

DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO PARA LA CARRERA OCTAVA ENTRE CALLE PRIMERA Y SEGUNDA, Y LA CALLE PRIMERA ENTRE LA CARRERA SÉPTIMA Y NOVENA DEL CORREGIMIENTO DE SAN JUAN DE VILLALOBOS.



AUTORES:

JERSON STEVE GUEVARA RUALES Cd. 100418010094

DARVIN SEBASTIAN RAMIREZ HOYOS Cd. 100418011246

UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE GEOTECNIA

2023

DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO PARA LA CARRERA OCTAVA ENTRE CALLE PRIMERA Y SEGUNDA, Y LA CALLE PRIMERA ENTRE LA CARRERA SÉPTIMA Y NOVENA DEL CORREGIMIENTO DE SAN JUAN DE VILLALOBOS.



AUTORES:

JERSON STEVE GUEVARA RUALES_Cd. 100418010094

DARVIN SEBASTIAN RAMIREZ HOYOS Cd. 100418011246

TRABAJO DE GRADO MODALIDAD PRÁCTICA SOCIAL. PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL.

DIRECTOR:

Dr. FERNEY QUIÑONES SINISTERRA

UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE GEOTECNIA

2023

DEDICATORIA

Dedico con toda felicidad este trabajo a mi familia, especialmente a mi madre Claudia Ruales quien en ningún momento apartó de mí su apoyo incondicional, su regazo como lugar de descanso, sus abrazos como fuente de motivación y su dedicación plena para el crecimiento personal que experimenté, mi padre Alberto Guevara con sus sabios consejos y apoyo guó mi camino y a mi hermano, el cual con su llegada avivó las ganas de continuar con cada paso que me permitió llegar aquí. Esta es una prueba de que sus esfuerzos y sacrificios no fueron en vano, pues este logro es gracias y por ustedes.

Jerson Steve Guevara Ruales

Dedico este trabajo a todos aquellos familiares y amigos que con un abrazo siempre me llenaron de aliento para continuar, especialmente a mi madre Luz Dilsa Hoyos, mi padre Gilmer Ramirez, mis hermanos Anderson Hoyos y Charly Ramirez, la señora Luz Marina Ruiz, mi amigo de la infancia Diego Alexander Erazo y la familia Hoyos Castañeda. De la misma manera, aquí expreso mi sentido de solidaridad y pertenencia hacia San Juan de Villalobos; mi mayor fortuna ha sido crecer rodeado de sus maravillosas personas, para siempre mi hogar.

Darvin Sebastian Ramirez Hoyos

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a nuestra alma máter la Universidad del Cauca, por abrirnos las puertas y permitirnos formar parte de su familia, una familia unida por el insaciable deseo de aprendizaje y enseñanza; a la Geotecnia, pues con su amplia gama de saberes y aplicaciones, se encargó de cautivar nuestra atención; a todos los docentes que participaron en nuestra formación académica, en especial a Ferney Quiñones Sinisterra, Diego Felipe Acevedo Dominguez, Carolina Paredes Cerón, Victor Renan Castillo y Carlos Alberto Benavides, quienes no dudaron en compartir su conocimiento y experiencia más allá del aula de clases; a los compañeros que con el tiempo se convirtieron en amigos y quienes durante la carrera fueron esa compañía en la que surgió un apoyo para poder superar los obstáculos, de manera particular a compañeros de geotecnia, su ayuda hizo posible el desarrollo de este trabajo; finalmente a nuestra fuente de motivación.

A todos, simplemente gracias.

Jerson Steve Guevara Ruales
Darvin Sebastian Ramirez Hoyos

TABLA DE CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN	15
2.	OBJETIVOS Y ALCANCE	17
2.1.	OBJETIVO GENERAL	17
2.2.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	17
2.3.	ALCANCE	17
3.	METODOLOGÍA EMPLEADA	18
3.1.	TRABAJO DE CAMPO.....	18
3.2.	TRABAJO DE OFICINA.....	20
4.	LOCALIZACIÓN Y ESTADO ACTUAL DE LAS VÍAS.....	24
4.1.	LOCALIZACIÓN	24
4.2.	ESTADO ACTUAL DE LAS VÍAS	26
5.	REGLAMENTACIÓN DEL ESQUEMA DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL (EOT) 29	29
6.	ESTUDIOS DE CARACTERIZACIÓN	31
6.1.	CLIMATOLOGÍA.....	31
6.2.	ESTUDIO DE LAS CONDICIONES DE DRENAJE	33
6.3.	ESTUDIO GEOLÓGICO	35
6.4.	FUENTES DE MATERIAL.....	38
6.5.	ESTUDIO DE TOPOGRAFÍA	40
7.	ESTUDIO GEOTÉCNICO.....	47
7.1.	DESCRIPCIÓN DEL ESTADO ACTUAL DE LAS VÍAS URBANAS DESDE EL PUNTO DE VISTA GEOTÉCNICO	47
7.2.	TRABAJO DE CAMPO.....	48
7.3.	PERFIL ESTRATIGRÁFICO.....	50

7.3.1.	ENSAYO PENETRÓMETRO DINÁMICO DE CONO (PDC)	51
7.3.2.	ENSAYOS DE CLASIFICACIÓN A MUESTRAS RECUPERADAS.....	57
7.4.	RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA (CBR) CON MUESTRA INALTERADA.....	61
7.5.	SUELOS ESPECIALES	66
8.	ESTUDIO DE TRÁNSITO	71
8.1.	TRÁNSITO NORMAL	71
8.2.	TRÁNSITO POR CONSTRUCCIÓN.....	75
8.3.	TRÁNSITO DEDUCIDO.....	76
9.	DETERMINACIÓN DE LA VARIABLE TRÁNSITO - ESPECTROS DE CARGA	77
9.1.	VARIABLES CONSIDERADAS PARA EL TRÁNSITO DE DISEÑO.....	79
9.2.	TRÁNSITO DE DISEÑO	83
10.	DISEÑO DE PAVIMENTO	86
10.1.	MEJORAMIENTO DE SUBRASANTE	86
10.1.1.	ESPESOR DE ANÁLISIS PARA MEJORAMIENTO	87
10.1.2.	SUELO PROPUESTO PARA MEJORAMIENTO.....	91
10.1.3.	RESISTENCIA PONDERADA DE LA NUEVA SUBRASANTE.....	98
10.2.	PROPUESTA DE DISEÑO	100
10.2.1.	METODOLOGÍA PORTLAND CEMENT ASSOCIATION (PCA-1984).....	101
10.2.2.	ESTRUCTURA DE PAVIMENTO PROPUESTA.....	102
10.2.3.	ANÁLISIS DE FATIGA Y EROSIÓN DE LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO PROPUESTA	105
10.3.	MODULACIÓN DE LOSAS DE CONCRETO SIMPLE.....	121

10.3.1.	ESPACIAMIENTO ENTRE JUNTAS	121
10.4.	DISEÑO DE JUNTAS	123
10.4.1.	JUNTAS LONGITUDINALES	124
10.4.2.	JUNTAS TRANSVERSALES.....	125
10.4.3.	DETALLE DE LAS JUNTAS LONGITUDINALES Y TRANSVERSALES	126
11.	DISEÑO GEOMÉTRICO DE VÍAS	127
11.1.	DISEÑO EN PLANTA	129
11.2.	DISEÑO DE INTERSECCIÓN	129
11.3.	DISEÑO EN PERFIL.....	133
12.	OBRAS COMPLEMENTARIAS.....	135
12.1.	SUBDRENAJE - DREN FRANCÉS	135
12.2.	VIGA DE CONCRETO	136
12.3.	SUMIDERO	138
13.	PLANOS	140
14.	RECOMENDACIONES TÉCNICAS	143
14.1.	ANDÉN DE CONCRETO	143
14.2.	BORDILLO	145
14.3.	RECOMENDACIONES TÉCNICAS.....	147
15.	OBSERVACIONES	148
16.	CONCLUSIONES	149
17.	ANEXOS	150
18.	REFERENCIAS.....	151

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. <i>Ubicación de Colombia.</i>	24
Figura 2. <i>Ubicación del departamento del Cauca.</i>	24
Figura 3. <i>Ubicación de la Media Bota Caucana.</i>	25
Figura 4. <i>Ubicación del corregimiento de San Juan de Villalobos.</i>	25
Figura 5. <i>Ubicación de la Carrera 8 y la Calle 1 en el corregimiento de San Juan de Villalobos.</i>	26
Figura 6. <i>Visualización de la estación pluviométrica del sector Villalobos.</i>	31
Figura 7. <i>Visualización de las planchas geológicas para el Cauca.</i>	36
Figura 8. <i>Plancha 412 San Juan de Villalobos.</i>	37
Figura 9. <i>Detalle de la zona San Juan de Villalobos en la plancha y leyenda.</i>	37
Figura 10. <i>Localización de fuentes de material-Agregados.</i>	39
Figura 11. <i>Localización de la fuente de material-Afirmado.</i>	40
Figura 12. <i>Coordenadas de mojones obtenidas con Mobile Mapper.</i>	42
Figura 13. <i>Vista en planta de los BM y Delta.</i>	43
Figura 14. <i>Nube de puntos obtenida con el estudio topográfico.</i>	45
Figura 15. <i>Modelo digital del terreno obtenido con el estudio fotográfico.</i>	46
Figura 16. <i>Localización en planta de los apiques.</i>	48
Figura 17. <i>Punto de vista del Perfil Estratigráfico.</i>	60
Figura 18. <i>Perfil estratigráfico deducido.</i>	61
Figura 19. <i>Consecuencia de fundar el pavimento sobre un suelo blando.</i>	68
Figura 20. <i>Consecuencia de fundar el pavimento sobre un suelo expansivo.</i>	69
Figura 21. <i>Procedimiento de cálculo tránsito por construcción.</i>	75
Figura 22. <i>Detalle de los tipos de eje.</i>	78
Figura 23. <i>Datos de censo para el municipio de Santa Rosa.</i>	82
Figura 24. <i>Gráficas para interpretación de CBR de suelo fino.</i>	97
Figura 25. <i>Sección transversal de diseño.</i>	127
Figura 26. <i>Elemento adicional de la sección transversal.</i>	128

Figura 27. <i>Parámetros generales de estructura Carrera 8.</i>	128
Figura 28. <i>Parámetros generales de estructura Calle 1.</i>	128
Figura 29. <i>Diseño en planta de las vías.</i>	129
Figura 30. <i>Polilínea de control.</i>	130
Figura 31. <i>Vértices en diseño de vía Calle 1.</i>	130
Figura 32. <i>Esquinas de diseño en proceso.</i>	131
Figura 33. <i>Ancho y abscisas de esquina sobre eje principal.</i>	131
Figura 34. <i>Ancho y abscisas de esquina sobre eje secundario.</i>	132
Figura 35. <i>Modelo Digital de las vías en la zona de intersección.</i>	132
Figura 36. <i>Visualización del Modelo Digital en 3D.</i>	133
Figura 37. <i>Diseño en perfil de la Carrera 8.</i>	134
Figura 38. <i>Diseño en perfil de la Calle 1.</i>	134
Figura 39. <i>Losas reforzadas con malla electrosoldada.</i>	139
Figura 40. <i>Plano 1.</i>	140
Figura 41. <i>Plano 2.</i>	141
Figura 42. <i>Plano 3.</i>	142

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. <i>Sección Transversal vía secundaria EOT</i>	30
Ilustración 2. <i>Fuentes de agua en pavimento</i>	34
Ilustración 3. <i>Detalle constructivo de los mojones</i>	41
Ilustración 4. <i>Consistencia del suelo según su contenido de humedad y los límites de Atterberg</i>	60
Ilustración 5. <i>Bulbo de presiones para carga circular uniformemente repartida</i>	88
Ilustración 6. <i>Incremento de esfuerzo en el centro del área cargada a cualquier profundidad</i>	88
Ilustración 7. <i>Gráfica eje estándar</i>	89
Ilustración 8. <i>Mejoramiento de subrasante con suelo de mejoramiento</i>	98
Ilustración 9. <i>Propuesta de mejoramiento para subrasante</i>	100
Ilustración 10. <i>Estructura de Pavimento Propuesta</i>	104
Ilustración 11. <i>Losa estándar</i>	123
Ilustración 12. <i>Efectividad de un Pasajuntas</i>	123
Ilustración 13. <i>Distribución de las barras de anclaje en la junta longitudinal</i>	125
Ilustración 14. <i>Distribución de los pasadores lisos en la junta longitudinal</i>	126
Ilustración 15. <i>Detalle constructivo de las juntas longitudinales y transversales</i>	126
Ilustración 16. <i>Propuesta de subdrenaje - Dren Francés</i>	135
Ilustración 17. <i>Esquema de viga de concreto para empalme</i>	137
Ilustración 18. <i>Localización de la viga de concreto de empalme</i>	137
Ilustración 19. <i>Detalle constructivo de la junta de expansión</i>	138
Ilustración 20. <i>Recomendación rejilla sumidero</i>	139
Ilustración 21. <i>Vista en perfil del andén recomendado</i>	144
Ilustración 22. <i>Dimensiones del Bordillo vistas en perfil</i>	146

LISTA DE IMÁGENES

Imagen 1. <i>Estado actual Calle 1 entre Carrera 8 y 9.</i>	27
Imagen 2. <i>Estado actual Carrera 8.</i>	27
Imagen 3. <i>Estado actual Calle 1 entre Carrera 7 y 8.</i>	28
Imagen 4. <i>Morfología de San Juan de Villalobos.</i>	36
Imagen 5. <i>Fuente hídrica Río los cauchos.</i>	38
Imagen 6. <i>Fuente de material para mejoramiento explotada y material desprendido sobre la vía.</i>	40
Imagen 7. <i>Construcción de los mojones. Fuente propia.</i>	42
Imagen 8. <i>Levantamiento topográfico en campo.</i>	44
Imagen 9. <i>Apique con CBR muestra inalterada y Recuperación de Muestras Alteradas.</i>	49
Imagen 10. <i>Ensayo Penetrómetro Dinámico de Cono (PDC).</i>	49
Imagen 11. <i>Muestras CBR inalteradas y Muestras alteradas recuperadas para transporte.</i>	50
Imagen 12. <i>Trabajo de laboratorio Ensayo Límite líquido.</i>	58
Imagen 13. <i>Trabajo de laboratorio Ensayo Límite Plástico.</i>	58
Imagen 14. <i>Ensayo CBR muestra inalterada.</i>	62
Imagen 15. <i>Vehículo >C5 estacionado en la vía.</i>	76
Imagen 16. <i>Suelo tipo afirmado color amarillo.</i>	91
Imagen 17. <i>100 kg de suelo tipo afirmado color amarillo.</i>	94
Imagen 18. <i>Compactación de moldes CBR para el suelo tipo afirmado amarillo.</i>	94
Imagen 19. <i>Curado de muestras y medición de expansión.</i>	95
Imagen 20. <i>Penetración de los moldes.</i>	95
Imagen 21. <i>Referencia gráfica del andén recomendado.</i>	144
Imagen 22. <i>Referencia gráfica del bordillo interno.</i>	145

