129.89	120.32	124.63	121.81	124.21
Contenido de agua [%]	12.52	12.89	16.40	15.94	20.41	18.51	20.77	22.55
Contenido prom. de agua [%]	12.71		16.17		19.46		21.66	
RESULTADOS								
Humedad Optima máxima [%]					17.60			
Densidad Seca Máxima [kg/m ³]					1655.00			

Fuente: extraído de Vinculación CIC UNESUM (2023).

Figura 14. Humedad y densidad optima de muestra #1



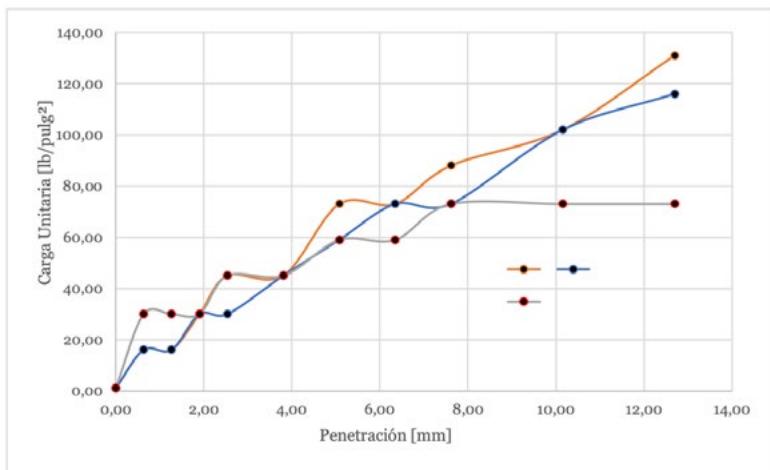
Fuente: extraído de Vinculación CIC UNESUM (2023).

Tabla 31. Ensayo de CBR de penetración muestra #1

CBR - METODO AASHTO T-193					
	[mm]	[pulg]	LECTURA DIAL	CARGA = -0.0062*(LD ²) +43.204* (LD)+ 4.073 [lb]	CARGA UNITA- RIA [lb/pulg ²]
65 GOL- PES	0.00	0.00	0.00	4.00	1.00
	0.64	0.03	1.00	47.00	16.00
	1.27	0.05	1.00	47.00	16.00
	1.91	0.075	2.00	90.00	30.00
	2.54	0.10	3.00	134.00	45.00
	3.81	0.15	3.00	134.00	45.00
	5.08	0.20	5.00	220.00	73.00
	6.35	0.25	5.00	220.00	73.00
	7.62	0.30	6.00	263.00	88.00
	10.16	0.40	7.00	306.00	102.00
30 GOL- PES	12.70	0.50	9.00	392.00	131.00
	0.00	0.00	0.00	4.00	1.00
	0.64	0.03	1.00	47.00	16.00
	1.27	0.05	1.00	47.00	16.00
	1.91	0.075	2.00	90.00	30.00
	2.54	0.10	2.00	90.00	30.00
	3.81	0.15	3.00	134.00	45.00
	5.08	0.20	4.00	177.00	59.00
	6.35	0.25	5.00	220.00	73.00
	7.62	0.30	5.00	220.00	73.00
10 GOL- PES	10.16	0.40	7.00	306.00	102.00
	12.70	0.50	8.00	349.00	116.00
	0.00	0.00	0.00	4.00	1.00
	0.64	0.03	2.00	90.00	30.00
	1.27	0.05	2.00	90.00	30.00
	1.91	0.075	2.00	90.00	30.00
	2.54	0.10	3.00	134.00	45.00
	3.81	0.15	3.00	134.00	45.00
	5.08	0.20	4.00	177.00	59.00
	6.35	0.25	4.00	177.00	59.00

Fuente: extraído de Vinculación CIC UNESUM (2023).

Figura 15. Ensayo de CBR de penetración muestra #1



Fuente: extraído de Vinculación CIC UNESUM (2023).

Tabla 32. Ensayo CBR densidad muestra #1

CBR - METODO AASHTO T-193			
Diseño pavimento	volumen cilindro [m³]	0.00210492	
ANTES DE LA IMMERSION			
No golpes por capa	10 golpes de 5 capas	30 golpes de 5 capas	65 golpes de 5 capas
Recipiente No	VAPI	C1	N1
Wh+recipiente [g]	161.15	164.98	148.97
ws+recipiente [g]	142.86	145.84	131.47
HUMEDAD	Peso del agua [g]	18.29	19.14
	Peso del recipiente [g]	28.06	28.19
	Peso seco [g]	114.80	117.65
	Humedad [%]	15.93	16.27
	Peso molde+suelo húmedo [g]	7777.70	8259.80
	Peso del molde [g]	4222.30	4220.70
	Peso del suelo húmedo [g]	3555.40	4039.10
	Peso del suelo seco [g]	3067.00	3474.00
	Humedad [%]	15.93	16.27
	Densidad húmeda [kg/m³]	1689.00	1919.00
			1992.00

CBR - METODO AASHTO T-193				
Densidad seca [kg/m ³]		1457.00	1650.00	1707.00
DESPUES DE LA IMMERSION				
	No golpes por capa	10 golpes de 5 capas	30 golpes de 5 capas	65 golpes de 5 capas
	Recipiente No	VAPI	C1	N1
	Wh+recipiente [g]	161.15	164.98	148.97
	ws+recipiente [g]	142.86	145.84	131.47
HUMEDAD	Peso del agua [g]	18.29	19.14	17.50
	Peso del recipiente [g]	28.06	28.19	26.43
	Peso seco [g]	114.80	117.65	105.04
	Humedad [%]	15.93	16.27	16.66
	Peso molde+suelo húmedo [g]	8162.70	8568.60	8693.90
	Peso del molde [g]	4222.30	4220.70	4230.70
	Peso del suelo húmedo [g]	3940.40	4347.90	4463.20
	Peso del suelo seco [g]	3399.00	3739.00	3826.00
	Humedad [%]	15.93	16.27	16.66
	Densidad húmeda [kg/m ³]	1872.00	2066.00	2120.00
	Densidad seca [kg/m ³]	1615.00	1776.00	1818.00
% HINCHAMIENTO				
24.00	horas	0.68	0.52	0.10
48.00	horas	0.87	0.78	0.90
72.00	horas	0.87	0.87	0.90
	HINCHAMIENTO [%]	0.807	0.720	0.637
	DENSIDAD SECA [kg/m ³]	1457.00	1650.00	1707.00

Fuente: extraído de Vinculación CIC UNESUM (2023).

Tabla 33. Carga unitaria muestra #1

Esfuerzo Unitario Patrón [lb/pulg²]		
	1000.00	1500.00
No Golpes	0.10 pulg	0.20 pulg
Esfuerzo de Penetración [lb/pulg ²]		
10	45.00	59.00
30	30.00	59.00
65	45.00	73.00
CBR [%]		
10	4.50	3.93

Esfuerzo Unitario Patrón [lb/pulg²]		
30	3.00	3.93
65	4.50	4.87

Fuente: extraído de Vinculación CIC UNESUM (2023).

Tabla 34. CBR 0.10 pulgada de penetración muestra #1

CBR 0.10 pulg Penetración		
Ss [kg/m³]	CBR [%]	
10 golpes	1457.00	4.50
30 golpes	1650.00	3.00
65 golpes	1707.00	4.50
Ssmax [kg/m ³]		1655.00
Hum Op Max [%]		17.60
Ssmax 95%[kg/m ³]		1572.00
CBR [%]		3.50

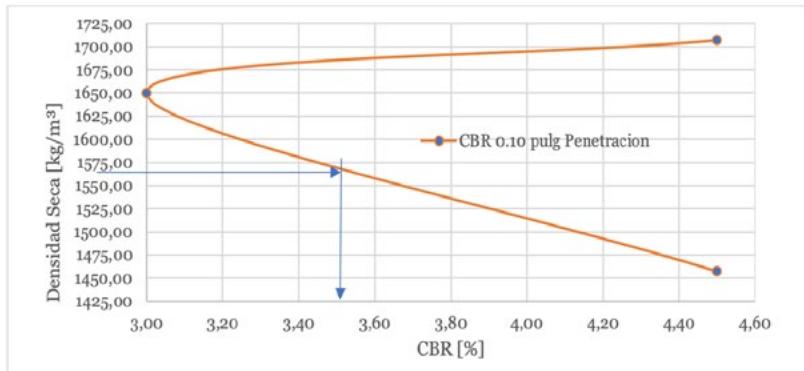
Fuente: extraído de Vinculación CIC UNESUM (2023).

Tabla 35. CBR 0.20 pulgada de penetración muestra #1

CBR 0.20 pulg Penetración		
Ss [kg/m³]	CBR [%]	
10 golpes	1457.00	3.93
30 golpes	1650.00	3.93
65 golpes	1707.00	4.87
Ssmax [kg/m ³]		1655.00
Hum Op Max [%]		17.60
Ssmax 95%[kg/m ³]		1572.00
CBR [%]		3.87

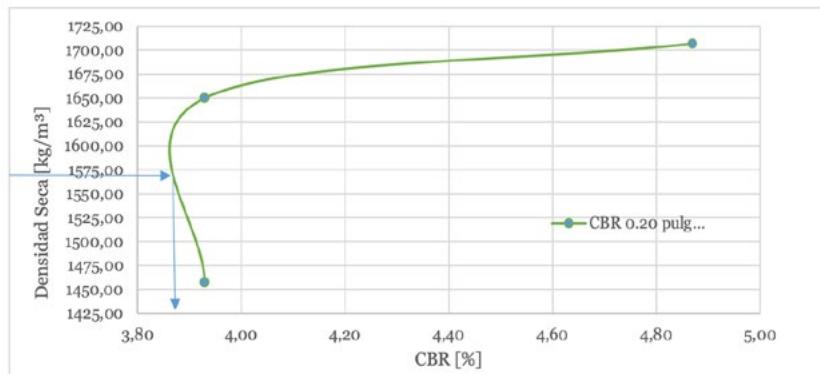
Fuente: extraído de Vinculación CIC UNESUM (2023).

Figura 16. CBR 0.10 pulgada de penetración muestra #1



Fuente: extraído de Vinculación CIC UNESUM (2023).