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. <i>Datos de precipitación sector Villalobos 2003-2023. Adaptado de los datos disponibles en el IDEAM</i>	32
Tabla 2. <i>Coordenadas ajustadas de los mojones. Elaboración propia.</i>	43
Tabla 3. <i>Capas para el levantamiento topográfico. Elaboración propia</i>	44
Tabla 4. <i>Datos ensayo PDC - Apique No.1. Elaboración propia</i>	51
Tabla 5. <i>Datos ensayo PDC - Apique No.2. Elaboración propia</i>	53
Tabla 6. <i>Datos ensayo PDC - Apique No.3. Elaboración propia</i>	55
Tabla 7. <i>Resumen de los datos de ensayos de clasificación y humedad. Elaboración propia</i>	58
Tabla 8. <i>Datos del ensayo CBR muestra inalterada para Apique 1. Informe CBR de geotecnia</i>	63
Tabla 9. <i>Datos del ensayo CBR muestra inalterada para Apique 2. Informe CBR de geotecnia</i>	64
Tabla 10. <i>Datos del ensayo CBR muestra inalterada para Apique 3. Informe CBR de geotecnia</i>	65
Tabla 11. <i>Clasificación de suelos expansivos. NSR-10, Título H</i>	70
Tabla 12. <i>Formato para estudio de tránsito. Elaboración propia</i>	71
Tabla 13. <i>Registro estudio de tránsito día 1. Elaboración propia</i>	72
Tabla 14. <i>Registro estudio de tránsito día 2. Elaboración propia</i>	72
Tabla 15. <i>Registro estudio de tránsito día 3. Elaboración propia</i>	73
Tabla 16. <i>Registro estudio de tránsito día 4. Elaboración propia</i>	73
Tabla 17. <i>Registro estudio de tránsito día 5. Elaboración propia</i>	74
Tabla 18. <i>Registro estudio de tránsito día 5. Elaboración propia</i>	74
Tabla 19. <i>Resumen de tránsito deducido. Elaboración propia</i>	77
Tabla 20. <i>Cargas máximas permitidas por eje. Resolución 004100 de 2004</i>	79
Tabla 21. <i>Nivel de confiabilidad según el tipo de vía. Metodología Portland Cement Association (PCA-1984)</i>	80

Tabla 22. <i>Desviación Normal Estándar en función del nivel de confiabilidad. Metodología Portland Cement Association (PCA-1984)</i>	81
Tabla 23. <i>Datos filtrados de centros poblados y rural disperso para Santa Rosa desde el año 2020 hasta 2035. DANE.</i>	82
Tabla 24. <i>Parámetros utilizados para la proyección del tránsito. Elaboración propia</i> ...	84
Tabla 25. <i>Resumen del tránsito por construcción. Elaboración propia</i>	85
Tabla 26. <i>Resumen del tránsito deducido. Elaboración propia</i>	85
Tabla 27. <i>Resumen del tránsito de diseño. Elaboración propia</i>	85
Tabla 28. <i>Clasificación de la subrasante de acuerdo con su resistencia. Instituto Nacional de Vías et al. 2008.</i>	86
Tabla 29. <i>Incremento de esfuerzo variando la profundidad. Elaboración propia</i>	90
Tabla 30. <i>Granulometría del suelo tipo afirmado color amarillo. Informe geotécnico clasificación de suelos y humedades</i>	92
Tabla 31. <i>Coefficientes de uniformidad y curvatura del suelo tipo afirmado color amarillo. Informe geotécnico clasificación de suelos y humedades</i>	92
Tabla 32. <i>Límites de Atterberg de la porción fina del suelo tipo afirmado. Informe geotécnico clasificación de suelos y humedades</i>	93
Tabla 33. <i>Resumen del ensayo de compactación. Informe geotécnico Proctor y CBR suelo de mejoramiento</i>	96
Tabla 34. <i>Resumen de ensayo CBR suelo fino. Informe geotécnico Proctor y CBR suelo de mejoramiento</i>	96
Tabla 35. <i>Ejemplo de un valor de CBR obtenido para una densidad y una humedad determinada. Informe geotécnico Proctor y CBR suelo de mejoramiento</i>	97
Tabla 36. <i>Valores de resistencias a la flexotracción del concreto (Módulo de rotura). Instituto Nacional de Vías (INVIAS). 2008.</i>	103
Tabla 37. <i>Tránsito de diseño. Elaboración propia</i>	105
Tabla 38. <i>Espesor y características de los materiales. Elaboración propia</i>	105
Tabla 39. <i>Datos adicionales para el chequeo. Elaboración propia</i>	106

Tabla 40. <i>Módulo de reacción (k) del conjunto. Portland Cement Association (PCA), 1984.</i>	107
Tabla 41. <i>Esfuerzo equivalente - Eje simple. Portland Cement Association (PCA), 1984.</i>	107
Tabla 42. <i>Esfuerzo equivalente - Eje tándem. Portland Cement Association (PCA), 1984.</i>	108
Tabla 43. <i>Esfuerzo equivalente - Eje trídem. Portland Cement Association (PCA), 1984.</i>	108
Tabla 44. <i>Factor de relación de esfuerzos ($F_{r\sigma}$) para cada tipo de eje. Elaboración propia</i>	109
Tabla 45. <i>Factor de seguridad de carga según el tipo de proyecto (Fsc). Portland Cement Association (PCA), 1984</i>	109
Tabla 46. <i>Cargas de diseño en kN. Elaboración propia</i>	110
Tabla 47. <i>% parcial de consumo por fatiga. Elaboración propia</i>	114
Tabla 48. <i>% total de consumo por fatiga. Elaboración propia</i>	114
Tabla 49. <i>Factor de erosión - Eje simple. Portland Cement Association (PCA), 1984.</i> 115	
Tabla 50. <i>Factor de erosión - Eje tándem. Portland Cement Association (PCA), 1984.</i>	116
Tabla 51. <i>Factor de erosión - Eje trídem. Portland Cement Association (PCA), 1984.</i> 116	
Tabla 52. <i>Factor de erosión (F_e) para cada tipo de eje. Elaboración propia</i>	117
Tabla 53. <i>% parcial de consumo por erosión. Elaboración propia</i>	120
Tabla 54. <i>% total de consumo por erosión. Elaboración propia</i>	120
Tabla 55. <i>Recomendaciones para las barras de anclaje. Instituto Nacional de Vías (Colombia) et al., 2008.</i>	124
Tabla 56. <i>Requisitos mínimos para las dovelas en las juntas. Instituto Nacional de Vías (Colombia) et al., 2008.</i>	125
Tabla 57. <i>Características del Bordillo. Elaboración propia</i>	146

1. INTRODUCCIÓN

San Juan de Villalobos es un corregimiento perteneciente a los centros poblados y rural disperso del municipio de Santa Rosa que presenta crecimiento acelerado en la población (DANE, 2023), contrario al desarrollo de la infraestructura pública, la cual se ve insuficiente para brindar el bienestar de la comunidad. En ese orden de ideas, uno de los actuales problemas es el mal estado de la red vial urbana y la inexistencia de estructuras de pavimento en la misma; las vías se encuentran sobre el terreno natural y solo unas pocas cuentan con una capa de afirmado, surge así la necesidad comunitaria de apostarle al mejoramiento de sus vías, de tal manera que se favorezca el tránsito tanto vehicular como peatonal, se facilite el acceso a las viviendas, se disminuya la accidentalidad, se impulse el comercio y en general todos los aspectos sociales que van asociados a una vía en buen estado; para garantizar esto, en este proyecto se escoge estratégicamente las vías que enmarcan las principales zonas de uso, como: polideportivo, parque público, iglesia y escuela primaria.

En este documento, se desarrolla parte de la fase de preinversión correspondiente a la realización de estudios y diseños, necesarios para lograr la formulación de un proyecto de pavimentación. Estos criterios sustentan su declaración de viabilidad, requisito indispensable para iniciar su ejecución (Departamento Nacional de Planeación, 2019). Se exponen los trabajos hechos en campo y laboratorio, que arrojan los resultados indispensables para que en conjunto con el trabajo de oficina se pueda llegar al diseño final de la estructura de pavimento rígido para la Carrera Octava entre Calle Primera y Segunda, y la Calle Primera entre la Carrera Séptima y Novena, además, se presenta el diseño geométrico de vías, la modulación de losas, diseños complementarios indispensables para el funcionamiento de la estructura de pavimento y las observaciones y recomendaciones respectivas.

2. JUSTIFICACIÓN

En el corregimiento de San Juan de Villalobos no existe gestión, ni destinación de presupuesto que permita desarrollar fases de preinversión, necesarias para lograr la formulación de proyectos, como es el caso de este proyecto de tipo social. Al día de hoy, la Carrera Octava entre Calle Primera y Segunda, y la Calle Primera entre la Carrera Séptima y Novena, no cuentan con ningún tipo de estudio técnico que permita diseñar una estructura de pavimento.

Para la gestión de proyectos en el país y para la inversión de recursos públicos es indispensable contar con la fase de preinversión en la cual se incluye el desarrollo de estudios, diseños y presupuesto. Y estos tienen un fin específico y es contribuir con la maduración de un proyecto de inversión, por tal razón, la naturaleza de las iniciativas no puede ser por sí misma la elaboración de estudios, sino la satisfacción final de una necesidad evidenciada; es así como, los estudios son un paso previo para que la intervención futura mejore las condiciones negativas evidenciadas (Departamento Nacional de Planeación, 2019a).

En el caso de este trabajo, el realizar estudios y diseños contribuye a la posterior formulación de un proyecto que permita la pavimentación. Además, esta fase es el primer paso para lograr un interés de gestión en pro de solucionar problemas de movilidad, mejorar las condiciones de calidad de vida de las personas y articularse con proyectos existentes y en desarrollo, que conjuntamente apuntan al progreso del corregimiento de San Juan de Villalobos.

Teniendo en cuenta factores económicos, disponibilidad de materiales y facilidad constructiva para la zona, se analiza una estructura de pavimento que sea económicamente viable a largo plazo, cuyos materiales no presenten dificultad en el proceso de adquisición y transporte y, además, que el proceso constructivo no requiera de equipos sofisticados que involucren un costo agregado al presupuesto general (Instituto Nacional de Vías (Colombia), 2008). Por lo tanto, se opta por una estructura de pavimento rígido, la cual requiere de un presupuesto inicial elevado, pero a largo plazo presenta ventajas en cuanto a durabilidad, costo de mantenimiento y facilidad constructiva, ya que los equipos necesarios para el proceso no son sofisticados ni de difícil consecución y se emplean materiales de fuentes cercanas del corregimiento, que no involucran distancias extensas de acarreo.

3. OBJETIVOS Y ALCANCE

3.1. OBJETIVO GENERAL

Diseñar la estructura de pavimento rígido para los tramos de vía: Carrera Octava entre Calle Primera y Segunda y Calle Primera entre la Carrera Séptima y Novena, ubicadas en el corregimiento de San Juan de Villalobos, municipio de Santa Rosa, departamento del Cauca.

3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar la normativa bajo la cual se realiza y se regula un diseño de pavimento.
- Caracterizar la zona del proyecto desde los puntos de vista: Climatológico, Geológico, Topográfico y Geotécnico.
- Obtener las variables y herramientas necesarias para emplear en los diseños.
- Realizar el diseño geotécnico y geométrico de las vías que conforman el proyecto.
- Proporcionar el diseño de obras complementarias, así como recomendaciones técnicas, que garanticen el óptimo funcionamiento del diseño de pavimento.

3.3. ALCANCE

Desarrollar un trabajo académico amparado en los estándares de calidad de la Universidad del Cauca y la normativa Colombiana, dónde predomine la viabilidad técnica, constructiva y social, de tal manera que la comunidad del corregimiento de San Juan de Villalobos se encamine a la fase de preinversión para un proyecto de pavimentación, la cual comprende: estudios de topografía, geología, geotecnia, tránsito, drenaje, climatología y diseños de estructura de pavimento, juntas entre losas, diseño geométrico de vías, modulación de losas y diseños complementarios para el funcionamiento de la estructura, para los tramos de vía: Carrera Octava entre Calle Primera y Segunda y Calle Primera entre la Carrera Séptima y Novena.

4. METODOLOGÍA EMPLEADA

4.1. TRABAJO DE CAMPO

Preparación preliminar a estudios de campo

Necesaria para ejecutar los procedimientos correctos en campo y lograr una recopilación de datos e información completa y de calidad, en el desarrollo de los estudios: estudio de tránsito, levantamiento topográfico, estudio de las condiciones de drenaje, estudio geotécnico preliminar y definitivo.

Reconocimiento del terreno

La familiarización con el entorno social y el lugar de desarrollo del proyecto, permite realizar una planeación idónea que posteriormente permite un trabajo más eficiente. Mediante una inspección visual de la zona, se logra identificar la mejor ruta de trabajo para ejecutar todas las actividades planeadas en el menor tiempo posible (sin comprometer la calidad de los resultados de las actividades), particularmente se identifican estratégicamente los sitios dónde se realizarán los diferentes estudios y paralelamente, se observan características del lugar como el clima y las condiciones geológicas.

Estudio de Tránsito

El estudio de tránsito es una variable fundamental para el diseño adecuado de la estructura de pavimento y para garantizar niveles de desempeño y duración acordes al mismo, ya que es la principal demanda de la estructura. (Instituto Colombiano de Productores de Cemento (ICPC), 2008). En la fase de campo correspondiente al estudio de tránsito, se pretende cuantificar la cantidad de vehículos que se movilizan al día por la vía (TPD).

Para la determinación del TPD se tienen varias metodologías las cuales van desde conteos manuales a conteos con medios mecánicos automáticos empleados en vías con alto nivel de tránsito. (Rivas Muñoz & Arboleda Vélez, 2020). Para el desarrollo de este trabajo y teniendo en cuenta que es una vía urbana con un nivel bajo de tránsito y además se va a emplear la metodología

Portland Cement Association (PCA, 1984) para el diseño de la losa de concreto, se realiza conteo manual de vehículos durante 6 días para cuantificar el TPD.

Levantamiento topográfico.

Es de gran importancia realizar una georreferenciación de puntos fijos en el sitio con un receptor GPS (Sistema de Posicionamiento Global), o en su defecto, asignar coordenadas arbitrarias a puntos fijos, que perduren a lo largo de todas las fases del proyecto, estos sirven de base para el levantamiento topográfico y el replanteo en el momento de la ejecución. (Urzagaste Herba & Rojas Velazquez, 2006). Se toman puntos de la zona con una estación total, diversificando los datos en distintas capas para la precisión y el detalle de la información, de esto depende la calidad del modelo digital del terreno que se obtenga.

Estudio de las condiciones de drenaje

Reconocer fuentes hídricas cercanas, presencias de agua como lagos o lagunas, e incluso el drenaje de las aguas superficiales y subterráneas, para tenerlas en cuenta en el diseño de la estructura de pavimento o sugerir algunas recomendaciones para el manejo de las mismas y de esta manera evitar que representen algún problema en el funcionamiento de la estructura de pavimento. (Benavides Bastidas, 2020a).

Estudio geotécnico preliminar y definitivo

Identificar la estratigrafía del terreno en el sitio, así como la posición del nivel freático (que permitirá establecer condiciones de subdrenaje), condiciones de humedad, plasticidad, consistencia y granulometría en caso de que se presente algún suelo granular y, en general realizar la clasificación del suelo del lugar. (Benavides Bastidas, 2020a).

Para ello se propone hacer sondeos y muestreo alterado, a una profundidad variable entre 1.5 - 2 metros bajo del nivel de la subrasante, y sondeos distribuidos de acuerdo a lo definido en el reconocimiento del terreno, buscando que al menos se haga un sondeo por cuadra. Las exploraciones se hacen con base en la normativa INV E - 101, 102, 103, 105, 109, 112 del año 2013. También se complementa con el ensayo del Penetrómetro Dinámico de Cono (PDC), el cual

permite determinar los cambios de estratos del suelo con base en la estimación de su resistencia, según la norma INV E - 172 del 2013.