Figura 17. CBR 0.20 pulgada de penetración muestra #1



Fuente: extraído de Vinculación CIC UNESUM (2023).

Resultado del estudio de suelo de CBR de muestra #2

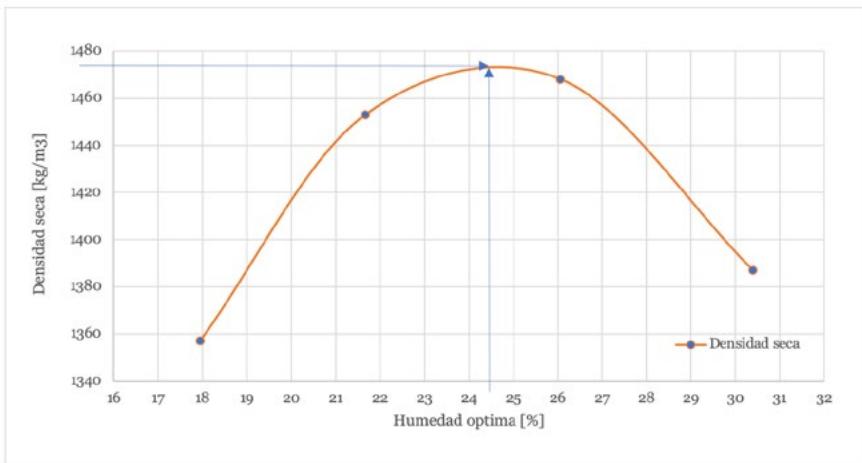
Tabla 36. Humedad y densidad optima de muestra #2

PRUEBA PROCTOR MODIFICADO ASTM (D-1557)			
Golpes por Capas	56.00	Proyecto:	
No Capas	3.00	Localización:	Joa
Peso del Martillo [kg]	4.50	Volumen del Molde [cm³]	2104.92
Altura de caída [cm]	30.00	Peso del Molde [gr]	3147.10
DATOS PARA LA CURVA			
MUESTRA No	1.00	2.00	3.00
			4.00

PRUEBA PROCTOR MODIFICADO ASTM (D-1557)								
Muestra	F1	N1	J2	3X2	F1F2	J45	G1	J3
P. Molde + Suelo Húmedo [gr]	6517.80		6869.20		7041.30		6955.20	
Peso Molde [gr]	3147.10		3147.10		3147.10		3147.10	
Peso Suelo Húmedo [g]	3370.70		3722.10		3894.20		3808.10	
Cont. Promedio Agua [%]	17.95		21.67		26.06		30.39	
Den. Húmeda [gr/cm ³]	1.601		1.768		1.850		1.809	
Den. Seca [kg/m ³]	1357		1453		1468		1387	
CONTENIDO DE AGUA								
MUESTRA No	F1	N1	J2	3X2	F1F2	J45	G1	J3
Tara + Suelo Húmedo [gr]	111.28	108.20	140.27	146.98	142.45	131.52	144.19	148.17
Tara + Suelo Seco [gr]	98.28	95.70	120.29	125.86	118.93	110.18	117.05	120.28
Peso Tara [gr]	25.93	25.96	27.82	28.65	28.62	28.32	28.14	28.07
Peso Agua [gr]	13.00	12.50	19.98	21.12	23.52	21.34	27.14	27.89
Peso Suelo Seco [gr]	72.35	69.74	92.47	97.21	90.31	81.86	88.91	92.21
Contenido de agua [%]	17.97	17.92	21.61	21.73	26.04	26.07	30.53	30.25
Contenido prom. de agua [%]	17.95		21.67		26.06		30.39	
RESULTADOS								
Humedad Optima máxima [%]						24.60		
Densidad Seca Máxima [kg/m ³]						1471.00		

Fuente: extraído de Vinculación CIC UNESUM (2023).

Figura 18. Humedad y densidad optima de muestra #2



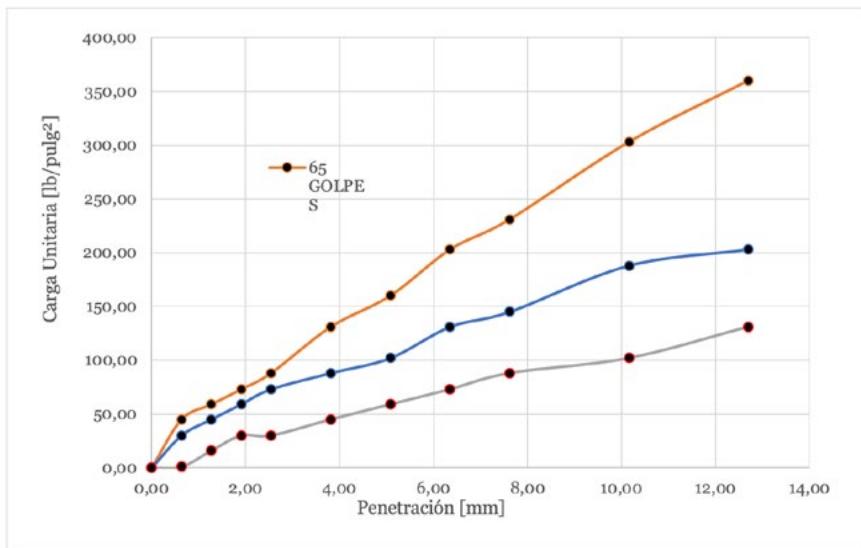
Fuente: extraído de Vinculación CIC UNESUM (2023).

Tabla 37. Ensayo de CBR de penetración muestra #2

CBR - METODO AASHTO T-193					
	[mm]	[pulg]	LECTURA DIAL	CARGA = $-0.0062^* (LD^2) + 43.204^* (LD) + 4.073$ [lb]	CARGA UNITARIA [lb/pulg ²]
65 GOL- PES	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.64	0.03	3.00	134.00	45.00
	1.27	0.05	4.00	177.00	59.00
	1.91	0.075	5.00	220.00	73.00
	2.54	0.10	6.00	263.00	88.00
	3.81	0.15	9.00	392.00	131.00
	5.08	0.20	11.00	479.00	160.00
	6.35	0.25	14.00	608.00	203.00
	7.62	0.30	16.00	694.00	231.00
	10.16	0.40	21.00	909.00	303.00
	12.70	0.50	25.00	1080.00	360.00

CBR - METODO AASHTO T-193				
30 GOL- PES	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.64	0.03	2.00	90.00
	1.27	0.05	3.00	134.00
	1.91	0.075	4.00	177.00
	2.54	0.10	5.00	220.00
	3.81	0.15	6.00	263.00
	5.08	0.20	7.00	306.00
	6.35	0.25	9.00	392.00
	7.62	0.30	10.00	435.00
	10.16	0.40	13.00	565.00
10 GOL- PES	12.70	0.50	14.00	608.00
	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.64	0.03	0.00	4.00
	1.27	0.05	1.00	47.00
	1.91	0.075	2.00	90.00
	2.54	0.10	2.00	90.00
	3.81	0.15	3.00	134.00
	5.08	0.20	4.00	177.00
	6.35	0.25	5.00	220.00
	7.62	0.30	6.00	263.00
	10.16	0.40	7.00	306.00
	12.70	0.50	9.00	392.00
Fuente: extraído de Vinculación CIC UNESUM (2023).				

Figura 19. Ensayo de CBR de penetración muestra #2



Fuente: extraído de Vinculación CIC UNESUM (2023).

Tabla 38. Ensayo CBR densidad muestra #2

CBR - METODO AASHTO T-193			
Diseño pavimento	volumen cilindro [m³]	0.00210492	
ANTES DE LA IMMERSION			
No golpes por capa	10 golpes de 5 capas	30 golpes de 5 capas	65 golpes de 5 capas
Recipiente No	VAPI	C1	N1
Wh+recipiente [g]	159.01	166.18	156.99
ws+recipiente [g]	138.85	144.98	136.12
HUMEDAD	Peso del agua [g]	20.16	21.20
	Peso del recipiente [g]	28.04	28.15
	Peso seco [g]	110.81	116.83
DESPUES DE LA IMMERSION			
Humedad [%]	18.19	18.15	19.02
Peso molde+suelo húmedo [g]	7425.00	7800.70	8183.60
Peso del molde [g]	4246.20	4243.80	4244.00
Peso del suelo húmedo [g]	3178.80	3556.90	3939.60
Peso del suelo seco [g]	2690.00	3010.00	3310.00
Humedad [%]	18.19	18.15	19.02

CBR - METODO AASHTO T-193				
Densidad húmeda [kg/m ³]	1510.00	1690.00	1872.00	
Densidad seca [kg/m ³]	1278.00	1430.00	1573.00	
DESPUES DE LA IMMERSION				
No golpes por capa	10 golpes de 5 capas	30 golpes de 5 capas	65 golpes de 5 capas	
Recipiente No	VAPI	C ₁	N ₁	
Wh+recipiente [g]	159.01	166.18	156.99	
ws+recipiente [g]	138.85	144.98	136.12	
HUMEDAD	Peso del agua [g]	20.16	21.20	20.87
	Peso del recipiente [g]	28.04	28.15	26.40
	Peso seco [g]	110.81	116.83	109.72
	Humedad [%]	18.19	18.15	19.02
	Peso molde+suelo húmedo [g]	7985.00	8263.00	8507.30
	Peso del molde [g]	4246.20	4243.80	4244.00
	Peso del suelo húmedo [g]	3738.80	4019.20	4263.30
	Peso del suelo seco [g]	3163.00	3402.00	3582.00
	Humedad [%]	18.19	18.15	19.02
	Densidad húmeda [kg/m ³]	1776.00	1909.00	2025.00
	Densidad seca [kg/m ³]	1503.00	1616.00	1702.00
% HINCHAMIENTO				
24	horas	0.49	0.68	0.56
48	horas	0.51	0.79	0.86
72	horas	0.52	0.81	0.89
	HINCHAMIENTO [%]	0.508	0.761	0.770
	DENSIDAD SECA [kg/m ³]	1278.00	1430.00	1573.00
Fuente: extraido de Vinculación CIC UNESUM (2023).				
Tabla 39. Carga unitaria muestra #2				
Esfuerzo Unitario Patrón [lb/pulg²]				
		1000.00	1500.00	
No Golpes		0.10 pulg	0.20 pulg	
Esfuerzo de Penetración [lb/pulg ²]				
10		30.00	59.00	
30		73.00	102.00	
65		88.00	160.00	
	CBR [%]			

Esfuerzo Unitario Patrón [lb/pulg²]		
10	3.00	3.93
30	7.30	6.80
65	8.80	10.67

Fuente: extraído de Vinculación CIC UNESUM (2023).

Tabla 40. CBR 0.10 pulgada de penetración muestra #2

CBR 0.10 pulg Penetración		
Ss [kg/m³]	CBR [%]	
10 golpes	1278.00	3.00
30 golpes	1430.00	7.30
65 golpes	1573.00	8.80
Ssmax [kg/m ³]	1471.00	
Hum Op Max [%]	24.60	
Ssmax 95%[kg/m ³]	1397.00	
CBR [%]	6.40	

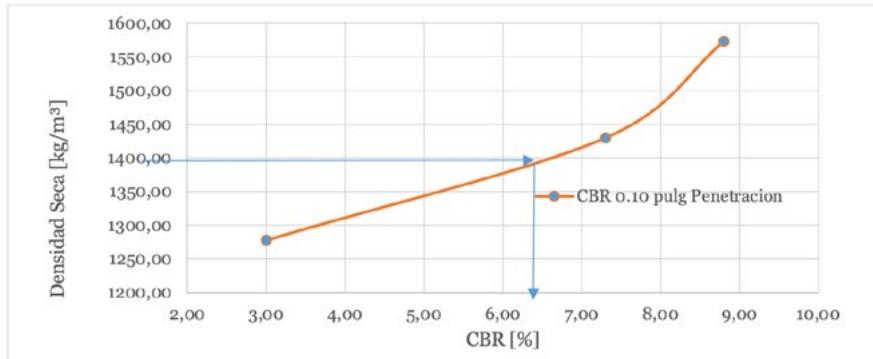
Fuente: extraído de Vinculación CIC UNESUM (2023).

Tabla 41. CBR 0.20 pulgada de penetración muestra #1

CBR 0.20 pulg Penetración		
Ss [kg/m³]	CBR [%]	
10 golpes	1278.00	3.00
30 golpes	1430.00	7.30
65 golpes	1573.00	8.80
Ssmax [kg/m ³]	1471.00	
Hum Op Max [%]	24.60	
Ssmax 95%[kg/m ³]	1397.00	
CBR [%]	6.10	

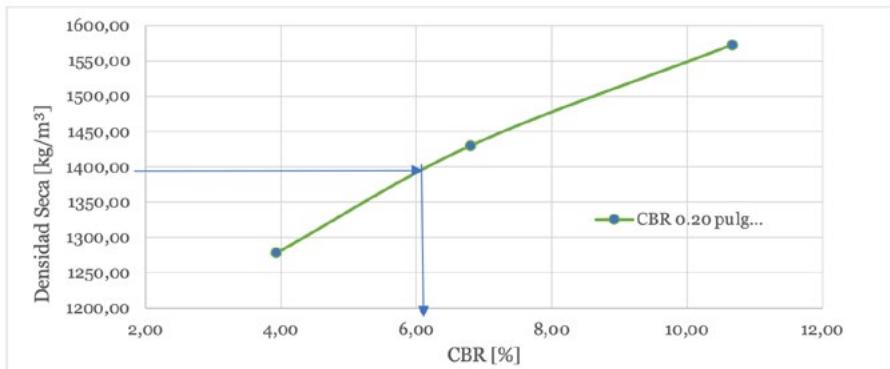
Fuente: extraído de Vinculación CIC UNESUM (2023).

Figura 20. CBR 0.10 pulgada de penetración muestra #2



Fuente: extraído de Vinculación CIC UNESUM (2023).

Figura 21. CBR 0.20 pulgada de penetración muestra #2



Fuente: extraído de Vinculación CIC UNESUM (2023).

Resultado del Estudio de Suelo de CBR de Muestra #3

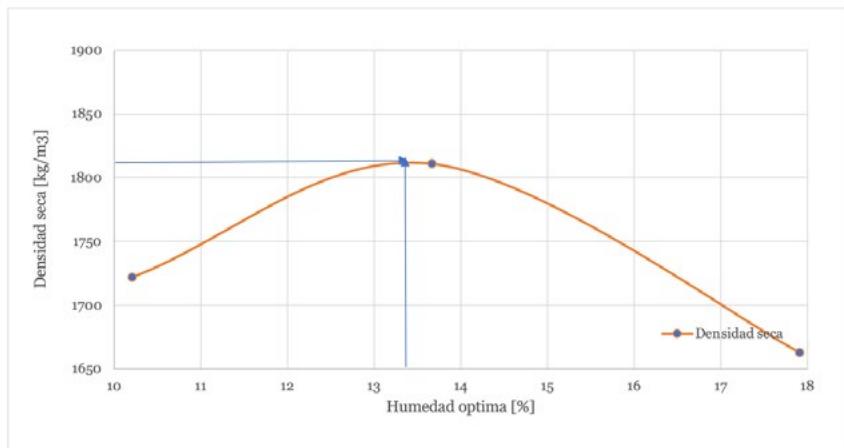
Tabla 42. Humedad y densidad optima de muestra #3

PRUEBA PROCTOR MODIFICADO ASTM (D-1557)			
Golpes por Capas	56.00	Proyecto:	
No Capas	3.00	Localización:	Joa
Peso del Martillo [kg]	4.50	Volumen del Molde [cm³]	2104.92
Altura de caída [cm]	30.00	Peso del Molde [gr]	3147.10
DATOS PARA LA CURVA			
MUESTRA No	1.00	2.00	3.00
			-

PRUEBA PROCTOR MODIFICADO ASTM (D-1557)												
P. Molde + Suelo Húmedo [gr]	7142.20	7478.90	7275.80	-								
Peso Molde [gr]	3147.10	3147.10	3147.10	-								
Peso Suelo Húmedo [g]	3995.10	4331.80	4128.70	-								
Cont. Promedio Agua [%]	10.21	13.67	17.91	-								
Den. Húmeda [gr/cm ³]	1.898	2.058	1.961	-								
Den. Seca [kg/m ³]	1722	1811	1663	-								
CONTENIDO DE AGUA												
MUESTRA No	F1	N1	J2	3X2	F1F2	J45	-					
Tara + Suelo Húmedo [gr]	161.39	160.22	145.15	135.98	155.78	150.44	-					
Tara + Suelo Seco [gr]	149.33	147.43	130.43	123.72	135.44	132.86	-					
Peso Tara [gr]	26.54	26.70	28.39	28.65	28.60	28.07	-					
Peso Agua [gr]	12.06	12.79	14.72	12.26	20.34	17.58	-					
Peso Suelo Seco [gr]	122.79	120.73	102.04	95.07	106.84	104.79	-					
Contenido de agua [%]	9.82	10.59	14.43	12.90	19.04	16.78	-					
Contenido prom. de agua [%]	10.21		13.67		17.91							
RESULTADOS												
Humedad Optima máxima [%]				13.20								
Densidad Seca Máxima [kg/m ³]				18.13								

Fuente: extraído de Vinculación CIC UNESUM (2023).

Figura 22. Humedad y densidad optima de muestra #3



Fuente: extraído de Vinculación CIC UNESUM (2023).

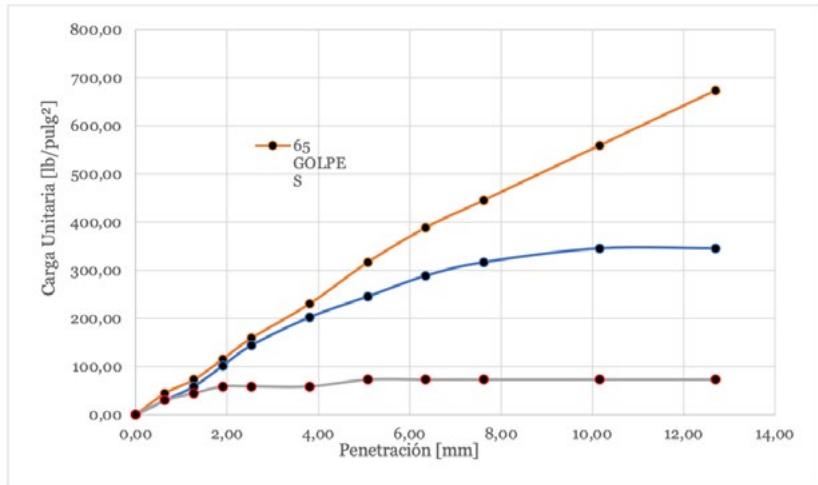
Tabla 43. Ensayo de CBR de penetración muestra #3

CBR - METODO AASHTO T-193					
	[mm]	[pulg]	LECTURA DIAL	CARGA = $-0.0062^* (LD^2) + 43.204^* (LD) + 4.073$ [lb]	CARGA UNITARIA [lb/pulg ²]
65 GOL- PES	0.00	0.00	0.00	4.00	0.00
	0.64	0.03	3.00	134.00	45.00
	1.27	0.05	5.00	220.00	73.00
	1.91	0.075	8.00	349.00	116.00
	2.54	0.10	11.00	479.00	160.00
	3.81	0.15	16.00	694.00	231.00
	5.08	0.20	22.00	952.00	317.00
	6.35	0.25	27.00	1166.00	389.00
	7.62	0.30	31.00	1337.00	446.00
	10.16	0.40	39.00	1680.00	560.00
	12.70	0.50	47.00	2021.00	674.00

CBR - METODO AASHTO T-193					
30 GOL-PES	0.00	0.00	0.00	4.00	0.00
	0.64	0.03	2.00	90.00	30.00
	1.27	0.05	4.00	177.00	59.00
	1.91	0.075	7.00	306.00	102.00
	2.54	0.10	10.00	435.00	145.00
	3.81	0.15	14.00	608.00	203.00
	5.08	0.20	17.00	737.00	246.00
	6.35	0.25	20.00	866.00	289.00
	7.62	0.30	22.00	952.00	317.00
	10.16	0.40	24.00	1037.00	346.00
	12.70	0.50	24.00	1037.00	346.00
10 GOL-PES	0.00	0.00	0.00	4.00	0.00
	0.64	0.03	2.00	90.00	30.00
	1.27	0.05	3.00	134.00	45.00
	1.91	0.075	4.00	177.00	59.00
	2.54	0.10	4.00	177.00	59.00
	3.81	0.15	4.00	177.00	59.00
	5.08	0.20	5.00	220.00	73.00
	6.35	0.25	5.00	220.00	73.00
	7.62	0.30	5.00	220.00	73.00
	10.16	0.40	5.00	220.00	73.00
	12.70	0.50	5.00	220.00	73.00

Fuente: extraído de Vinculación CIC UNESUM, 2023).