Identificación de fuentes de material

La calidad de un proyecto depende de la correcta ejecución de los diseños que este contemple, para este en específico se propone un diseño realista, que sea construible con materiales de la zona, pensando así en la viabilidad técnica y económica del proyecto, por ello, se le da importancia no solo a reconocer el lugar específico, sino la zona donde este se enmarca, para poder sugerir desde un punto de vista técnico los agregados pétreos y el suelo idóneo que pudiera ser aprovechado para la construcción de la estructura de pavimento.

4.2. TRABAJO DE OFICINA

Estudio geológico

Caracterizar las condiciones geológicas de la zona, haciendo uso de la plancha 412 de Geología que tiene abierta al público el Servicio Geológico Colombiano, con el objetivo de identificar posibles problemas desde el punto de vista estructural de la Geología, como fallas, pliegues, discordancias, entre otros, que amenazan al correcto funcionamiento del proyecto. (Benavides Bastidas, 2020a).

Climatología

Se debe diseñar una estructura de pavimento resistente al interperismo, es decir, la radiación solar, la acción de la lluvia y los gradientes de temperatura. (Universidad del Cauca et al., 2018). Por ello, se utiliza la información abierta al público del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), para definir las condiciones climatológicas de la zona.

Ensayos de laboratorio

El proyecto requiere de un trabajo que se realiza en laboratorio, el cual ejecuta diferentes ensayos que permiten obtener la información geotécnica necesaria para elaborar propuestas de diseño y recomendaciones constructivas apropiadas.

- ✓ Ensayos de laboratorio para la clasificación del suelo:
- ✓ Ensayo de humedad a diferentes profundidades, cada 50 cm o cuando se presente un cambio de estrato (INV E - 122).
- ✓ Límites de Consistencia (límite líquido y límite plástico), (INV E - 125, 126).
- ✓ Ensayo de granulometría (INV E - 123).
- ✓ Ensayo de gravedad específica. (Norma INV E - 128 o 222 o 223).
- ✓ Ensayos de laboratorio para la determinación de la capacidad del suelo:
- ✓ Relación de soporte de California (CBR, California Bearing Ratio), de un suelo en sitio (INV E - 169).

Con base en los resultados de los ensayos de laboratorio realizados para las muestras de suelo extraídas en campo, se debe analizar si existen características de un potencial suelo problemático, que de no ser tenido en cuenta pudiera afectar el funcionamiento de la estructura de pavimento; en caso de que sí, se deben tomar acciones para tratar de mitigar o eliminar completamente el riesgo.

Modelación digital del terreno

A partir de la información obtenida en la etapa del levantamiento topográfico en campo, haciendo uso del software Topo3, se organiza la información, se asignan propiedades a los elementos del dibujo y finalmente se genera la triangulación que permite obtener el modelo digital del terreno.

Cuantificación de la variable tránsito

Fundamentada en los datos recolectados del estudio de tránsito realizado en campo, la cuantificación consiste en proyectar el tránsito calculado para un año, a un periodo de diseño determinado y posteriormente amplificarlo con un factor de seguridad basado en el concepto de confiabilidad. (Instituto Nacional de Vías (Colombia) et al., 2008).

Diseño de la estructura de pavimento

Diseñar los espesores de cada una de las capas que conforman la estructura de pavimento rígido (Subbase granular y Losa de concreto), teniendo en cuenta que estas deben cumplir con las

Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras (2022) del Instituto Nacional de Vías (INVIAS), Capítulo 3, Artículo 320 – 22 para Subbase granular y Capítulo 5, Artículo 500 – 22 para la Losa de concreto hecha con concreto hidráulico.

Siguiendo los lineamientos de la metodología Portland Cement Association (PCA), 1951 and Huang, 2004, mediante correlación con CBR, se halló el módulo de reacción de la subrasante y con los resultados obtenidos en los pasos anteriores, se sigue la metodología de diseño, la cual busca que el pavimento cumpla por análisis de fatiga frente a los esfuerzos ocasionados por la acción repetitiva de las cargas a lo largo del periodo de diseño, y por erosión, para limitar los efectos de la deflexión del pavimento en los bordes de las losas, juntas, esquinas y controlar así el debilitamiento de la fundación y de los materiales de las bermas. (Benavides Bastidas, C., 2020b).

Posteriormente, se realizó el diseño de los distintos tipos de juntas, el cual garantiza un correcto funcionamiento del pavimento al transferir las cargas entre las losas, a la vez que se protegen las losas del fenómeno de alabeo ocasionado por los gradientes de temperatura. (Instituto Nacional de Vías (Colombia) et al., 2008).

Los tipos de juntas son:

- ✓ **Juntas transversales:** controlan la fisuración generada por retracción y los cambios de humedad y temperatura, estableciendo el espaciamiento entre ellas y los requisitos mínimos para las dovelas (por ejemplo, el diámetro del pasador).
- ✓ **Juntas longitudinales:** controlan el agrietamiento cuando se construyen dos o más carriles simultáneamente, estableciendo el espaciamiento entre ellas y los requisitos mínimos para las barras de anclaje (por ejemplo, el diámetro de la barra de acero).
- ✓ **Juntas de expansión:** protegen las estructuras adyacentes del movimiento del pavimento rígido.

Modulación de las losas

Modular las losas de concreto de tal manera que se proteja la separación de las juntas diseñadas y la distribución homogénea en planta, se busca que las losas tengan dimensiones similares a lo largo de la vía para evitar que se presente disminución en las capacidades de la losa y se requiera de un refuerzo de acero adicional al de las juntas.

Además, se debe tener en cuenta que la modulación de las losas de concreto obedece a una sección transversal definida por el Esquema de Ordenamiento Territorial municipal (EOT), para vías de segundo orden y se tiene una intersección, en la cual se debe prestar especial atención ya que son zonas susceptibles y generalmente se le debe añadir acero de refuerzo.

Diseño geométrico de las vías urbanas

El diseño geométrico obedece al EOT y se integra por:

- ✓ **Diseño en planta:** para no interferir con los predios ni paramentos del lugar y sobre este poder plasmar las losas moduladas.
- ✓ **Diseño en perfil:** con base en el espesor total de la estructura de pavimento se diseña el nivel de la rasante, el cual debe ir acorde a las viviendas existentes, de tal manera que no se las deje a una cota inferior.
- ✓ **Diseño de intersección:** unir la planta y el perfil de las dos (2) vías urbanas que se intersecan, donde se realizan transiciones suaves y acordes al espacio disponible.

5. LOCALIZACIÓN Y ESTADO ACTUAL DE LAS VÍAS

5.1. LOCALIZACIÓN

Este proyecto realiza el diseño del pavimento rígido para los tramos de vía: Carrera Octava entre Calle Primera y Segunda y Calle Primera entre la Carrera Séptima y Novena, que se encuentran ubicadas en el corregimiento de San Juan de Villalobos, municipio de Santa Rosa, departamento del Cauca. El cual se localiza sobre la Ruta Nacional 45, tramo 03, que comunica la ciudad de Mocoa (Putumayo), con la ciudad de Pitalito (Huila), específicamente en el PR#67, sector conocido como La Media Bota Caucana.



Figura 1, Ubicación de Colombia.

Fuente: Mapamundi (2023)



Figura 2. Ubicación del departamento del Cauca.

Fuente: Wikipedia (2023)



Figura 3. Ubicación de la Media Bota Caucana.

Fuente: Oficina Asesora de Planeación Gobernación del Cauca (2021)

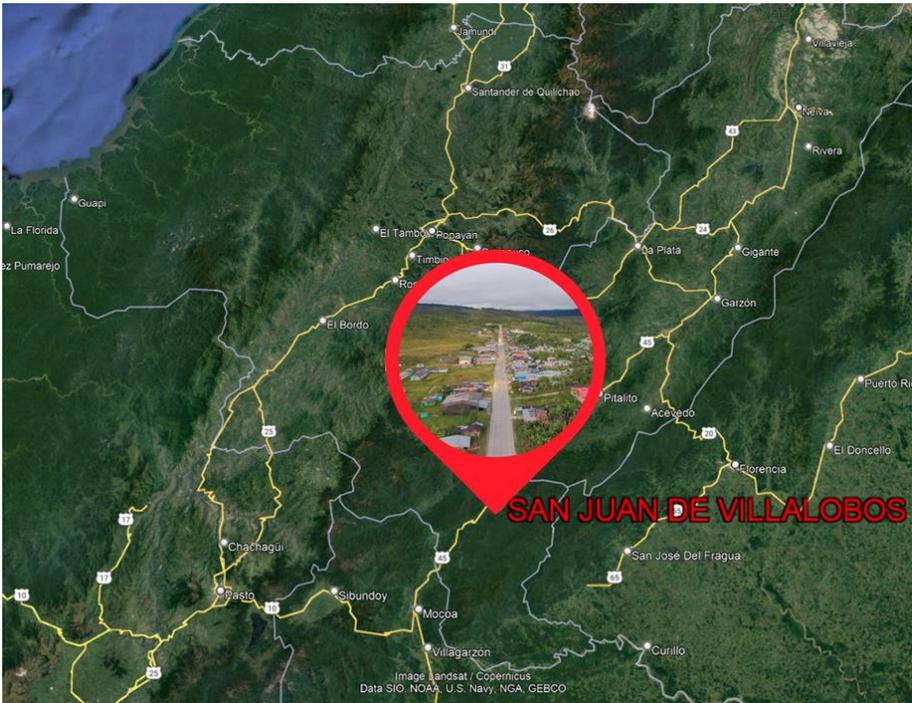


Figura 4. Ubicación del corregimiento de San Juan de Villalobos.

Fuente: Adaptado de Google Earth (2023)

Las vías que comprende este proyecto conforman en planta lo que corresponde a una intersección y se cuenta con una longitud aproximada de 240 metros lineales, las cuales sirven para el acceso a viviendas, el polideportivo, el parque del corregimiento y zonas escolares.



Figura 5. Ubicación de la Carrera 8 y la Calle 1 en el corregimiento de San Juan de Villalobos.

Fuente: Adaptado de Google Earth (2023)

5.2. ESTADO ACTUAL DE LAS VÍAS

Las vías que comprende el proyecto se encuentran principalmente sobre un terreno ondulado, en especial la Calle Primera, la cual presenta una ligera pendiente que aumenta su desnivel a medida que se acerca a la Carrera Novena. La Calle Primera entre Carrera Octava y Novena es la que presenta el peor estado, en la cual solo un pequeño sendero de la vía está constituido por afirmado de color amarillo, este sirve únicamente de acceso peatonal para las viviendas y posiblemente para circulación de motocicletas.



Imagen 1. Estado actual Calle 1 entre Carrera 8 y 9.

Fuente: Elaboración propia

La Carrera Octava se encuentra constituida en su totalidad por un afirmado de color amarillo hasta la intersección con la Calle Primera, este afirmado permite la circulación de vehículos particulares de la zona, principalmente vehículos livianos, los cuales no perjudican el estado actual del afirmado y al contrario con la circulación sucesiva han generado cierto grado de compactación, por lo que actualmente dicha calle se encuentra en buen estado.



Imagen 2. Estado actual Carrera 8.

Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, la Calle Primera entre Carrera Séptima y Octava en su mayoría solo un carril de la vía se encuentra constituida por afirmado de color amarillo, el otro carril está cubierto por capa vegetal y pasto. Esto dificulta el acceso de vehículos y solo sirve de acceso peatonal o de motocicletas.



Imagen 3. Estado actual Calle 1 entre Carrera 7 y 8.

Fuente: Elaboración propia

En general, las vías se encuentran en un estado que permite el acceso peatonal, de motocicletas y hasta cierto punto de vehículos, gracias a que la comunidad se ha encargado de llevar el afirmado de color amarillo y regarlo en los senderos de forma manual con la ayuda de buggys.

Debido a que las vías de este proyecto son urbanas, se tienen varios accesos a las mismas, ejemplo de esto es la Carrera Séptima y Novena que permiten el acceso a la Calle Primera, esto se debe tener en cuenta para definir la forma en la que el tránsito puede ingresar a las vías.

6. REGLAMENTACIÓN DEL ESQUEMA DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL (EOT)

El Esquema de Ordenamiento Territorial (EOT) (2004) vigente para el municipio de Santa Rosa es el expedido bajo Acuerdo 010 del 25 de noviembre de 2004. Que tiene como objeto ser un instrumento de planificación permanente, destinado a orientar, regular y promover a corto, mediano y largo plazo, las actividades de los sectores públicos, privado y comunitario. Al igual que definir las políticas de desarrollo urbano y rural y adoptar las reglamentaciones urbanísticas orientadas a ordenar el cambio y el crecimiento físico del municipio y de su espacio público, con el fin de propender por el mejoramiento de la calidad de vida de sus habitantes y a utilizar de forma óptima los recursos.

En los Artículos 265 y 266, se estipula la clasificación de las vías según su importancia en la malla vial, para la cabecera municipal y el centro poblado San Juan de Villalobos.

- ✓ Vías arterias VA.
- ✓ Vías secundarias VS.
- ✓ Vías peatonales VP.

La Carrera Octava y la Calle Primera que aquí se tratan, son vías secundarias (VS), que en el Esquema de Ordenamiento Territorial (EOT), se definen como: vías que distribuyen el tráfico dentro de las áreas residencial, industrial, comercial, institucional y recreacional de la población y constituyen la unión entre la red vial básica y las vías de las áreas con uso de suelo claramente definido.

La vía secundaria (VS) se presenta con un ancho mínimo de 8.50 metros y corresponde a la siguiente sección transversal.

- ✓ Andén 1.00 metros.
- ✓ Calzada 6.50 metros.
- ✓ Andén 1.00 metros.



Ilustración 1. Sección Transversal vía secundaria EOT.

Fuente: Elaboración propia

7. ESTUDIOS DE CARACTERIZACIÓN

7.1. CLIMATOLOGÍA

En el sector Villalobos se cuenta con una estación de categoría pluviométrica, estación: VILLALOBOS [44010130], la cual toma registros de precipitación; debido a que es el único parámetro con datos se toma el registro de los últimos 20 años (2003-2023) para realizar el análisis climatológico en función de la magnitud de lluvia mensual (ver **Anexo 1**). La interpretación de la unidad milímetro de lluvia, es: la cantidad de litros de agua que cae en 1 metro cuadrado.

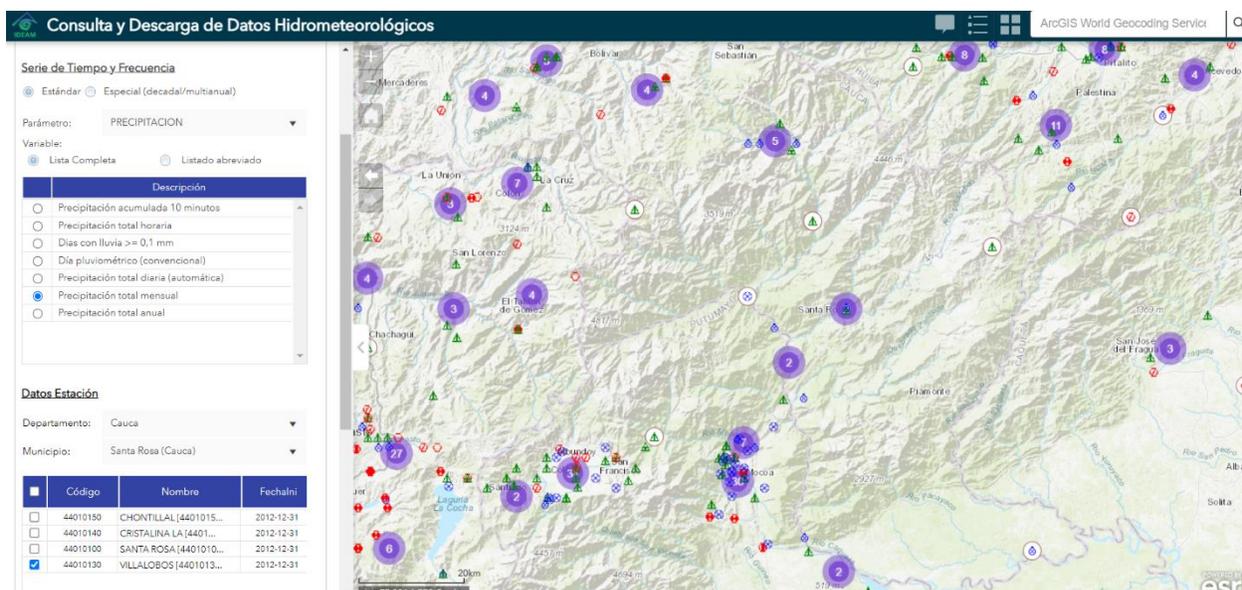


Figura 6. Visualización de la estación pluviométrica del sector Villalobos.