Figura 23. Ensayo de CBR de penetración muestra #3



Fuente: extraído de Vinculación CIC UNESUM (2023).

Tabla 44. Ensayo CBR densidad muestra #3

CBR - METODO AASHTO T-193						
Diseño pavimento		volumen cilindro [m³]	0.00210492			
ANTES DE LA IMMERSION						
No golpes por capa	10 golpes de 5 capas	30 golpes de 5 capas	65 golpes de 5 capas			
Recipiente No	VAPI	C1	N1			
Wh+recipiente [g]	186.07	179.09	168.73			
ws+recipiente [g]	168.20	161.90	152.45			
HUMEDAD	Peso del agua [g]	17.87	17.19	16.28		
	Peso del recipiente [g]	28.17	28.14	28.18		
	Peso seco [g]	140.03	133.76	124.27		
	Humedad [%]	12.76	12.85	13.10		
	Peso molde+suelo húmedo [g]	7740.90	8121.50	8463.60		
	Peso del molde [g]	4222.40	4220.60	4230.70		
	Peso del suelo húmedo [g]	3518.50	3900.90	4232.90		
	Peso del suelo seco [g]	3120.00	3457.00	3743.00		
	Humedad [%]	12.76	12.85	13.10		
	Densidad húmeda [kg/m³]	1672.00	1853.00	2011.00		
	Densidad seca [kg/m³]	1482.00	1642.00	1778.00		

CBR - METODO AASHTO T-193				
DESPUES DE LA IMMERSION				
No golpes por capa	10 golpes de 5 capas	30 golpes de 5 capas	65 golpes de 5 capas	
Recipiente No	VAPI	C1	N1	
Wh+recipiente [g]	186.07	179.09	168.73	
ws+recipiente [g]	168.20	161.90	152.45	
HUMEDAD	Peso del agua [g]	17.87	17.19	16.28
	Peso del recipiente [g]	28.17	28.14	28.18
	Peso seco [g]	140.03	133.76	124.27
	Humedad [%]	12.76	12.85	13.10
	Peso molde+suelo húmedo [g]	7873.70	8305.40	8691.10
	Peso del molde [g]	4222.40	4220.60	4230.70
	Peso del suelo húmedo [g]	3651.30	4084.80	4460.40
	Peso del suelo seco [g]	3238.00	3620.00	3944.00
	Humedad [%]	12.76	12.85	13.10
	Densidad húmeda [kg/m ³]	1735.00	1941.00	2119.00
	Densidad seca [kg/m ³]	1538.00	1720.00	1874.00
% HINCHAMIENTO				
24	horas	0.19	0.34	0.47
48	horas	0.19	0.35	0.47
72	horas	0.20	0.35	0.49
	HINCHAMIENTO [%]	0.192	0.347	0.477
	DENSIDAD SECA [kg/m ³]	1482.00	1642.00	1778.00

Fuente: extraído de Vinculación CIC UNESUM (2023).

Tabla 45. Carga unitaria muestra #3

Esfuerzo Unitario Patrón [lb/pulg²]		
	1000.00	1500.00
No Golpes	0.10 pulg	0.20 pulg
Esfuerzo de Penetración [lb/pulg²]		
10	59.00	73.00
30	145.00	246.00
65	160.00	317.00
CBR [%]		
10	5.90	4.87

Esfuerzo Unitario Patrón [lb/pulg²]		
30	14.50	16.40
65	16.00	21.13

Fuente: extraído de Vinculación CIC UNESUM (2023).

Tabla 46. CBR 0.10 pulgada de penetración muestra #3

CBR 0.10 pulg Penetración		
Ss [kg/m³]	CBR [%]	
10 golpes	1482.00	5.90
30 golpes	1642.00	14.50
65 golpes	1778.00	16.00
Ssmax [kg/m ³]		1813.00
Hum Op Max [%]		13.20
Ssmax 95%[kg/m ³]		1722.00
CBR [%]		15.70

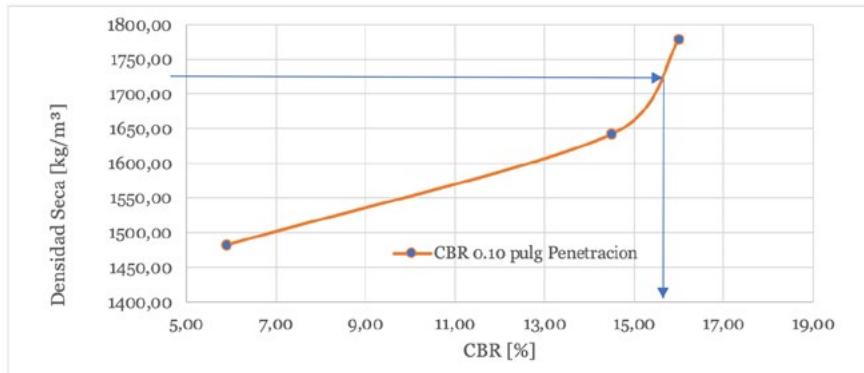
Fuente: extraído de Vinculación CIC UNESUM (2023).

Tabla 47. CBR 0.20 pulgada de penetración muestra #1

CBR 0.20 pulg Penetración		
Ss [kg/m³]	CBR [%]	
10 golpes	1482.00	5.90
30 golpes	1642.00	14.50
65 golpes	1778.00	16.00
Ssmax [kg/m ³]		1813.00
Hum Op Max [%]		13.20
Ssmax 95%[kg/m ³]		1722.00
CBR [%]		19.50

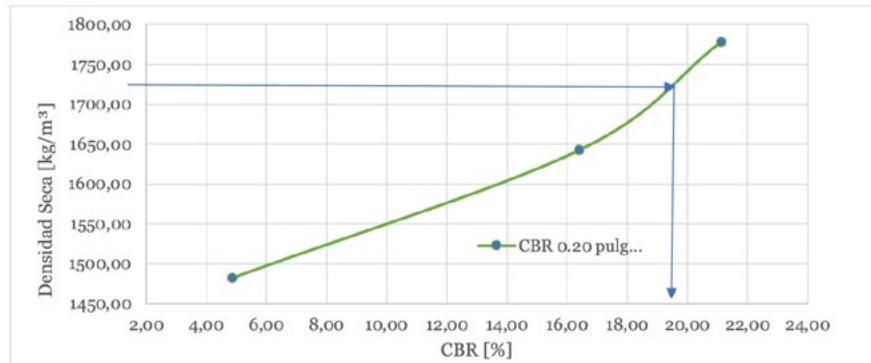
Fuente: extraído de Vinculación CIC UNESUM (2023).

Figura 24. CBR 0.10 pulgada de penetración muestra #3



Fuente: extraído de Vinculación CIC UNESUM (2023).

Figura 25. CBR 0.20 pulgada de penetración muestra #3



Fuente: extraído de Vinculación CIC UNESUM (2023).

Resultado del estudio de suelo de CBR de muestra #4

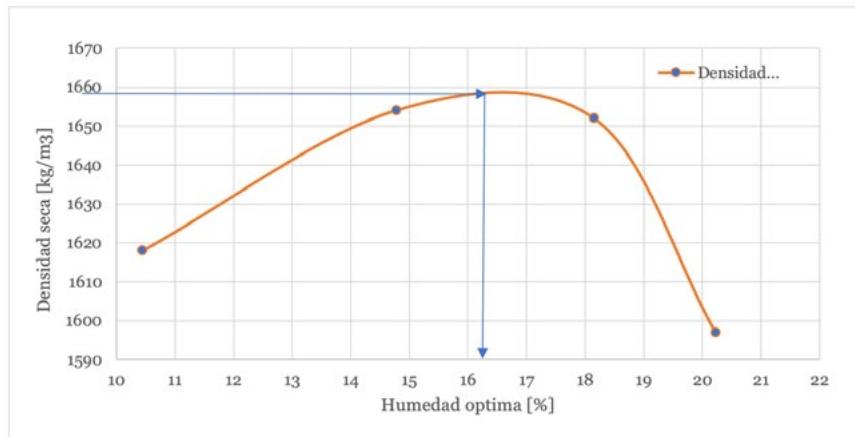
Tabla 48. Humedad y densidad optima de muestra #4

PRUEBA PROCTOR MODIFICADO ASTM (D-1557)			
Golpes por Capas	56.00	Proyecto:	
No Capas	3.00	Localización:	Joa
Peso del Martillo [kg]	4.50	Volumen del Molde [cm³]	2104.92
Altura de caída [cm]	30.00	Peso del Molde [gr]	3147.10
DATOS PARA LA CURVA			

PRUEBA PROCTOR MODIFICADO ASTM (D-1557)								
MUESTRA No	1.00	2.00	3.00	4.00				
P. Molde + Suelo Hú- medo [gr]	6903.80	7141.00	7251.30	7184.90				
Peso Molde [gr]	3143.00	3143.00	3143.00	3143.00				
Peso Suelo Húmedo [g]	3760.80	3998.00	4108.30	4041.90				
Cont. Pro- medio Agua [%]	10.45	14.78	18.15	20.23				
Den. Húme- da [gr/cm ³]	1.787	1.899	1.952	1.920				
Den. Seca [kg/m ³]	1618	1654	1652	1597				
CONTENIDO DE AGUA								
MUESTRA No	F1	N1	J2	3X2	F1F2	J45	G1	J3
Tara + Suelo Húmedo [gr]	165.86	165.89	126.78	127.36	166.28	124.43	147.56	148.52
Tara + Suelo Seco [gr]	152.64	153.10	113.84	114.29	144.74	109.56	134.12	123.27
Peso Tara [gr]	28.50	28.19	26.15	26.00	28.50	25.85	27.70	32.52
Peso Agua [gr]	13.22	12.79	12.94	13.07	21.54	14.87	13.44	25.25
Peso Suelo Seco [gr]	124.14	124.91	87.69	88.29	116.24	83.71	106.42	90.75
Contenido de agua [%]	10.65	10.24	14.76	14.80	18.53	17.76	12.63	27.82
Contenido prom. de agua [%]	10.45		14.78		18.15		20.23	
RESULTADOS								
Humedad Optima máxima [%]					16.10			
Densidad Seca Máxima [kg/m ³]					1659.00			

Fuente: extraído de Vinculación CIC UNESUM (2023).

Figura 26. Humedad y densidad optima de muestra #4



Fuente: extraído de Vinculación CIC UNESUM (2023).

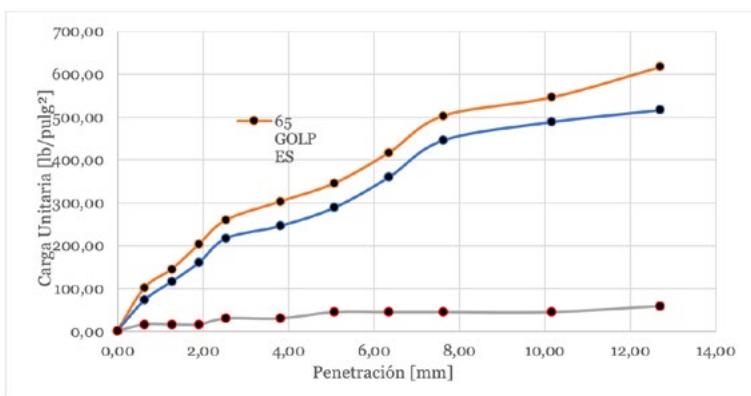
Tabla 49. Ensayo de CBR de penetración muestra #4

CBR - METODO AASHTO T-193					
		LECTURA DIAL	CARGA = $-0.0062^* (LD^2) + 43.204^*$ $(LD) + 4.073 [\text{lb}]$	CARGA UNITARIA [lb/pulg ²]	
65 GOLPES	0.00	0.00	4.00	1.00	
	0.64	0.03	306.00	102.00	
	1.27	0.05	435.00	145.00	
	1.91	0.075	608.00	203.00	
	2.54	0.10	780.00	260.00	
	3.81	0.15	909.00	303.00	
	5.08	0.20	1037.00	346.00	
	6.35	0.25	1252.00	417.00	
	7.62	0.30	1509.00	503.00	
	10.16	0.40	1637.00	546.00	
	12.70	0.50	1850.00	617.00	

CBR - METODO AASHTO T-193					
	0.00	0.00	0.00	4.00	1.00
	0.64	0.03	5.00	220.00	73.00
	1.27	0.05	8.00	349.00	116.00
	1.91	0.075	11.00	479.00	160.00
	2.54	0.10	15.00	651.00	217.00
30 GOLPES	3.81	0.15	17.00	737.00	246.00
	5.08	0.20	20.00	866.00	289.00
	6.35	0.25	25.00	1080.00	360.00
	7.62	0.30	31.00	1337.00	446.00
	10.16	0.40	34.00	1466.00	489.00
	12.70	0.50	36.00	1551.00	517.00
	0.00	0.00	0.00	4.00	1.00
	0.64	0.03	1.00	47.00	16.00
	1.27	0.05	1.00	47.00	16.00
	1.91	0.075	1.00	47.00	16.00
	2.54	0.10	2.00	90.00	30.00
10 GOLPES	3.81	0.15	2.00	90.00	30.00
	5.08	0.20	3.00	134.00	45.00
	6.35	0.25	3.00	134.00	45.00
	7.62	0.30	3.00	134.00	45.00
	10.16	0.40	3.00	134.00	45.00
	12.70	0.50	4.00	177.00	59.00

Fuente: extraído de Vinculación CIC UNESUM (2023).

Figura 27. Ensayo de CBR de penetración muestra #4



Fuente: extraído de Vinculación CIC UNESUM (2023).

Tabla 50. Ensayo CBR densidad muestra #4

CBR - METODO AASHTO T-193				
Diseño pavimento		volumen cilindro [m ³]	0.00210492	
ANTES DE LA IMMERSION				
	No golpes por capa	10 golpes de 5 capas	30 golpes de 5 capas	65 golpes de 5 capas
HUMEDAD	Recipiente No	VAPI	C1	N1
	Wh+recipiente [g]	160.45	161.56	169.66
	ws+recipiente [g]	143.96	144.80	151.27
	Peso del agua [g]	16.49	16.76	18.39
	Peso del recipiente [g]	28.41	28.28	28.16
	Peso seco [g]	115.55	116.52	123.11
	Humedad [%]	14.27	14.38	14.94
	Peso molde+suelo húmedo [g]	7571.20	7991.80	8261.40
	Peso del molde [g]	4222.60	4220.40	4230.70
	Peso del suelo húmedo [g]	3348.60	3771.40	4030.70
HUMEDAD	Peso del suelo seco [g]	2930.00	3297.00	3507.00
	Humedad [%]	14.27	14.38	14.94
	Densidad húmeda [kg/m ³]	1591.00	1792.00	1915.00
	Densidad seca [kg/m ³]	1392.00	1566.00	1666.00
DESPUES DE LA IMMERSION				
	No golpes por capa	10 golpes de 5 capas	30 golpes de 5 capas	65 golpes de 5 capas
HUMEDAD	Recipiente No	VAPI	C1	N1
	Wh+recipiente [g]	160.45	161.56	169.66
	ws+recipiente [g]	143.96	144.80	151.27
	Peso del agua [g]	16.49	16.76	18.39
	Peso del recipiente [g]	28.41	28.28	28.16
	Peso seco [g]	115.55	116.52	123.11
	Humedad [%]	14.27	14.38	14.94
	Peso molde+suelo húmedo [g]	7903.40	8307.90	8503.60
	Peso del molde [g]	4222.60	4220.40	4230.70
	Peso del suelo húmedo [g]	3680.80	4087.50	4272.90
HUMEDAD	Peso del suelo seco [g]	3221.00	3574.00	3718.00

CBR - METODO AASHTO T-193				
Humedad [%]		14.27	14.38	14.94
Densidad húmeda [kg/m ³]		1749.00	1942.00	2030.00
Densidad seca [kg/m ³]		1530.00	1698.00	1766.00
% HINCHAMIENTO				
24	horas	0.05	0.13	0.10
48	horas	0.05	0.13	0.10
72	horas	0.05	0.13	0.11
HINCHAMIENTO [%]		0.049	0.128	0.103
DENSIDAD SECA [kg/m ³]		1392.00	1566.00	1666.00

Fuente: extraído de Vinculación CIC UNESUM (2023).

Tabla 51. Carga unitaria muestra #4

Esfuerzo Unitario Patrón [lb/pulg²]		
	1000.00	1500.00
No Golpes	0.10 pulg	0.20 pulg
Esfuerzo de Penetración [lb/pulg ²]		
10	30.00	45.00
30	217.00	289.00
65	260.00	346.00
CBR [%]		
10	3.00	3.00
30	21.70	19.27
65	26.00	23.07

Fuente: extraído de Vinculación CIC UNESUM (2023).

Tabla 52. CBR 0.10 pulgada de penetración muestra #4

CBR 0.10 pulg Penetración		
Ss [kg/m³]	CBR [%]	
10 golpes	1392.00	3.00
30 golpes	1566.00	21.70
65 golpes	1666.00	26.00
Ssmax [kg/m ³]		1659.00
Hum Op Max [%]		16.10

CBR 0.10 pulg Penetración	
Ss [kg/m³]	CBR [%]
Ssmax 95%[kg/m ³]	1576.00
CBR [%]	22.20

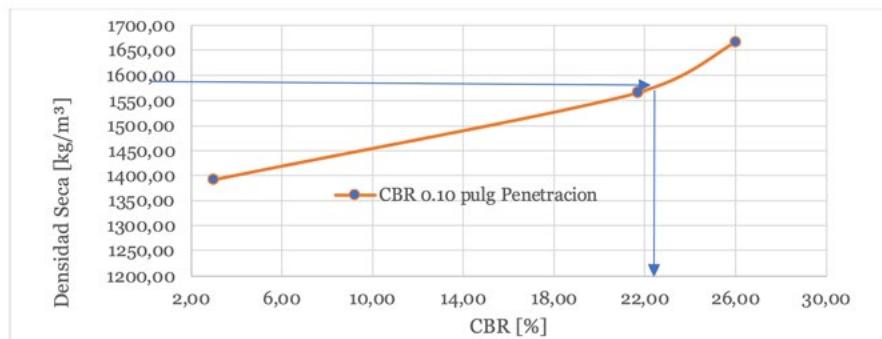
Fuente: extraído de Vinculación CIC UNESUM (2023).

Tabla 53. CBR 0.20 pulgada de penetración muestra #4

CBR 0.20 pulg Penetración	
Ss [kg/m³]	CBR [%]
10 golpes	1392.00
30 golpes	1566.00
65 golpes	1666.00
Ssmax [kg/m ³]	1659.00
Hum Op Max [%]	16.10
Ssmax 95%[kg/m ³]	1576.00
CBR [%]	20.10

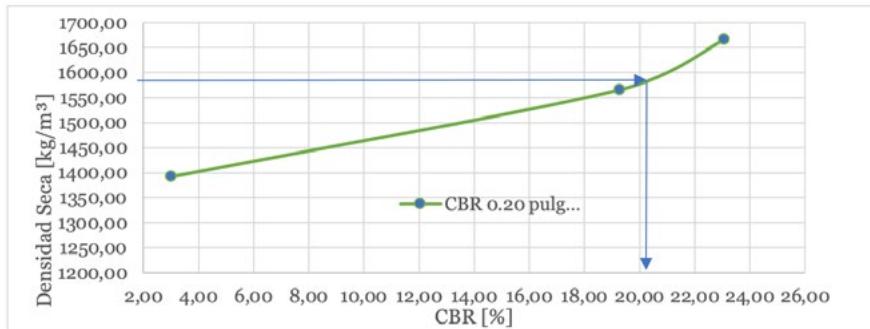
Fuente: extraído de Vinculación CIC UNESUM (2023).