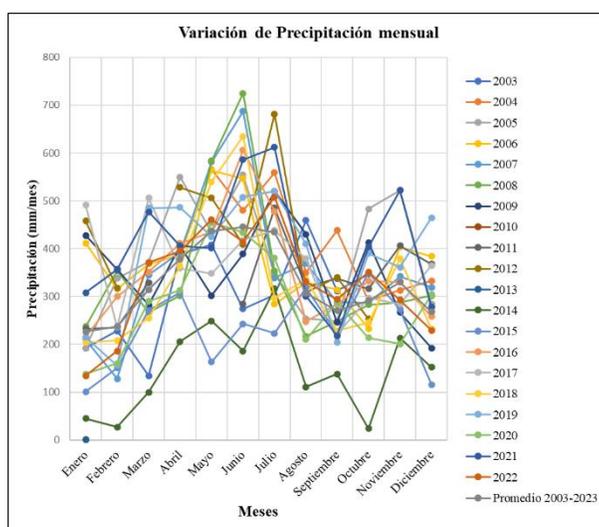
Fuente: Adaptado del sitio web del IDEAM (2023)

Tabla 1. Datos de precipitación sector Villalobos 2003-2023

Precipitación [mm/mes]																						
Mes/Año	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	Precipitación Prom (mm/mes)	
Enero	192		192	412	210	237	428	50	232	458	49	45	101	215.5	491	204	215	138	308	134	226.92	
Febrero	228		338.1	316	128	354	357	251	236	318	201	27	151	300	236	208	156	160	356	186	237.22	
Marzo	134		372.1	368	345	266	282	303	329		152	100	271	351	506	255	485	290	477	371	314.28	
Abril	389		550	387	392	302	406	427		528	182	206	308	411	359	363	486	313	406	395	378.33	
Mayo	408	566	434	564	581	584	302	470		506	415	249	163	436	348	540	425	455	401	461	437.26	
Junio	274	480	554	547	687	725	389	430	285	409	107	186	243	606	418	635	508	434	586	414	445.85	
Julio	303	559	347	284	339	354	520	439	485	682	610	316	223	478	438	297	520	380	612	508	434.7	
Agosto	459	350	254	329	369	217	430	115	319	308	340	111	318	248	379	336	410	210	301	331	306.7	
Septiembre	312	438	248	314	289	248	246	282	338	340	258	138	222	284	221	228	204	287	218	294	270.45	
Octubre	347	291	483	233	286	283	413	130	316	253	191	24	350	332	297	246	390	214	404	351	291.7	
Noviembre		313	522	404	342	288	267	191.5	406		348	213	273	331	284	379	361	201	522	293	329.92	
Diciembre		333	285	384	319	302	192	175	368		68	152	116	258	365	232	465	304	278	229	268.06	
Precipitación Prom (mm/año)																					3941.39	

Fuente: Adaptado de los datos disponibles en el IDEAM (2023)

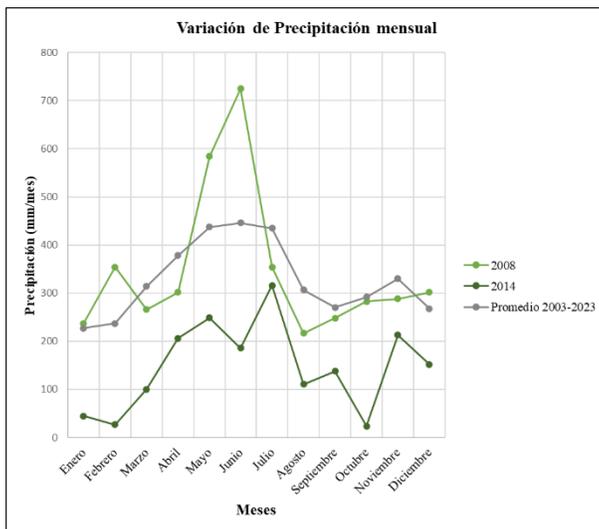
No se realiza el cálculo de los datos faltantes debido a que para cada mes se tiene al menos 18 registros de precipitación a lo largo de los 20 años, con los cuales ya se puede realizar el promedio aritmético del parámetro por mes.



Gráfica 1. Datos de precipitación por mes para los años del 2003 hasta el 2023.

Fuente: Elaboración propia

Datos filtrados para una mejor visualización, se dejan los datos del año 2008 y 2014, dónde se presentan los picos máximo y mínimo de precipitación respectivamente.



Gráfica 2. Datos de precipitación por mes para los años del 2008 y 2014.

Fuente: Elaboración propia

Se logra identificar con el promedio de los datos registrados de precipitación, que para todos los 12 meses del año, la magnitud de la precipitación oscila entre los 200-450 mm/mes, y en promedio se tiene una magnitud de precipitación anual de 3941.39 mm/año. Esto corresponde a un Clima tipo A - Tropical o megatermal sin estación seca (Af), ya que todos los meses superan los 60 mm y también, según la zona (Cauca), sería un clima Tropical lluvioso de sabana con verano seco. (American Meteorological Society, 1942).

7.2. ESTUDIO DE LAS CONDICIONES DE DRENAJE

Para analizar las condiciones de drenaje de la zona, se debe tener en cuenta variables fundamentales como:

- ✓ Topografía: cómo es la morfología de la superficie del terreno.
- ✓ Pluviometría: que tan lluviosa es la región en la que se enmarca la zona del proyecto.
- ✓ Nivel freático: qué tan profundas se encuentran las aguas subterráneas.
- ✓ Tipo de suelo: facilidad con la que el agua se infiltra en el suelo o permeabilidad del suelo.

- ✓ Cobertura vegetal: densidad de vegetación de la cual depende la retención de agua.

De estas dependen las posibles fuentes de infiltración del agua en el pavimento, las cuales disminuyen significativamente la vida útil y ponen en riesgo la integridad estructural del mismo.

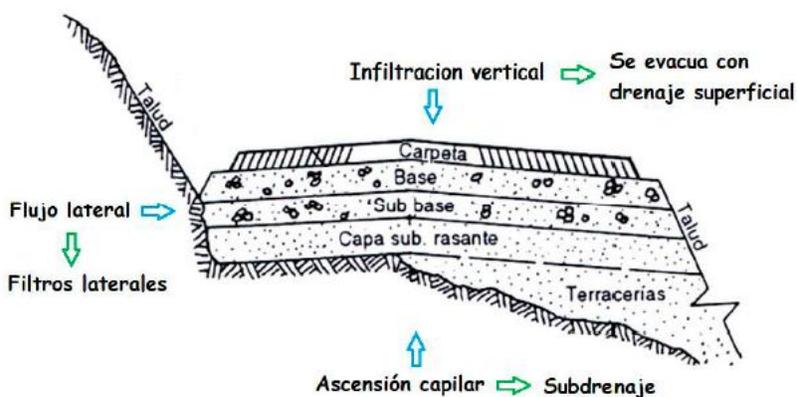


Ilustración 2. Fuentes de agua en pavimento.

Fuente: Benavides Bastidas, C., 2020a

En la sección “Climatología” se precisa lo lluviosa que es la zona, por lo que el agua superficial está presente la mayoría del tiempo, no obstante, la zona del proyecto presenta un terreno ondulado, con pendientes que pueden facilitar el recorrido del agua superficial hacia las cotas más bajas. Además, las vías han sido explanadas para su expansión (excavación, corte de terreno), por lo que no se forman taludes que faciliten la infiltración lateral del agua.

Como se explica en detalle más adelante, el nivel freático se encuentra cerca de la superficie, aproximadamente a 1.3 metros y en todo el perfil estratigráfico deducido se tienen suelos finos (limos y arcillas), con una capa vegetal y de afirmado de espesor pequeño (no superior a 1 metro). La combinación de estos dos factores hace que a pesar de que el agua superficial se infiltre con cierta facilidad, no pueda drenar por los estratos de suelos finos y el suelo permanece con altos contenidos de agua (>100%).

En cuanto a la cobertura vegetal de la zona, predominan los pastizales y arbustos pequeños, con nula presencia de árboles y no hay fuentes hídricas cercanas (en un radio de 300 metros).

Se concluye que las condiciones de drenaje de la zona ponen en riesgo la integridad y el funcionamiento de la estructura de pavimento, además las particularidades de la subrasante que se especifican más adelante en la sección “Suelos Especiales”, la precipitación de la región, lo superficial del nivel freático y la condición de saturación del suelo, hacen que se deba considerar el drenaje para aguas superficiales y subterráneas como parte fundamental para el diseño y correcto funcionamiento de la estructura de pavimento.

7.3. ESTUDIO GEOLÓGICO

El estudio geológico comprende dos fases, en la primera se observa y describe el terreno de manera general; la segunda es mediante el uso de las herramientas que dispone al público el Servicio Geológico Colombiano, en esta se concluye sobre el tipo de terreno y las características morfológicas del mismo.

Visita de campo

En la visita de campo se observa la morfología del terreno en el que se localiza el corregimiento de San Juan de Villalobos, la cual corresponde en su gran mayoría a terreno montañoso particularmente alrededor del sector, es decir el corregimiento se localiza sobre un terreno ligeramente ondulado formando una depresión respecto de las montañas que lo rodean.

Con la realización de los sondeos geotécnicos y una inspección visual de algunas excavaciones localizadas en el sector, se logra identificar que son estratos de suelo fino que en su mayoría conforman el perfil estratigráfico del lugar.



Imagen 4. Morfología de San Juan de Villalobos.

Fuente: Calvache (2021).

Trabajo de oficina:

En la página web del Servicio Geológico Colombiano, se identifica la plancha correspondiente al sector de estudio (sector San Juan de Villalobos), con la que se busca precisar si existe algún tipo de falla o pliegue geológico en la zona. (Ver **Anexo 2**).

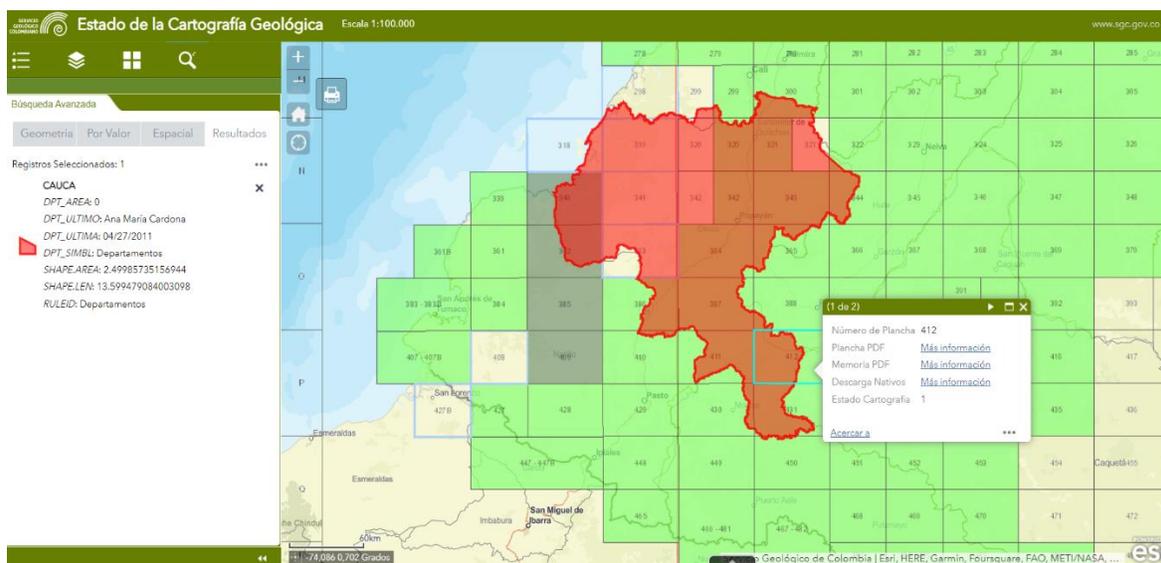


Figura 7. Visualización de las planchas geológicas para el Cauca.

Fuente: Adaptado del sitio web del Servicio Geológico Colombiano (2023)

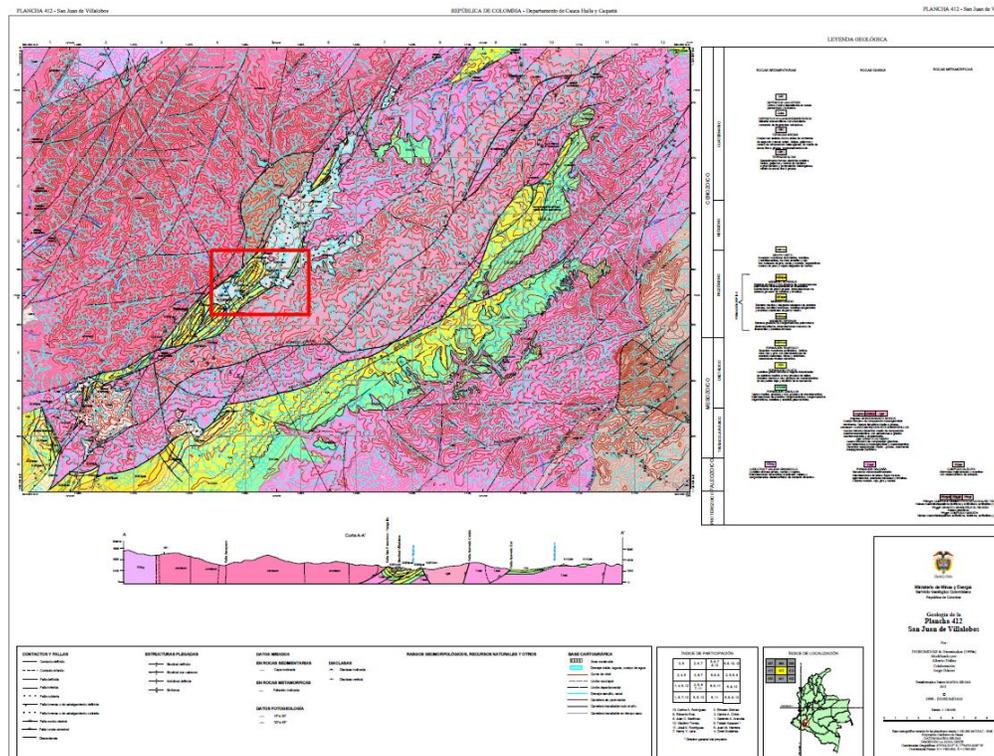
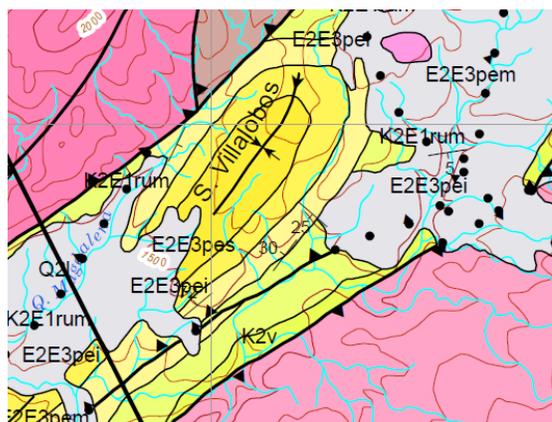


Figura 8. Plancha 412 San Juan de Villalobos.