Figura 28. CBR 0.10 pulgada de penetración muestra #3



Fuente: extraído de Vinculación CIC UNESUM (2023).

Figura 29. CBR 0.20 pulgada de penetración muestra #4



Fuente: extraído de Vinculación CIC UNESUM (2023).

Capítulo 5

Pavimento articulado de la calle

Pavimento articulado de la calle b y sus intersecciones calles 6, 7 y 8 de la comuna Joa del Cantón Jipijapa (AASTHO 93)

El pavimento articulado diseñado para el sitio Joa, consiste en una estructura de pavimentación que utiliza adoquines prefabricados de concreto o materiales similares como capa de rodadura. Estos adoquines son piezas individuales de alta resistencia, colocadas de forma entrelazada o “articulada” para transferir de manera eficiente las cargas de tráfico hacia varios elementos adyacentes, lo que evita el desplazamiento individual y mejora la durabilidad.

Características principales del pavimento articulado para el sitio Joa:

Composición: capa de adoquines que se apoya sobre una cama de arena fina, a su vez sobre una base granular o la subrasante preparada y compactada.

Transferencia de cargas: los adoquines con forma y sellado entre ellos permiten una transferencia sólida y flexible de las cargas, similar a las ventajas de pavimentos flexibles, pero con la resistencia y durabilidad del concreto.

Flexibilidad: permite menor fisuración en la superficie, ya que las juntas entre adoquines funcionan como mecanismos de articulación.

Impermeabilidad: el sellador también contribuye a impermeabilizar el pavimento, protegiéndolo de la acción de agua de lluvia y agentes externos.

Facilidad de reparación y mantenimiento: las piezas pueden ser reemplazadas individualmente sin romper grandes áreas, facilitando trabajos posteriores.

Uso habitual: calles urbanas, plazas peatonales, zonas con tráfico medio o alto, donde se requiere resistencia, estética y durabilidad.

El diseño estructural adaptado y la experiencia de uso en ese lugar, ya que estos factores son clave para garantizar la sostenibilidad y funcionamiento del pavimento articulado en un contexto particular.

Para confinar este pavimento articulados en las calles vehiculares de la investigación, es fundamental construir una estructura de confinamiento que impida el desplazamiento lateral de los adoquines debido al empuje del tráfico y que también mantenga la arena en las juntas. Aquí los puntos clave para hacerlo correctamente:

El confinamiento debe rodear completamente el área pavimentada y debe penetrar al menos 15 cm en la capa base que está debajo de la capa de arena sobre la cual se colocan los adoquines (Universidad de los Andes, Diseño de Pavimentos Articulados para Tráficos Medio y Alto).

El nivel superior del confinamiento debe cubrir, como mínimo, la mitad del espesor del adoquín una vez compactado (SENA Colombia, Manual de Construcción de Pavimentos de Adoquines).

Para el confinamiento externo, se diseña bordillos o cordones rígidos de concreto que forman la “caja” que contiene la arena y los adoquines. Estos bordillos deben ser de concreto de buena calidad, con espesor de 15 cm para tránsito vehicular y profundidad de 45 cm para alcanzar la base compactada y asegurar la estabilidad (Argos, Construcción de Pavimentos en Adoquines).

Los bordillos se deben hacer con formaleta, debidamente vibrados y bien acabados, no con mortero tirado, para evitar fisuras y desprendimientos (Escuela Politécnica Nacional, Repositorio Digital).

En caso de confinamiento interno, para estructuras dentro del pavimento (como sumideros o cámaras), las paredes se diseñan de concreto o prefabricadas, con espesores adecuados para el tráfico vehicular (alrededor de 15 cm) (Universidad Nacional de Chimborazo, Características físicas, mecánicas e hidráulicas del pavimento articulado).

El confinamiento debe estar presente antes de colocar la capa de are-

na y los adoquines para poder formar esta “caja” que contiene el sistema (Argos, Construcción de Pavimentos en Adoquines).

El confinamiento correcto combina bordillos de concreto bien diseñados, penetración suficiente en la base para resistencia, y se instala antes de la capa de arena y los adoquines para asegurar la integridad del pavimento articulado en calles vehiculares.

Índice de confiabilidad

En el cálculo de los ejes equivalentes se obtuvo un total de 79176.00 de ejes de 8 ton para un periodo de diseño de 20 años.

Según la tabla 5:

Tabla 54. Valores recomendados de nivel de confiabilidad para una sola etapa de diseño (10 o 20 años)

Tipos de caminos	Tráfico	Ejes equivalentes combinados		Nivel confiabilidad [R%]
Caminos de bajo volumen de tránsito	Tpo	75.000	150.000	65%
	Tp1	150.001	300.000	70%
	Tp2	300.001	500.000	75%
	Tp3	500.001	750.000	80%
	Tp4	750.001	1.000.000	80%
	Tp5	1.000.001	1.500.000	85%
	Tp6	1.500.001	3.000.000	85%
	Tp7	3.000.001	5.000.000	85%
	Tp8	5.000.001	7.500.000	90%
	Tp9	7.500.001	10.000.000	90%
	Tp10	10.000.001	12.500.000	90%
	Tp11	12.500.001	15.000.000	90%
	Tp12	15.000.001	20.000.000	95%
	Tp13	20.000.001	25.000.000	95%
	Tp14	25.000.001	30.000.000	95%
	Tp15	>30000000		95%

Fuente: extraído de AASHTO (1993).

Coeficiente estadístico de desviación estándar normal (ZR)

Según la tabla 6:

Tabla 55. Coeficiente estadístico de la desviación estándar normal (Zr) para una sola etapa de diseño (10 o 20 años) según el nivel de confiabilidad seleccionado y el rango

Tipos de caminos	Trafico	Ejes equivalentes combinados	Desviación estándar normal [ZR]
Caminos de bajo volumen de tránsito	Tpo	75.000	-0.385
	Tp1	150.001	-0.524
	Tp2	300.001	-0.674
	Tp3	500.001	-0.842
	Tp4	750.001	-0.842
	Tp5	1.000.001	-1.036
	Tp6	1.500.001	-1.036
	Tp7	3.000.001	-1.036
	Tp8	5.000.001	-1.282
	Tp9	7.500.001	-1.282
	Tp10	10.000.001	-1.282
	Tp11	12.500.001	-1.282
	Tp12	15.000.001	-1.645
	Tp13	20.000.001	-1.645
	Tp14	25.000.001	-1.645
	Tp15	>30000000	-1.645

Fuente: extraído de AASHTO (1993).

Desviación Estándar Combinada (So)

Se recomienda adoptar para los pavimentos flexibles, valores de So comprendidos entre 0.40 y 0.50. El manual recomienda el valor de 0.45 para pavimentos articulados (MTC, 2014).

Tabla 56. Índices de serviciabilidad presente (PSI)

Índice de serviciabilidad	PSI
Índice de serviciabilidad inicial	4.50 4.20
Índice de serviciabilidad final	2.50 2.00

Fuente: extraído de AASHTO (1993).

El valor de índice de serviciabilidad inicial para la vía de estudio en este caso será de 4.20 y el indicia de serviciabilidad final será de 2.00

Variación de serviciabilidad (Δ PSI)

Es la diferencia entre la serviciabilidad inicial y terminal asumida para el proyecto en desarrollo (MTC, 2014).

$$[\Delta\text{PSI}] = \text{ISi} - \text{ISf}$$

$$[\Delta\text{PSI}] = 4.20 - 2.2 = 2.00$$

Cálculo del módulo resiliente del material de la subrasante

Tabla 57. Resumen del estudio de suelo CBR

Muestra	CBR [%]	
	0.10 pulg penetración	0.20 pulg penetración
muestra 1	3.50	3.87
muestra 2	6.40	6.10
muestra 3	15.70	19.50
muestra 4	22.20	20.10

Fuente: extraído de Vinculación CIC UNESUM (2023).

Por motivos de diseño para que toda la estructura del pavimento tenga una base uniforme sin variar sus espesores se adoptara el valor CBR más crítico, es decir el de 3.50%.

Según la tabla 58:

Tabla 58. Correlación del módulo resiliente con el C.B.R.

Valor	Módulo resiliente
CBR ≤ 7.20%	MR=1500*CBR
7.20 ≤ CBR ≤ 20.00%	MR=3000*CBR ^{0.65}
CBR ≥ 20.00%	MR=4326*Ln(CBR)+241

Fuente: extraído de AASHTO (1993).

$$\mathbf{MR = 1500 * CBR}$$

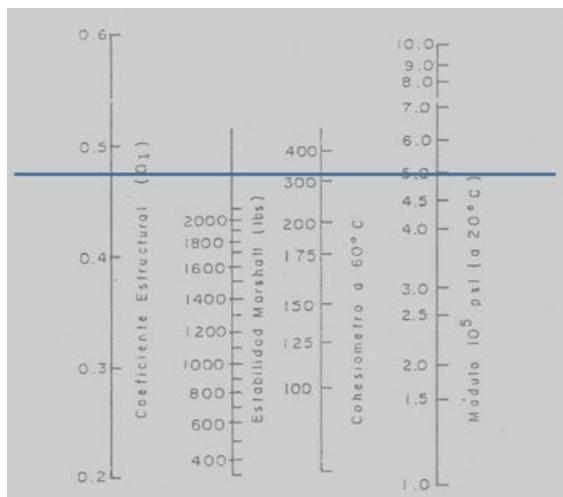
$$\mathbf{MR = 1500 * 3.50 = 5250.00 \text{ PSI}}$$

Cálculo de coeficiente estructural (ai)

Coeficiente de aporte estructural de la mezcla asfáltica a1

Según la figura 30:

Figura 30. Valores del coeficiente estructural (a1) para mezclas asfálticas densamente gradadas empleadas como capa de rodamiento y/o intermedia, a partir de la estabilidad Marshall



Fuente: extraído de AASHTO (1993).