Fuente: Adaptado del sitio web del Servicio Geológico Colombiano (2023)



E2E3pes
MIEMBRO SUPERIOR
 Estratos gruesos y muy gruesos de conglomerados polimícticos clastosoportados en litoarenitas submaduras de grano grueso. Intercalaciones de estratos gruesos de lodolitas y limolitas.

Figura 9. Detalle de la zona San Juan de Villalobos en la plancha y leyenda.

Fuente: Adaptado del sitio web del Servicio Geológico Colombiano (2023)

El tipo suelo corresponde a una formación pepino del Paleógeno Cenozoico, constituido por estratos gruesos y muy gruesos de conglomerados polimícticos clastosoportados en litoarenitas submaduras de grado grueso. Intercalaciones de estratos gruesos de lodolitas y limolitas.

Por el corregimiento en general y específicamente en el lugar dónde se enmarca este trabajo, no hay ningún problema estructural geológico, no hay fallas, ni pliegues.

7.4. FUENTES DE MATERIAL

Por el corregimiento de San Juan de Villalobos atraviesan 2 importantes fuentes hídricas, Río Villalobos y Quebrada Magdalena, que abastecen la demanda de agregados pétreos para el desarrollo constructivo del corregimiento. Además, a una distancia aproximada de 10 kilómetros se encuentra el Río los Cauchos, el cual también aporta de manera significativa en este tema. Se proyecta que, con estos agregados pétreos y su correcta utilización, se puede construir las losas de concreto para el pavimento rígido.



Imagen 5. Fuente hídrica Río los cauchos.

Fuente: Elaboración propia



Figura 10. Localización de fuentes de material-Agregados.

Fuente: Adaptado de Google Earth (2023)

Como se ha mencionado hasta este punto, algunas de las vías urbanas que trata este trabajo tienen un pequeño mejoramiento de terreno con un afirmado de color amarillo, adelantando un poco los resultados que se exponen en el siguiente capítulo, se ve necesario para el diseño de la estructura de pavimento, realizar un mejoramiento de terreno con dicho material. Por lo que se ha identificado a una distancia aproximada de 6 kilómetros, fuentes del material “tipo afirmado color amarillo”, que es explotado en pequeñas cantidades e incluso en temporada de lluvias se derrumba sobre la calzada existente de la Ruta 45. Se proyecta que con este material se puede realizar el mejoramiento de subrasante para el diseño de la estructura de pavimento rígido.



Imagen 6. Fuente de material para mejoramiento explotada y material desprendido sobre la vía.

Fuente: Elaboración Propia



Figura 11. Localización de la fuente de material-Afirmado.

Fuente: Adaptado de Google Earth (2023)

7.5. ESTUDIO DE TOPOGRAFÍA

Con un previo reconocimiento del terreno, se identifican los puntos estratégicos para poder realizar el levantamiento topográfico. Primero se realiza la construcción de los Bench Mark o puntos fijos de referencia, con los cuales se debe ocupar y orientar la estación total. Estos se

realizan en el sitio de manera artesanal, contruidos en mortero y un marcador (puntilla) en el centro de la superficie para localizar el punto milimétricamente.

Los mojones se ubican en la zona de tal manera que no se vean afectados por el proceso constructivo o alteraciones en las vías o viviendas, por lo anterior, los sitios elegidos para la construcción de los mojones fueron a una distancia aproximada de 1 metro de postes del servicio eléctrico.

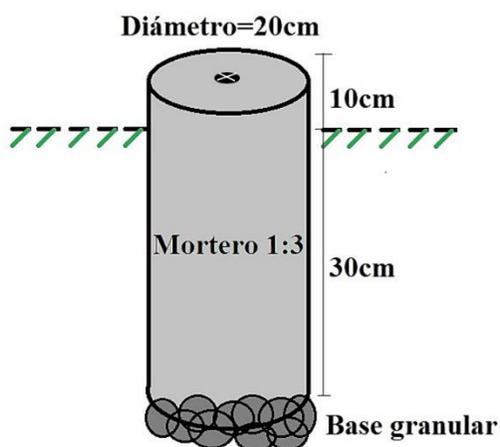


Ilustración 3. Detalle constructivo de los mojones.

Fuente: Elaboración propia





Imagen 7. Construcción de los mojones.

Fuente: Elaboración propia

Posterior a la construcción y fraguado de los mojones en mortero, se georreferencian con la ayuda de la aplicación Mobile Mapper, la cual es una de las mejores aplicaciones para teléfonos móviles, ya que brinda información detallada de los diferentes factores que generan errores en las mediciones y permite grabar la información en diferentes sistemas de coordenadas. Para ambos mojones se obtienen las siguientes coordenadas.

BM1	
WGS 84	Latitude: 1.49658645 Longitude: -76.37774808 Altitude: 1433.15m. above ellipsoid
MAGNA...	E: 1077872.460m. N: 657264.295m. Z: 1433.15m. above ellipsoid
	Height: 1407.52m. above M.S.L.
(BM2)	Distance: 77.30m. Azimuth: 168.39364624023438°
<hr/>	
BM2	
WGS 84	Latitude: 1.49590167 Longitude: -76.37760833 Altitude: 1436.90m. above ellipsoid
MAGNA...	E: 1077888.037m. N: 657188.575m. Z: 1436.90m. above ellipsoid
	Height: 1411.28m. above M.S.L.
(BM1)	Distance: 77.30m. Azimuth: 348.39365100860596°

Figura 12. Coordenadas de mojones obtenidas con Mobile Mapper.

Fuente: Adaptado de la Aplicación Mobile Mapper (2023)

Es importante resaltar que estas coordenadas obtenidas presentan un error significativo, ya que fueron tomadas con un receptor GPS de baja precisión, es por esto, que se recomienda realizar una georreferenciación de los puntos fijos y un posterior ajuste al modelo digital al momento que se ejecute el proyecto.

En caso de que no sea posible realizar dicho ajuste, se presentan los siguientes datos base del levantamiento topográfico, los cuales conservan las coordenadas del BM1 tomadas con el GPS del celular y las coordenadas del BM2 reasignadas con la estación total, técnica empleada para disminuir el error en la ocupación y orientación de la estación total sin equipo receptor GPS de alta precisión y sin recurrir a coordenadas arbitrarias, con todo esto se podrá realizar una localización y replanteo del proyecto de manera exitosa sin que se perjudiquen los diseños resultados de este trabajo.

Tabla 2 Coordenadas ajustadas de los mojones

Punto	Identificador	N	E	Cota	Observación
BM1	BM	657264.295	1077872.46	1407.52	TOMADA CON GPS (CELULAR)
BM2	BM	657188.804	1077887.99	1406.575	COORDENADAS REASIGNADAS CON ESTACIÓN

Fuente: Elaboración propia.



Figura 13. Vista en planta de los BM y Delta.

Fuente: Adaptado de Google Earth (2023)

Para el proyecto se trabaja con estas coordenadas, las cuales sirven de base para la ocupación y orientación de la estación total en la zona y la posterior toma de puntos. A partir de la orientación de la estación total, se definen las distintas capas que se requieren para el levantamiento, esto es gracias al previo reconocimiento del terreno.

Tabla 3. *Capas para el levantamiento topográfico.*

Capa o Identificador	Detalle
BM	Bench Mark o Punto de referencia
DLT	Delta
BV	Borde de Via
PT	Pata de Talud
CT	Corona de Talud
FL	Final del Lote viviendas
PST	Poste
TI	Tapa de Inspección
TRR	Punto de Terreno
APQ	Apique

Fuente: Elaboración propia

Con toda la información anterior, se realiza el levantamiento topográfico, procurando tomar los puntos en lugares donde hay cambios significativos en la superficie del terreno o de gran importancia como paramentos, e incluso puntos del terreno fundamentales para la modelación del mismo.



Imagen 8. Levantamiento topográfico en campo.

Fuente: Elaboración propia

Finalmente se obtiene una nube de puntos (Ver **Anexo 3**) que se lleva al software Topo3, en el cual se hace el respectivo dibujo de las polilíneas, asignándoles propiedades “Línea de quiebre” en caso de ser necesario; luego se triangula y se obtienen las curvas de nivel, estas se adecuan de acuerdo al detalle del proyecto, las curvas maestras son cada 1 metro y las secundarias cada 0.2 metros. Lo anterior permite obtener el modelo digital del terreno (MDT). (Ver **Anexo 4**).

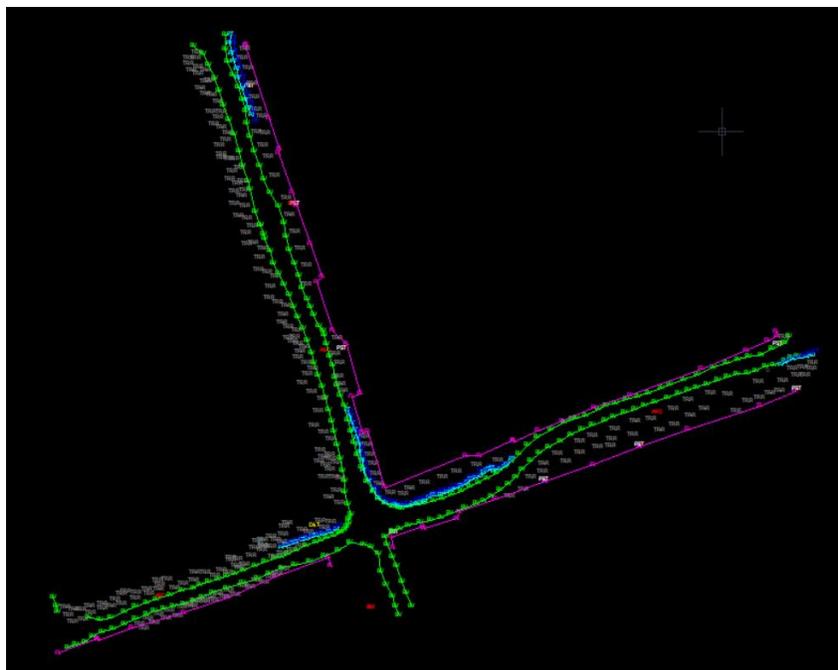


Figura 14. Nube de puntos obtenida con el estudio topográfico.

Fuente: Adaptado de Topo3 (2023)

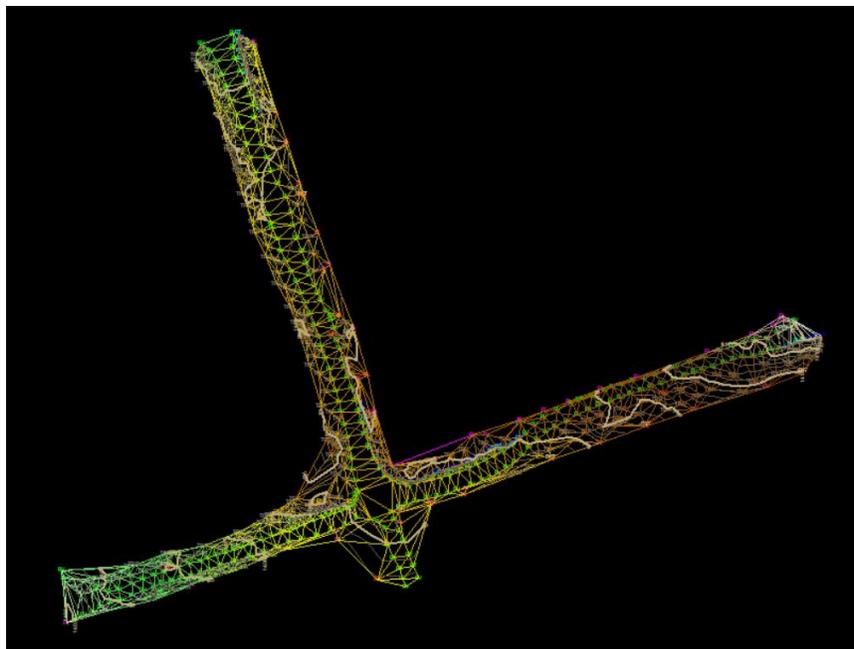


Figura 15. Modelo digital del terreno obtenido con el estudio fotográfico.

Fuente: Adaptado de Topo3 (2023)

Este MDT sirve como base para el posterior diseño en planta, en perfil y de intersección de las vías que componen este proyecto.

8. ESTUDIO GEOTÉCNICO

El estudio geotécnico comprende la parte preliminar (reconocimiento y generalidades de las características geotécnicas del terreno) y definitiva (parámetros físico-mecánicos y estimación de la resistencia del suelo). (Ministerio de Ambiente & Comisión asesora permanente para el régimen de construcciones sismo resistentes, 2010).

Para ejecutar este estudio, se requiere de un trabajo conjunto de campo y de laboratorio, en el que se toman muestras en molde CBR de 6 pulgadas y muestras alteradas recuperadas de aproximadamente 500 gramos, las cuales después de los respectivos ensayos, permiten:

- ✓ Clasificar los estratos de suelo presentes (Límites de Atterberg y Humedad Natural).
- ✓ Cuantificar la Relación de Soporte de la subrasante (CBR inalterado).

8.1. DESCRIPCIÓN DEL ESTADO ACTUAL DE LAS VÍAS URBANAS DESDE EL PUNTO DE VISTA GEOTÉCNICO

Apique No.1. Tramo: Carrera Octava entre Calle Primera y Segunda

Tramo en el que la capa vegetal ha sido reemplazada por dos estratos de suelo tipo afirmado (ambos estratos suman un espesor considerable pero no excede el metro).

Apique No.2. Tramo: Calle primera entre Carrera Octava y Novena

Tramo que conserva la capa vegetal y sobre la cual se ha colocado un estrato de suelo tipo afirmado de espesor pequeño (no excede los 20 centímetros).

Apique No.3. Tramo: Calle Primera entre Carrera Séptima y Octava

Tramo que conserva la capa vegetal y sobre la cual se ha colocado un estrato de suelo tipo afirmado de espesor pequeño (no excede los 20 centímetros), en solo un carril de la vía, por lo que el apique se realizó en el otro carril donde el terreno está en condiciones naturales.



Figura 16. Localización en planta de los apiques.

Fuente: Adaptado de Google Earth (2023)

8.2. TRABAJO DE CAMPO

En cada uno de los 3 tramos se hace 1 apique, para el cual se profundiza hasta el nivel de la subrasante (por debajo de los estratos de afirmado o capa vegetal que pudiera tener el punto del apique), allí se toma la muestra inalterada para CBR. Donde termina el ensayo de CBR muestra inalterada, se continúa realizando el sondeo con la pala posteadora (con recuperación de muestras alteradas cada 50 centímetros o cada cambio de estrato). En el mismo apique se realiza el ensayo Penetrómetro Dinámico de Cono (PDC).



Imagen 9. Apique con CBR muestra inalterada y Recuperación de Muestras Alteradas.

Fuente: Elaboración propia



Imagen 10. Ensayo Penetrómetro Dinámico de Cono (PDC).

Fuente: Elaboración propia

Considerando que el laboratorio se encuentra en Popayán (distancia aproximada de 200 kilómetros al lugar del proyecto), se debe garantizar que la humedad natural del suelo en cada una de las diferentes muestras no se vea alterada, para esto se recurre al uso de bolsas plásticas para recubrir las muestras durante su transporte.



Imagen 11. Muestras CBR inalteradas y Muestras alteradas recuperadas para transporte.

Fuente: Elaboración propia

De las muestras alteradas que se logra recuperar en los 3 apiques, se observa que los estratos presentes son consistentes, tanto en color como en espesor, también se analiza de manera visual que se trata de suelos finos probablemente arcillosos. El nivel freático está aproximadamente al mismo nivel en los sondeos, todo esto indica que probablemente haya un solo Tramo Homogéneo de Diseño desde el punto de vista geotécnico.

8.3. PERFIL ESTRATIGRÁFICO

La determinación del perfil estratigráfico para este proyecto se hace con base en los resultados del ensayo Penetrómetro Dinámico de Cono (PDC) y los resultados de los ensayos de

laboratorio realizados a las muestras alteradas recuperadas de la excavación manual en campo (ver **Anexo 5**).

8.3.1. ENSAYO PENETRÓMETRO DINÁMICO DE CONO (PDC)

Para la caracterización preliminar del suelo se hace uso del equipo del Penetrómetro Dinámico de Cono (PDC), el cual da una idea inicial del perfil estratigráfico mediante la tasa de penetración que presenta. (Instituto Nacional de Vías, 2013). En cada apique se inicia el ensayo a la altura de la subrasante, tomando este como nivel 0 y profundizando hasta donde la regla de medición del equipo lo permita.

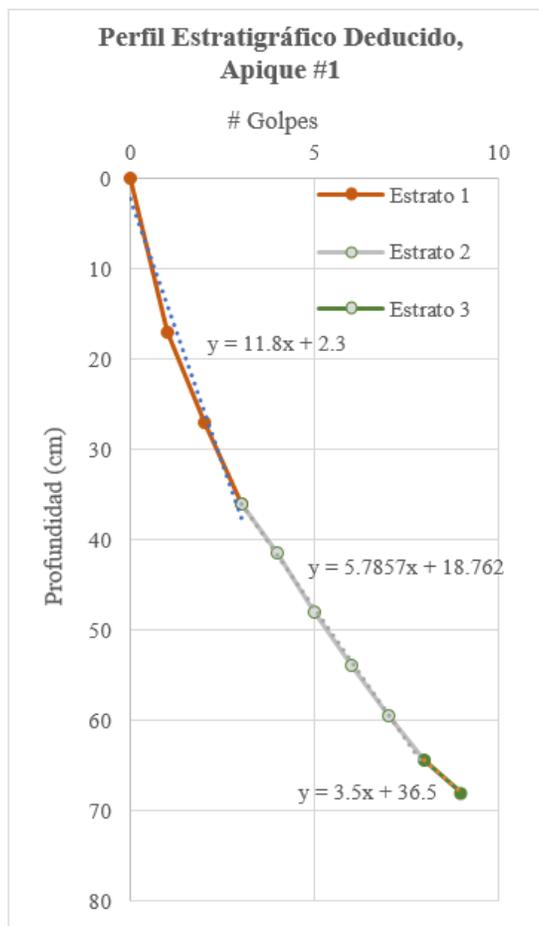
A continuación, se indica la información obtenida y de manera analítica el perfil estratigráfico deducido para este ensayo.

- Ensayo PDC-Apique No.1. Tramo: Carrera Octava entre Calle Primera y Segunda

Tabla 4. Datos ensayo PDC - Apique No.1

ENSAYO PDC, APIQUE #1			
Medición [cm]	No. Golpes	Prof. de avance (cm)	Acumulado (cm)
35	0	-	0
52	1	17	17
62	2	10	27
71	3	9	36
76.5	4	5.5	41.5
83	5	6.5	48
89	6	6	54
94.5	7	5.5	59.5
99.5	8	5	64.5
103	9	3.5	68
Se terminó la regla de medición			

Fuente: Elaboración propia



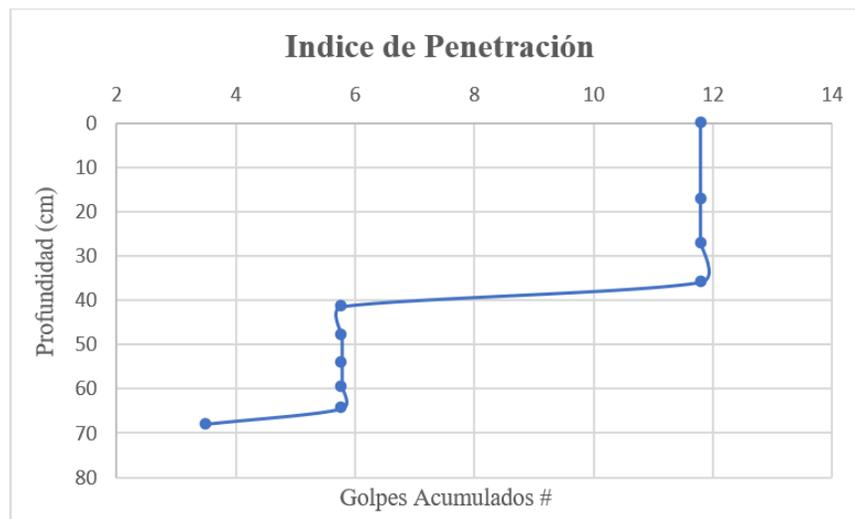
Gráfica 3. Perfil estratigráfico deducido con PDC-Apique No.1.

Fuente: Elaboración propia

Del gráfico obtenido se deducen 3 rectas, las cuales presentan variación de la pendiente, siendo este un indicador de que posiblemente se haya presentado cambio de estrato. Los datos que conforman la recta de color naranja indican que por cada golpe se desciende aproximadamente 9 centímetros, el cual es un valor alto, indicando así que se trate posiblemente de un suelo blando o con poca resistencia. En las rectas de color gris y verde disminuye la pendiente, es decir que se requiere de más golpes para que el equipo descienda, indicando así que presenta mejores características de soporte frente al estrato superior.

Con la pendiente de las rectas se puede deducir el índice de penetración, el cual relaciona el número de golpes acumulados frente a la profundidad de avance del equipo, y sirve como

indicador de la resistencia del suelo. Con esto se confirma lo anteriormente deducido del perfil estratigráfico.



Gráfica 4. Índice de penetración-Apique No.1.

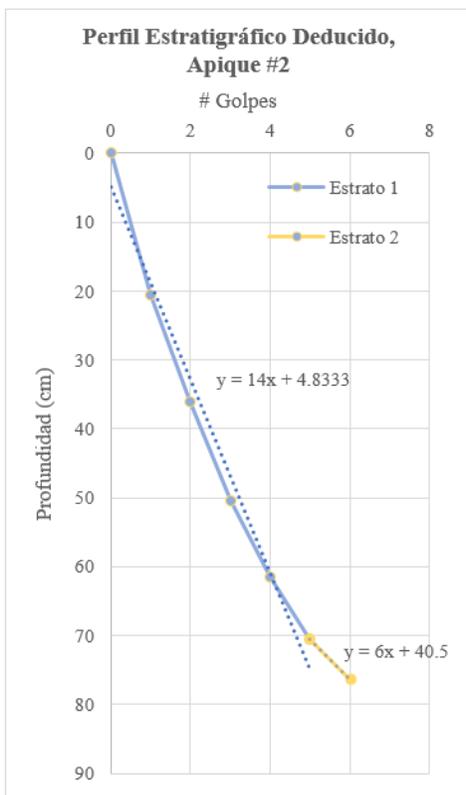
Fuente: Elaboración propia

- Ensayo PDC-Apique No.2. Tramo: Calle Primera entre Carrera Octava y Novena

Tabla 5. Datos ensayo PDC - Apique No.2.

ENSAYO PDC, APIQUE #2			
Medición [cm]	No. Golpes	Prof. de avance (cm)	Acumulado (cm)
25.5	0	-	0
46	1	20.5	20.5
61.5	2	15.5	36
76	3	14.5	50.5
87	4	11	61.5
96	5	9	70.5
102	6	6	76.5
Se terminó la regla de medición			

Fuente: Elaboración propia

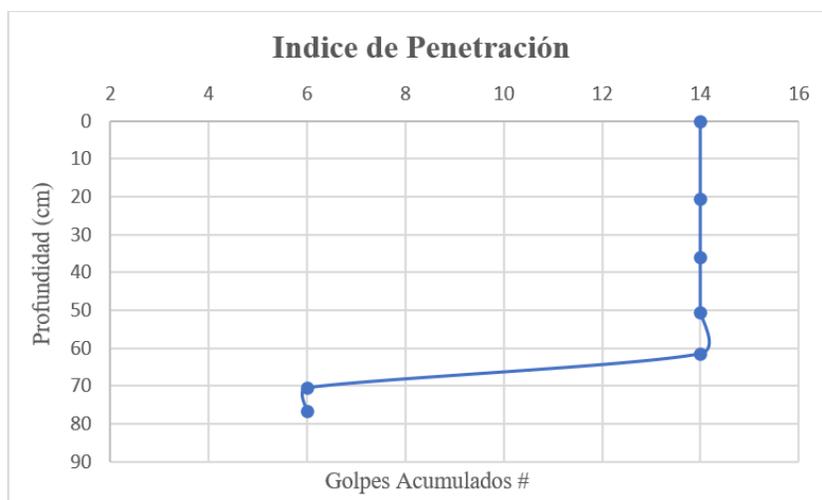


Gráfica 5. Perfil estratigráfico deducido con PDC-Apique No.2.

Fuente: Elaboración propia

Del gráfico obtenido se deducen 2 rectas, las cuales presentan variación de la pendiente, siendo este un indicador de que posiblemente se haya presentado cambio de estrato. Los datos que conforman la recta de color azul indican que por cada golpe se desciende aproximadamente 15 centímetros, el cual es un valor alto, indicando así que se trate posiblemente de un suelo blando o con poca resistencia. En la recta de color amarillo disminuye la pendiente, es decir que se requiere de más golpes para que el equipo descienda, indicando así que presenta mejores características de soporte frente al estrato superior.

Con la pendiente de las rectas se puede deducir el índice de penetración, el cual relaciona el número de golpes acumulados frente a la profundidad de avance del equipo, y sirve como indicador de la resistencia del suelo. Con esto se confirma lo anteriormente deducido del perfil estratigráfico.



Gráfica 6. Índice de penetración-Apique No.2.

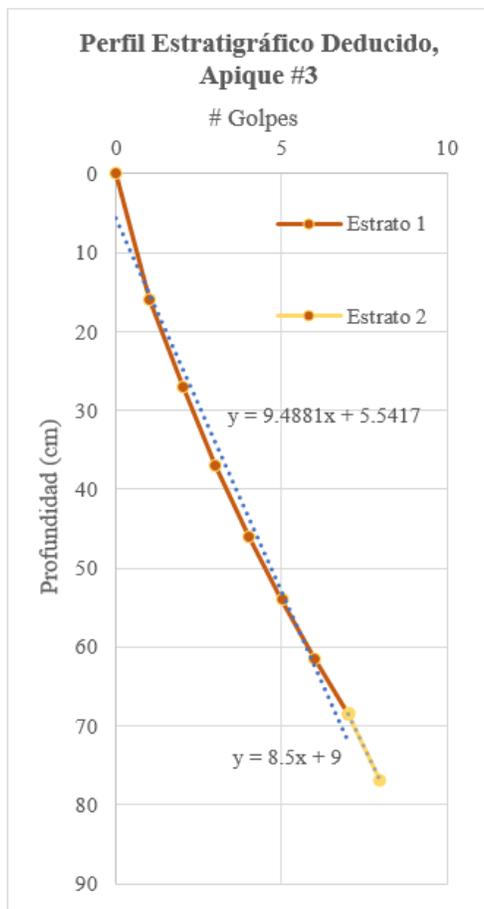
Fuente: Elaboración propia

- Ensayo PDC-Apique No.3. Tramo: Calle Primera entre Carrera Séptima y Octava

Tabla 6. Datos ensayo PDC - Apique No.3.

ENSAYO PDC, APIQUE #3			
Medición [cm]	No. Golpes	Prof. de avance (cm)	Acumulado (cm)
25	0	-	0
41	1	16	16
52	2	11	27
62	3	10	37
71	4	9	46
79	5	8	54
86.5	6	7.5	61.5
93.5	7	7	68.5
102	8	8.5	77
Se terminó la regla de medición			

Fuente: Elaboración propia



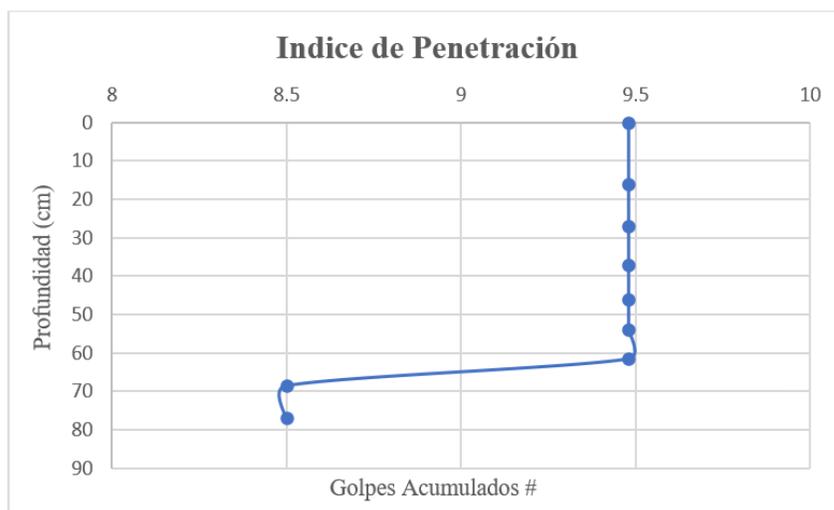
Gráfica 7. Perfil estratigráfico deducido con PDC-Apique No.3.

Fuente: Elaboración propia

Del gráfico obtenido se deducen 2 rectas, las cuales presentan variación de la pendiente, siendo este un indicador de que posiblemente se haya presentado cambio de estrato. Los datos que conforman la recta de color naranja indican que por cada golpe se desciende aproximadamente 13 centímetros, el cual es un valor alto, indicando así que se trate posiblemente de un suelo blando o con poca resistencia. En la recta de color amarillo aumenta la pendiente, es decir que se requiere de menos golpes para que el equipo descienda, indicando así que presenta peores características de soporte frente al estrato superior.

Con la pendiente de las rectas se puede deducir el índice de penetración, el cual relaciona el número de golpes acumulados frente a la profundidad de avance del equipo, y sirve como

indicador de la resistencia del suelo. Con esto se confirma lo anteriormente deducido del perfil estratigráfico.



Gráfica 8. Índice de penetración-Apique No.3.

Fuente: Elaboración propia

Se concluye del ensayo de PDC realizado en los distintos apiques, que el suelo presenta estratigrafía similar, debido a que aproximadamente a la misma profundidad se muestran los cambios en los índices de penetración, indicando el cambio de estrato. Además, en los 3 apiques se obtuvo que el primer estrato (más superficial) presenta unas características que permiten el fácil hincado del equipo, siendo esta una clara señal de que las propiedades del suelo no son más adecuadas y posiblemente se trate de un suelo blando.