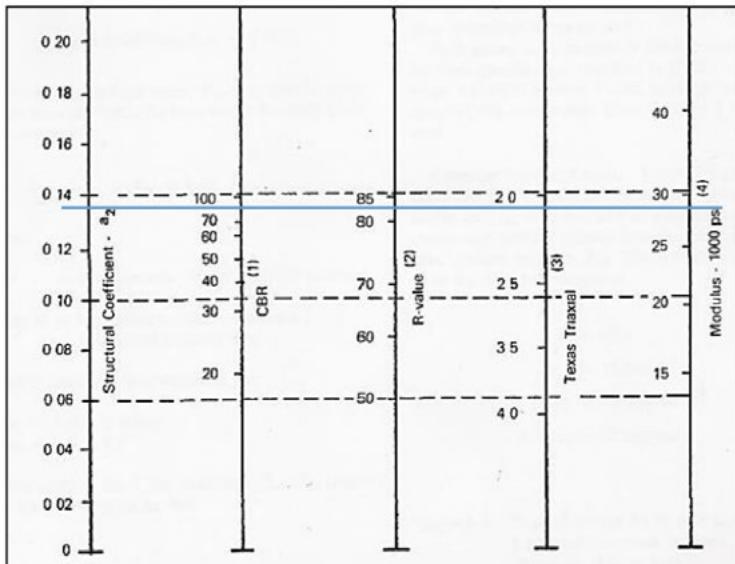
Se empleó la estabilidad de Marshall de 1800 lb, de la cual se obtiene un módulo de elasticidad de 380000 PSI con un coeficiente estructural 0.42.

Módulo resiliente de la capa de base

Considerando las especificaciones del MOP para base se establece el valor de CBR =80% obteniendo los siguientes resultados.

Según la figura 31:

Figura 31. Grafica para determinar el coeficiente estructural (a_2) de la base granular a_2



Fuente: extraído de AASHTO (1993).

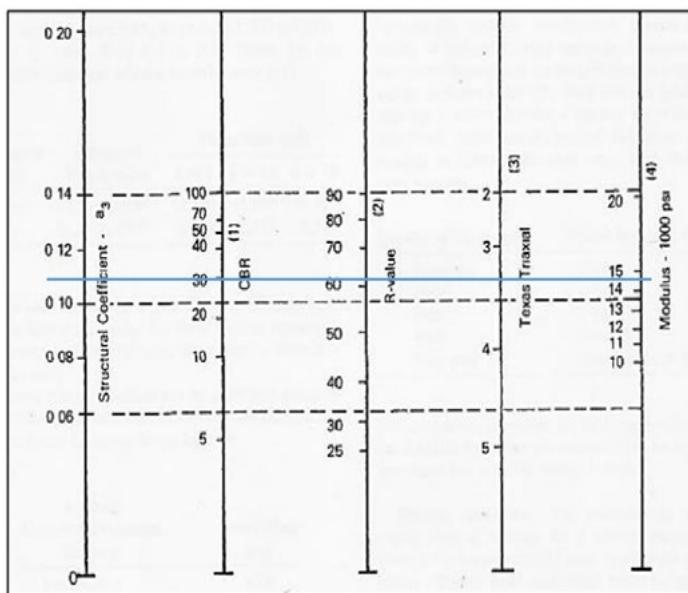
Ubicándolo en la figura se obtiene para el módulo de base de $M_{rb} = 29500$ PSI y el coeficiente de aporte estructural $a_2 = 0.136$

Módulo resiliente de la capa de subbase

Considerando las especificaciones del MOP para subbase se establece el valor de CBR = 30% obteniendo los siguientes resultados:

Según la figura 32:

Figura 32. Gráfico para determinar el coeficiente estructural (a_3) de la Subbase granular



Fuente: extraído de AASHTO (1993).

Ubicándolo en la figura se obtiene para el módulo de subbase de $M_{r-sub} = 14850$ PSI y equivale al coeficiente de aporte estructural $a_3 = 0.108$

Determinación de Coeficientes de Drenaje m_2, m_3

Según la tabla 59:

Tabla 59. Calidad del drenaje

Calidad del drenaje	$p = \%$ del tiempo en que el pavimento está expuesto a niveles de humedad cercano a la saturación			
	Menor que 1%	1% - 5%	5% - 25%	Mayor que 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

Calidad del drenaje	$p=\%$ del tiempo en que el pavimento está expuesto a niveles de humedad cercano a la saturación			
	Menor que 1%	1% - 5%	5% - 25%	Mayor que 25%
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: extraído de AASHTO (1993).

Los coeficientes de drenaje respectivamente serán: $1.15=m_2$ para base y $1.00=m_3$ para sub-base.

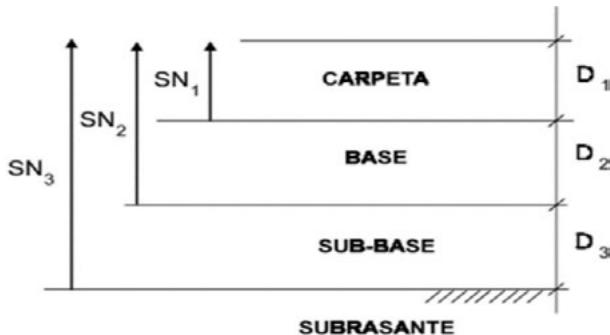
Cálculo de la estructura del pavimento

Para el cálculo del número estructural se hará uso el nomograma propuesto por la AASHTO (1993), para pavimentos flexibles.

Cálculo del número estructural S_1, S_2 y S_3

Según la figura 33:

Figura 33. SN de la estructura del pavimento



Fuente: extraído de AASHTO (1993).

Figura 34. Servicialidad

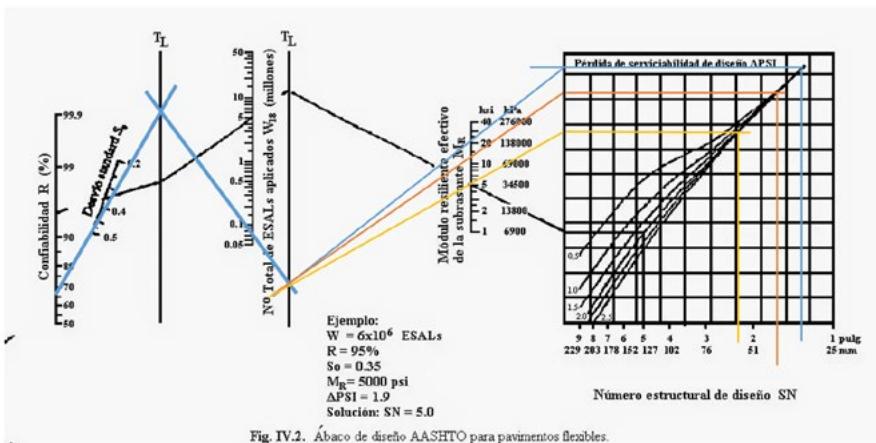


Fig. IV.2. Ábaco de diseño AASHTO para pavimentos flexibles.

Fuente: extraído de AASHTO (1993).

Determinación de los espesores D1, D2 y D3

Tabla 60. Datos para el numero estructural SN1, SN2, y SN3

SN	R	So	w 18	Mr [psi]	Δ PSI	a1	m	SN obtenido [pulg]
1	65.00	0.45	0.079^* 10^6	29500.00	2.00	0.42	-	1.25
2	65.00	0.45	0.079^* 10^6	14850.00	2.00	0.136	1.15	1.70
3	65.00	0.45	0.079^* 10^6	5250.00	2.00	0.108	1.00	2.30

Fuente: elaboración propia

Para obtener los espesores de D1 y D2, la norma (AASHTO, 1993), nos dice que los valores mínimos se obtienen en la siguiente tabla, que está en función de los N.^o de ejes equivalentes, en este caso de estudio el número de eje equivalentes es de 79176.00 de ejes de 8 ton.

Figura 35. Valor mínimo D1, selección de material y espesor del adoquín comerciales según fabricante



Fuente: extraído de Hormipisos (2022).

Esta vía se diseñará con adoquines de hormigón del fabricante Hormipisos modelo PARIS SIN TEXTURA que es de adoquín de espesor de 8 cm, es decir el valor mínimo de D1= 3.15 pulgadas = 8 cm.

Tabla 61. Valores mínimos de D2 en función de los ejes equivalentes

N.º de ejes equivalentes	Concreto asfáltico D1 [pulg]	Base granular D2 [pulg]
<50000	1 ó (tratamiento superficial)	4.00
50.001 a 150.000	2.00	4.00
150.001 a 500.000	2.50	4.00
500.001 a 2' 000.000	3.00	6.00
2' 000.001 a 7' 000.000	3.50	6.00
>7' 000.000	4.00	6.00

Fuente: extraído de AASHTO (1993).

Para esta vía que es de adoquín le corresponde los siguientes espesores mínimos de base granular $D_2 = 4.00$ pulgadas

Espesor concreto asfáltico teórico D1.

$$SN_{11} = 0.45 * 3.15 \text{ pulg} = 1.42 \text{ pulg}$$

0.45 = constante para adoquines

Espesor de la base granular D2.

$$SN_b = a_2 m_2 D_2$$

$$SN_b = 0.136 * 1.15 * 4 \text{ pulg}$$

$$SN_b = 0.63 \text{ pulg}$$

Espesor de la sub-base D3.

$$D_3 = \frac{SN_3 - (SN_2 + SN_1)}{a_3 * m_3}$$

$$D_3 = \frac{2.30 - (0.63 + 1.42)}{0.108 * 1} = 2.31 \text{ pulg} = 5.88 \text{ cm} = 6 \text{ cm}$$

$$SN_3 = a_3 m_3 D_3$$

$$SN_3 = 0.108 * 1 * 2.31 = 0.25 \text{ pulg}$$

Comprobación

$$SN_c = (a_1 * D1) + (a_2 * D2) + (a_3 * D3 * m3)$$

$$SN_c = 1.42 + 0.63 + 0.25 = 2.30$$

$$SN \leq SN_c$$

2.30 ≤ 2.30, ok el cálculo es correcto

Capa de arena o de asiento

De acuerdo por normativa la capa de asiento debe tener un espesor mínimo recomendado de 5 cm por especificaciones del MOP (2003). La cama base o cama de arena para este diseño será de 4 cm.