8.3.2. ENSAYOS DE CLASIFICACIÓN A MUESTRAS RECUPERADAS

Se realizan ensayos de laboratorio (Límites de Atterberg y Humedad Natural) para clasificar el suelo solo a las muestras recuperadas del apique 2, en el cual se evidencia en campo mejor los cambios de estrato y se llegó a una mayor profundidad, no es necesario sacar límites a todas las muestras para realizar la clasificación de los estratos, debido a la cercanía entre apiques y que los cambios de estrato en el terreno son bastante pronunciados. (Ver **Anexo 5**).



Imagen 12. Trabajo de laboratorio Ensayo Límite líquido.

Fuente: Elaboración propia



Imagen 13. Trabajo de laboratorio Ensayo Límite Plástico.

Fuente: Elaboración propia

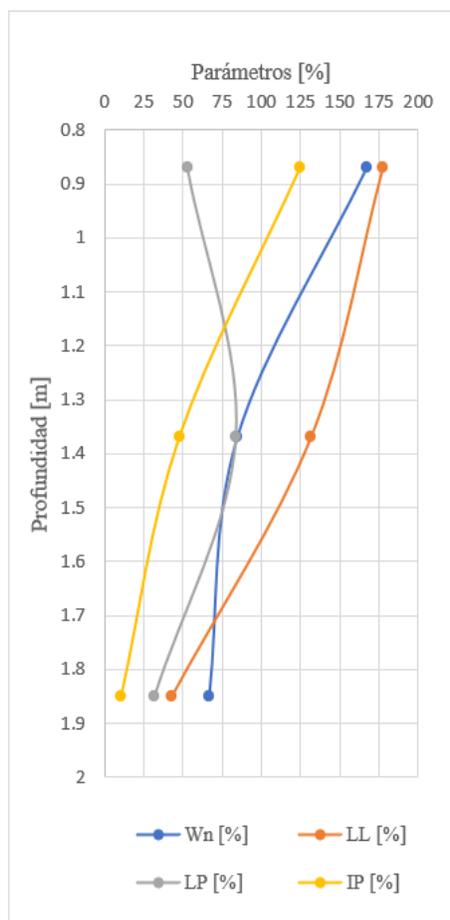
Los resultados de los distintos ensayos para cada muestra se resumen en la siguiente tabla.

Tabla 7. Resumen de los datos de ensayos de clasificación y humedad.

Muestra	Clasificación	Profundidad [m]	W_n [%]	LL [%]	LP [%]	IP [%]
1	CH	0.87	167	178	53	125
2	MH	1.37	84.9	132	84	48
3	ML	1.85	67.1	43	32	11

Fuente: Elaboración propia

Representación gráfica de los resultados de los distintos ensayos.



Gráfica 9. Trabajo de laboratorio Gráfica resumen de los datos.

Fuente: Elaboración propia

La humedad natural (Wn) del suelo disminuye a medida que aumenta la profundidad, al igual que los límites líquido y plástico.

La consistencia de un suelo fino depende de su contenido de humedad y de cómo este varía con respecto a los distintos límites de Atterberg.

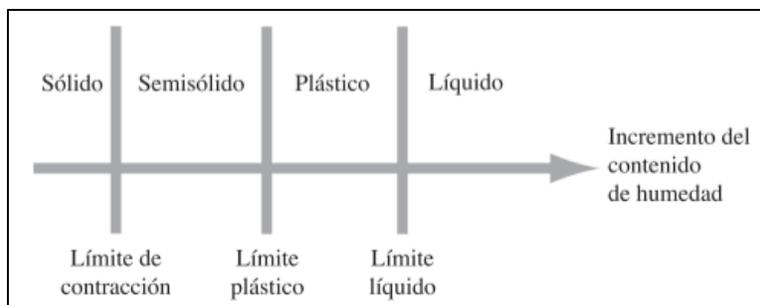


Ilustración 4. Consistencia del suelo según su contenido de humedad y los límites de Atterberg.

Fuente: Das, B., (2015)

Con base en la anterior explicación y los resultados obtenidos de los ensayos de laboratorio, se concluye que a medida que aumenta la profundidad disminuye el contenido de humedad y el suelo pasa de un estado de consistencia plástico a uno semisólido; siendo este un indicador que los estratos profundos presentan mejores características físico-mecánicas que los superiores.

A partir de la información obtenida por los distintos métodos (Ensayos de campo y de laboratorio), se deduce el perfil estratigráfico del terreno (ver **Anexo 6**), el cual se elabora desde un punto de vista ubicado en la intersección de las vías urbanas con la Ruta Nacional 45.



Figura 17. Punto de vista del Perfil Estratigráfico.

Fuente: Adaptado de Google Earth (2023)

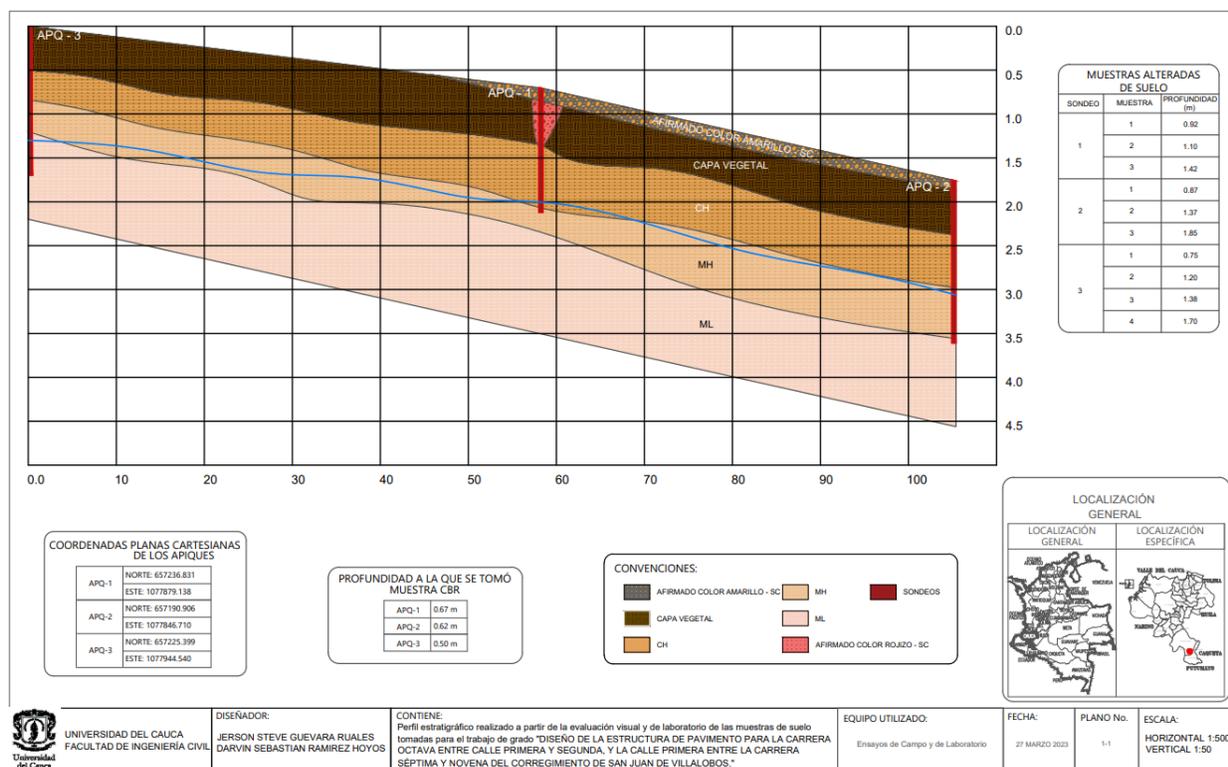


Figura 18. Perfil estratigráfico deducido.

Fuente: Elaboración propia

8.4. RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA (CBR) CON MUESTRA INALTERADA

Por la factibilidad que representa para un proyecto trabajar con la subrasante en condiciones naturales, se opta por determinar la resistencia al esfuerzo cortante de la subrasante con el ensayo CBR, modalidad muestra inalterada, el cual relaciona el esfuerzo requerido para que el pistón penetre 2.54 o 5.08 mm (0.1 o 0.2") dentro de la muestra de ensayo. (Instituto Nacional de Vías, 2013).

Para cada apique realizado se toma una muestra inalterada en molde CBR de 6 pulgadas, esta se toma inmediatamente se nota el cambio de estrato entre afirmado o suelo orgánico y suelo fino de subrasante. Las muestras se ensayan en el laboratorio de suelos y pavimentos de la Universidad del Cauca. (Ver **Anexo 7**).



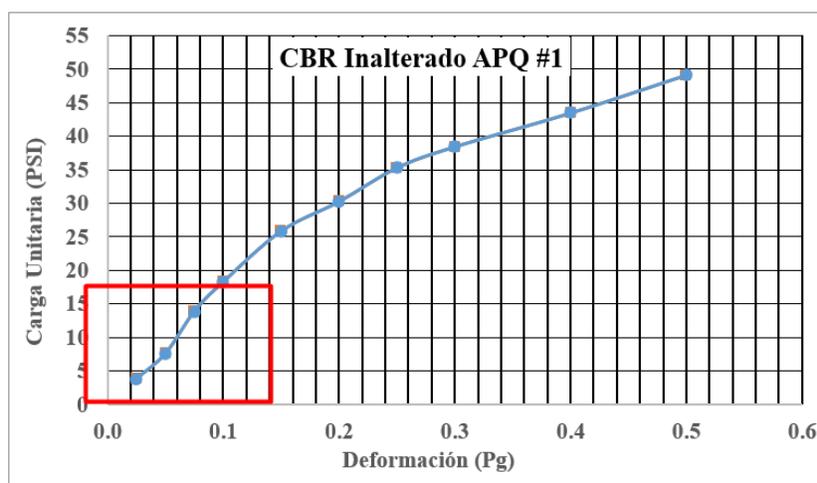
Imagen 14. Ensayo CBR muestra inalterada.

Fuente: Elaboración propia

A continuación, se indica la curva esfuerzo-deformación para cada una de las muestras.

- Ensayo CBR muestra inalterada-Apique No.1. Tramo: Carrera Octava entre Calle Primera y Segunda.

Constante del anillo: 0.63



Gráfica 10. Curva esfuerzo-deformación con error para Apique 1.

Fuente: Informe CBR de geotecnia (2023)

En la gráfica se observa que, al comienzo de la curva hay una concavidad respecto a un punto de inflexión, esto genera interpretaciones inadecuadas sobre el ensayo, por lo que se debe realizar una corrección de ceros.

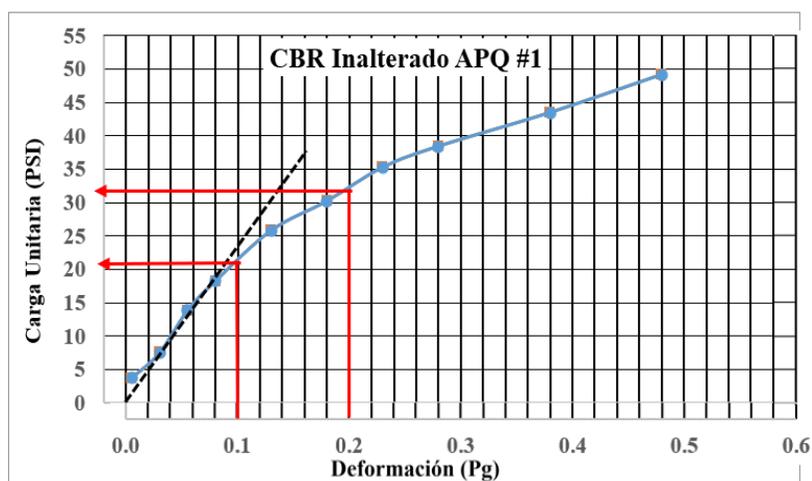
Curva esfuerzo-deformación corregida:

Constante del anillo: 0.63.

Tabla 8. Datos del ensayo CBR muestra inalterada para Apique 1.

CBR Muestra Inalterada APQ #1				
PENETRACIÓN (Pg)	LECTURA	PRESIÓN (PSI)	PRESIÓN CORREGIDA	CBR
0.025	6	3.78		
0.050	12	7.56		
0.075	22	13.86		
0.100	29	18.27	21	2.10
0.150	41	25.83		
0.200	48	30.24	32	2.13
0.250	56	35.28		
0.300	61	38.43		
0.400	69	43.47		
0.500	78	49.14		

Fuente: Informe CBR de geotecnia (2023)



Gráfica 11. Curva esfuerzo-deformación corregida para Apique 1.

Fuente: Informe CBR de geotecnia (2023)

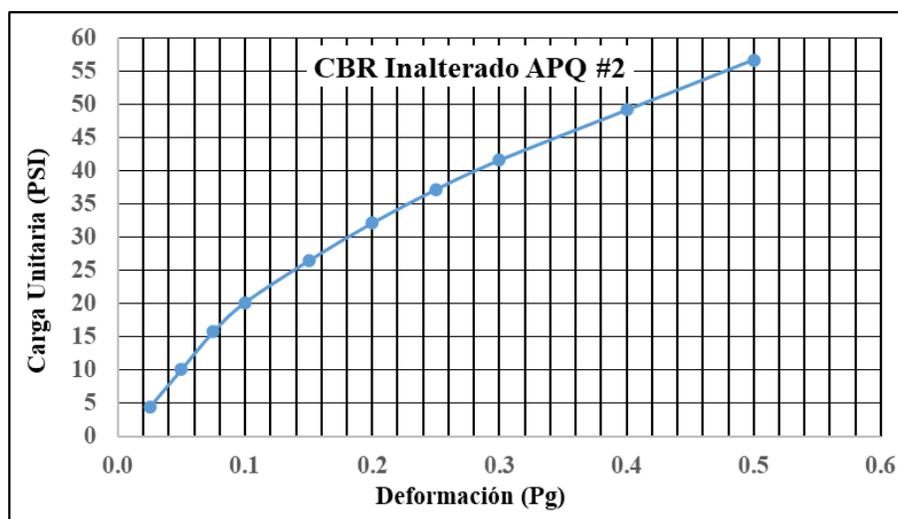
- Ensayo CBR muestra inalterada-Apique No.2. Tramo: Calle Primera entre Carrera Octava y Novena

Constante del anillo: 0.63

Tabla 9. Datos del ensayo CBR muestra inalterada para Apique 2.

CBR Muestra Inalterada APQ #2			
PENETRACIÓN (Pg)	LECTURA	PRESIÓN (PSI)	CBR
0.025	7	4.41	
0.050	16	10.08	
0.075	25	15.75	
0.100	32	20.16	2.02
0.150	42	26.46	2.14
0.200	51	32.13	
0.250	59	37.17	
0.300	66	41.58	
0.400	78	49.14	
0.500	90	56.7	

Fuente: Informe CBR de geotecnia (2023)



Gráfica 12. Curva esfuerzo-deformación corregida para Apique 2.