Pendiente o bombeo de la vía

El bombeo en la capa de rodadura es muy importante, ya que nos permite evacuar de forma rápida y eficiente toda la escorrentía superficial.

La normativa MOP (2003), indica que las pendientes transversales o de bombeo no deben ser menores al 2%.

Tomando en cuenta que el pavimento articulado no es una superficie impermeable ya que estas tienen juntas y tener poco bombeo ser muy perjudicial para la vía durante su vida útil, por esta razón para este diseño se adoptara un bombeo de 3% para tener mayor escurrimiento de las aguas lluvias y no tener empozamiento.

Tabla 62. Espesores obtenidos de la estructura del pavimento

ADOQUIN	8 cm
CAMA ARENA	4 cm
BASE	10 cm
SUB-BASE	6 cm
SUBRASANTE	

Fuente: elaboración propia

Confinamiento del adoquín

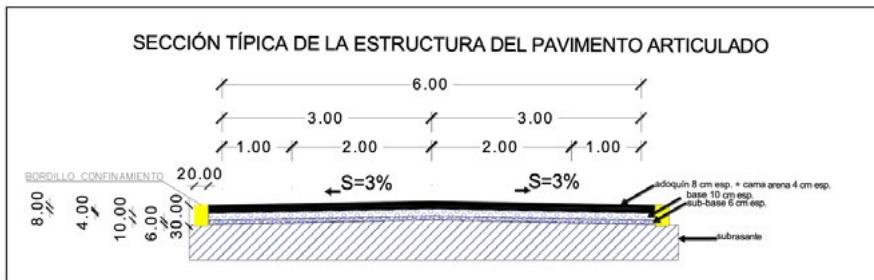
Es para impedir desplazamientos tanto verticales como horizontales de los adoquines producto de las vibraciones de los vehículos, para el confinado se usa bordillo y bermas de concreto.

Para confinar nuestro adoquín adoptaremos las recomendaciones del (MOP, 2003) para el bordillo de confinamiento:

- El ancho máximo de un bordillo será de 0.25 m
- La altura de un bordillo, medido desde el nivel de la calzada (incluyendo capa de rodadura) no será menor de 0.25 m. ni mayor de 0.30 m
- La resistencia del hormigón mínima será de f'_c 210 kg/cm²

Obedeciendo a la normativa adoptaremos un bordillo rectangular con ancho de 20 cm por un alto de 30 cm con una resistencia de hormigón de f_c 210 kg/cm².

Figura 36. Sección típica de la estructura del pavimento articulado



Fuente: elaboración propia

Conclusiones

Mediante el estudio del tráfico de la calle B y sus intersecciones calles 6, 7 y 8 de la comuna Joa del cantón Jipijapa se pudo determinar un tráfico actual de 109 veh/día, realizando las proyecciones para un periodo de diseño de 20 años se determinó un TPDA de 320 veh/día lo cual el MTOP define la vía con una clasificación tipo C3. De la misma manera en base al TPDA se realizó el cálculo de los ejes equivalentes en donde se obtuvo 79176.00 de ejes de 8 ton.

Mediante las muestras de suelo presente en la calle B y sus intersecciones calles 6, 7 y 8 de la comuna Joa del cantón Jipijapa se pudo determinar las propiedades mecánicas del suelo de la localidad en donde se pudo conocer que el CBR de la subrasante del área de estudio es de 3.50%.

Los diferentes espesores para el pavimento articulado de la calle B y sus intersecciones calles 6, 7 y 8 de la comuna Joa del cantón Jipijapa se realizó en base a la normativa (AASHTO, 1993), el espesor del adoquín (según fabricante D1= 3.15 pulgadas) y base granular (D2=4 pulgadas) datos recomendados por la norma que se basa en el número de ejes equivalente, la subbase con su respectivo cálculo se obtuvo un espesor (D3=2.36 pulgadas) adicional el bombeo de la vía será de 3% con un bordillo de confinamiento de 20 cm ancho por 30 cm de alto.

Referencias

AASHTO. (1993). *Método AASHTO (93) en el diseño de pavimentos flexibles.* <https://es.scribd.com/document/440725381/ASHH-TO>

Acosta, D. M. (2021). *Diagnóstico de pavimentos mediante el método pci y análisis de la influencia del mal estado de la vía con relación al número de accidentes presentados en la av. la victoria (carrera 4 este) entre calle 37 sur y calle 27a sur* [Tesis de grado, Universidad Católica de Colombia].

Alvarado, R. (2004). *Tráfico.* Espol. <https://n9.cl/hqjplh>

Asamblea Nacional de la República del Ecuador. (2017). *Ley Sistema Nacional de Infraestructura Vial Transporte Terrestre.*

Briceño, G. (2019). Planimetría. *EUSTON.* <https://www.euston96.com/planimetria/>

Calderón, L. A. (2011). *Diseño metodológico.* <https://n9.cl/argnsd>

Caribe, C.-B. (2015, 24 de noviembre). Seguridad vial ¿problema de cultura o infraestructura? *CAF - Banco de Desarrollo de América Latina y el Caribe.* <https://n9.cl/2lom2a>

Castillo, X. A. (2003). *Diseño de pavimentos articulados para tráfico medio y alto* [Proyecto de grado, Universidad de los Andes].

Chang, L. (2014, 17 de diciembre). *Ensayo CBR.* <https://n9.cl/4c4ok>

CPE INEN 5. (1997). *Código de práctica para el diseño de sistemas de abastecimiento de agua potable, disposición de excretas y residuos líquidos en el área rural.*

Criollo, R. D. (2017). *Estudio geométrico del camino vecinal hacia la preasociación 12 de mayo (Triunfo), cantón Arajuno, provincia de Pastaza* [Tesis de grado, Universidad Técnica de Ambato].

Gayarre, F. L. (2002). *Elementos de topografía y construcción.* Editorial Dossat.

Giordani, C., & Leone, D. (s.f.). *Ingeniería civil.* <https://n9.cl/1yi6c>

Herrera, M. V. (2005). *Susceptibilidad al deslizamiento de los suelos y rocas de la provincia de Manabí* [Tesis de grado, Escuela Superior Politécnica del Litoral].

- Hormipisos. (2022). *Ficha técnica Paris Sin Textura 8cm Alameda*.
- Italo Q., I. (2024). ¿Qué es la planimetría? Arcux. <https://n9.cl/six9s>
- Márquez, F. G. (2003). *Curso básico de topografía: Planimetría, agrimensura, altimetría*. Pax México.
- Master, T. y. (s.f.). Investigación experimental: definición. *Tesis y Masters*. <https://n9.cl/l9pfe>
- Mendoza, J. (2020, 3 de octubre). Equipos para ensayos de suelos y asfalto. *JMEQUIPOS*. <https://jmequipos.com/detalle.php?id=160>
- Ministerio de Obras Públicas (MOP). (2003). *Especificaciones Técnicas Generales para Construcción de Carreteras (MOP 001-F-2002)*.
- Moreno, L. (2023). Modelo matemático para determinar las causas del mal estado de las vías de la zona urbana del cantón Jipijapa. *Cuestiones Económicas*, 33(1).
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú (MTC). (2014). *Manual de carreteras: Suelos, geología, geotecnia y pavimentos (Sección: Suelos y Pavimentos)*.
- Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTOP). (2013). *Norma para estudios y diseños viales (NEVI-12), Volumen 2*.
- Ofiteat. (2017). ¿Qué es la altimetría? <https://n9.cl/nmsio>
- Peña, J. A., & Altemir, J. (2021). *Expresión gráfica en la ingeniería y dibujo asistido por ordenador II. Sistema acotado y aplicaciones prácticas de diédrico*. Prensas de la Universidad de Zaragoza.
- Portillo, S. G. (2014). Diseño documental. *Universidad de Jaén*. http://www.ujaen.es/investiga/tics_tfg/dise_documental.html
- PROCCSA. (2020). Diseño de pavimentos. <https://n9.cl/iqq84>
- QuestionPro. (2023). *Investigación exploratoria*. <https://n9.cl/itul>
- Rebolledo, R. J. (2010). *Deterioros en pavimentos flexibles y rígidos* [Tesis de grado, Universidad Autrial de Chile].
- Sánchez, F. (2018, 15 de diciembre). ¿Qué es el CBR? *GeoTechTips*. <https://www.geotechtips.com/post/que-es-el-cbr>

- Santín, A. J. (2005). *Límite de Atterberg*. <https://n9.cl/trolwd>
- Shuttleworth, M. (2023). *Propósito de la investigación*. Explorable. <https://explorable.com/es/proposito-de-la-investigacion>
- Soledispa, V. G., & Loor, B. (2022). *Estudio y diseño de vía San Juan – El Jinque, longitud 2.4 km ubicado en el cantón Junín, provincia de Manabí* [Tesis de grado, Universidad de Guayaquil].
- Testsiforme. (2023). *Investigación de campo*. <https://www.testsite-forme.com/investigacion-de-campo/>
- UNESUM, Centro de Carreras. (2022). *Guía metodológica para el proceso de titulación mediante la modalidad de proyectos de investigación*. Universidad Estatal del Sur de Manabí.
- Universidad Veracruzana. (s.f.). *Tipos de investigación*. <https://n9.cl/iewvo>
- Vera, V. D. (2016). Sistema experto para la gestión de daños en vías pavimentadas y en afirmado. *Lámpsakos*, (16), 27-35. <https://doi.org/10.21501/21454086.2135>
- Zambrano, W. Z. (2015). *Diseño estructural de pavimentos* [Tesis de grado, Universidad Técnica de Machala].
- Zhangallimbay, D., & Ordoñez, M. (2022). Eficiencia en la producción agrícola: Un análisis del efecto de la construcción de carreteras en zonas productivas del Ecuador. *Cuestiones Económicas*, 32(1).



Religación
Press

Ideas desde el Sur Global



Religación

Press

ISBN: 978-9942-594-03-7

A standard linear barcode representing the ISBN number 978-9942-594-03-7.

9 789942 594037