Fuente: Informe CBR de geotecnia (2023)

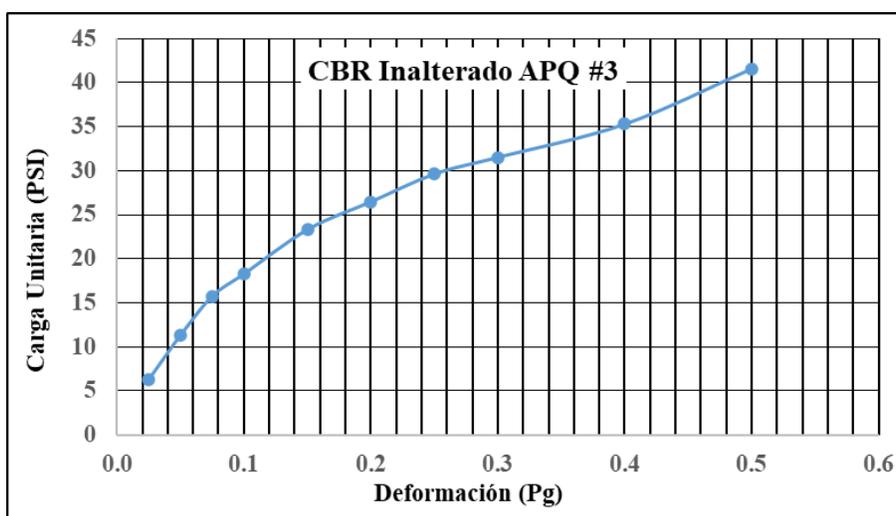
- Ensayo CBR muestra inalterada-Apique No.3. Tramo: Calle Primera entre Carrera Séptima y Octava

Constante del anillo: 0.63

Tabla 10. Datos del ensayo CBR muestra inalterada para Apique 3.

CBR Muestra Inalterada APQ #3			
PENETRACIÓN (Pg)	LECTURA	PRESIÓN (PSI)	CBR
0.025	10	6.3	
0.050	18	11.34	
0.075	25	15.75	
0.100	29	18.27	1.83
0.150	37	23.31	
0.200	42	26.46	1.76
0.250	47	29.61	
0.300	50	31.5	
0.400	56	35.28	
0.500	66	41.58	

Fuente: Informe CBR de geotecnia (2023)



Gráfica 13. Curva esfuerzo-deformación corregida para Apique 3.

Fuente: Informe CBR de geotecnia (2023)

Para efectos de cálculos en el diseño de pavimento, el valor de CBR a utilizar en la subrasante será la mediana de los resultados anteriormente obtenidos:

Resultados obtenidos, ordenados de menor a mayor: 1.76%, 2.02%, 2.1%

→ Mediana: 2.02%

Analizando los resultados obtenidos del ensayo CBR muestra inalterada en estado natural, los cuales dieron demasiado bajos (menores a 2.2%), se decide no realizar el ensayo bajo condiciones de inmersión porque se prevé será menor.

Por lo anterior, se concluye que el suelo de subrasante tiene una resistencia al esfuerzo cortante demasiado baja y es necesario realizar un proceso de estabilización que incremente dicha resistencia.

8.5. SUELOS ESPECIALES

Dentro del campo de la geotecnia se consideran ciertos tipos de suelo como “especiales” que por sus propias características representan un problema para la estabilidad de una estructura de pavimento, estos son:

- ✓ Suelo licuable.
- ✓ Suelo expansivo.
- ✓ Suelo erodable.
- ✓ Suelo dispersivo.
- ✓ Suelo colapsable.
- ✓ Suelo blando.

Como lo indica el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10) en H.2.2.2: Estudio Geotécnico Definitivo “Se debe estudiar el efecto o descartar la presencia de suelos con características especiales como suelos expansivos, dispersivos, colapsables, y todos los efectos de la presencia de vegetación o de cuerpos de agua cercanos”.

El proyecto se ejecuta en una zona donde predomina la presencia de suelos finos, clasificados en la sección “Excavación Manual y Recuperación de Muestras” como arcilla de alta

plasticidad (CH) y limo de alta plasticidad (MH), por lo que se descartan los suelos especiales de tipo erodable y licuable, ya que estos fenómenos se presentan generalmente en suelos granulares.

De la misma manera, se descarta la posibilidad de que haya un suelo dispersivo, ya que durante el trabajo de campo no se observaron características asociadas a este tipo de suelo, como presencia de túneles o hundimientos, turbidez en el agua estancada o presencia de erosión en surcos o caminos, que son características propias de este tipo de suelo. Así mismo, se descarta la opción de que se esté trabajando con un suelo colapsable, aquel que pierde su estructura y reduce dramáticamente su volumen cuando su humedad aumenta o se saturan, sin requerir aplicación de carga. Debido a que los suelos en cuestión se encuentran estables y como se indicó en la sección “Excavación Manual y Recuperación de Muestras”, los suelos presentan humedades bastante altas (>100%).

De acuerdo a lo anterior, resta evaluar la posibilidad de que la subrasante sea un suelo expansivo o blando, para ello, se tiene en cuenta los resultados de los diferentes ensayos de laboratorio y la inspección visual del terreno.

- **Suelo blando**

Es un suelo con baja capacidad de soporte, que presenta asentamientos excesivos ante la imposición de cargas (Universidad del Cauca et al., 2018), apoyar una estructura de pavimento sobre un suelo blando significa una falla inminente.

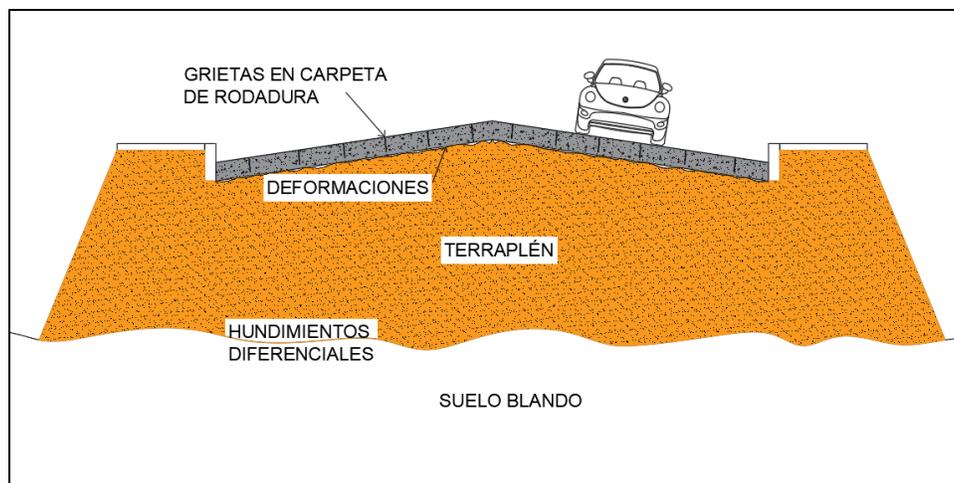


Figura 19. Consecuencia de fundar el pavimento sobre un suelo blando.

Fuente: Elaboración propia

Se puede determinar de manera indirecta si un suelo es blando, a partir de los resultados de los ensayos: Ensayo de penetración estándar (SPT), Ensayo de Resistencia al corte no drenada, Ensayo de Consolidación, Capacidad de Carga última del suelo, Límites de Atterberg e índice de compresibilidad. Sin embargo, dentro del alcance del proyecto estos no fueron considerados en su totalidad, solo se realizaron los ensayos de Límites de Atterberg y Penetrómetro Dinámico de Cono (PDC), de este último se observa que se hinca de manera fácil en el estrato superior (subrasante) con un valor aproximado de 10 centímetros por cada golpe, esto en conjunto con las observaciones realizadas en campo: Se penetra fácilmente varios centímetros con el puño y estar de pie sobre este suelo genera un hundimiento en el calzado de aproximadamente 3 centímetros, indica que el suelo puede ser blando, pero los datos disponibles no permiten hacer una conclusión clara al respecto.

- **Suelo expansivo**

Es un suelo con gran susceptibilidad a cambios volumétricos cuando experimenta modificaciones en su contenido de agua (Universidad del Cauca, 2018), este cambio de volumen en la subrasante afecta a las diferentes capas de la estructura; a esto se le suma que la estructura es liviana y por su poco peso no representa una carga capaz de contrarrestar el esfuerzo de expansión, ocasionando así el fallo por fractura de la losa de concreto.

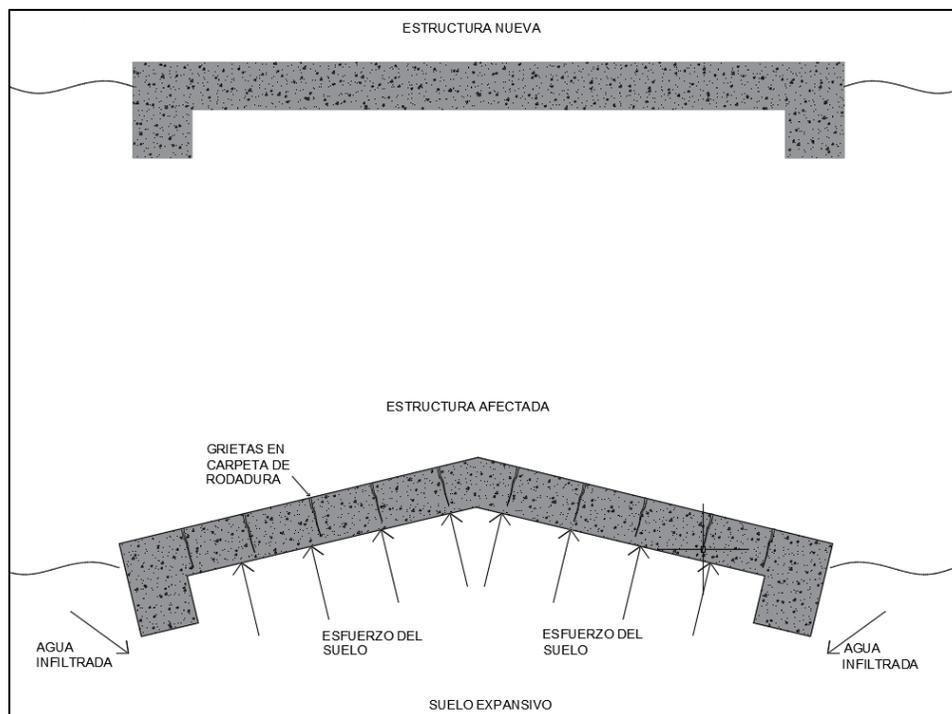


Figura 20. Consecuencia de fundar el pavimento sobre un suelo expansivo.

Fuente: Elaboración propia

Para determinar si un suelo es expansivo se puede realizar los ensayos: Ensayo Expansión de Lambe, Expansión Libre y Relación de Soporte del suelo (CBR) en inmersión, sin embargo, estos ensayos no fueron considerados dentro del alcance del proyecto, por esto, se usa la información de los ensayos realizados para clasificar el suelo (Límites de Atterberg y Humedad Natural) para establecer si es potencialmente expansivo o no.

En la sección “Excavación Manual y Recuperación de Muestras” la subrasante es clasificada como arcilla de alta plasticidad (CH), esta es una primera señal ya que, los suelos expansivos suelen ser arcillas.

De acuerdo a una clasificación del potencial expansivo de un suelo realizada por el Reglamento de Construcción Sismo Resistente (NSR-10) en la Tabla H.9.1-1: Clasificación de suelos expansivos, y considerando los resultados obtenidos en laboratorio para los ensayos (Límites de Atterberg y Humedad Natural), se comparan los parámetros especificados y se enmarca el suelo en una categoría.

Tabla 11. Clasificación de suelos expansivos.

Potencial de expansión	Expansión (%) medida en consolidómetro bajo presión vertical de 0.07 kgf/cm ²	Límite líquido L.L., en (%)	Límite de contracción en (%)	Índice de plasticidad, IP, en (%)	Porcentaje de partículas menores de una micra (μ)	Expansión libre EL en (%), medida en probeta
Muy alto	> 30	> 63	< 10	> 32	> 37	> 100
Alto	20 – 30	50 – 63	6 – 12	23 – 45	18 – 37	> 100
Medio	10 – 20	39 – 50	8 – 18	12 – 34	12 – 27	50 100
Bajo	< 10	< 39	> 13	< 20	< 17	< 50

Fuente: NSR-10, Título H (2010)

- ✓ Límite Líquido (LL) = 188%, >63%, Potencial de expansión “Muy alto”.
- ✓ Índice de Plasticidad (IP) = 117% > 32 %, Potencial de expansión “Muy alto”.

Considerando lo anterior, se concluye que el suelo es potencialmente expansivo.

El perfil estratigráfico del terreno está conformado por estratos de suelo potencialmente blandos y por una subrasante potencialmente expansiva; el agua es el detonante de estos fenómenos, es por esto, que se debe generar una alternativa que permita controlar y aislar la presencia del agua proveniente de las distintas fuentes en un pavimento (ascensión capilar, flujo interno, infiltración vertical) (Benavides Bastidas, C., 2020a). Para este proyecto se plantea el uso de subdrenes tipo Dren Francés, ya que, desde el desde el punto de vista técnico es una de las mejores alternativas para el control de la ascensión capilar ocasionada por el Nivel Freático y del Flujo de Infiltración lateral en estructuras de pavimento y desde el punto de vista constructivo, presenta facilidad para la zona en la cual se sitúa el proyecto.

9. ESTUDIO DE TRÁNSITO

9.1. TRÁNSITO NORMAL

Para realizar el análisis del tránsito normal se empleó el método de conteo manual de vehículos, el cual consiste en tomar nota de los vehículos que transitan por la vía en determinados rangos horarios para tener información detallada, este proceso se debe realizar por al menos 3 días (Rivas Muñoz & Arboleda Velez, 2020); para este estudio en particular se realizó conteo durante 6 días con intervalos cada hora, partiendo de las 7 de la mañana hasta las 6 de la tarde. Fueron 4 días rutinarios (de martes a viernes) y 2 días que se consideran de mercado en la zona (sábado y domingo).

Para llevar orden y claridad en las anotaciones se empleó el siguiente formato para conteo vehicular, el cual fue suministrado por el Ingeniero Nelson Rivas (docente de la Universidad del Cauca) y adecuado a conveniencia del proyecto. (Ver **Anexo 8**).

Tabla 12. Formato para estudio de tránsito.

AFORADOR							
FECHA							
UBICACIÓN							
CLIMA							
REVISOR							
RANGO HORA	AUTOS	BUSES	MOTOS	CAMIONES			
				C2	C3 Y C4	C5	>C5
SUMATORIA							

Fuente: Elaboración propia

De esta manera se obtienen para cada día y cada rango de horas los siguientes resultados.

- Martes 28 de febrero de 2023.

Tabla 13. Registro estudio de tránsito día 1.

AFORADOR	Jerson Steve Guevara Ruales
FECHA	28 de febrero de 2023
UBICACION	San Juan de Villalobos
CLIMA	Lluvioso
REVISOR	Darvin Sebastian Ramirez Hoyos

RANGO HORA	AUTOS	BUSES	MOTOS	CAMIONES			
				C2	C3 Y C4	C5	>C5
7-8 am	3	0	5	0	0	0	0
8-9 am	0	0	2	0	0	0	0
9-10 am	1	0	0	0	0	0	0
10-11 am	1	0	1	0	0	0	0
11-12 pm	0	0	3	0	0	0	0
12-1 pm	0	0	2	0	0	0	0
1-2 pm	0	0	5	0	0	0	0
2-3 pm	2	0	1	0	0	0	0
3-4 pm	2	0	1	0	0	0	0
4-5 pm	0	0	3	0	0	0	0
5-6 pm	3	0	4	0	0	0	0
SUMATORIA	12	0	27	0	0	0	0

Fuente: Elaboración propia

- Miércoles 01 de marzo de 2023.

Tabla 14. Registro estudio de tránsito día 2.

AFORADOR	Jerson Steve Guevara Ruales
FECHA	1 de marzo de 2023
UBICACION	San Juan de Villalobos
CLIMA	Nublado
REVISOR	Darvin Sebastian Ramirez Hoyos

RANGO HORA	AUTOS	BUSES	MOTOS	CAMIONES			
				C2	C3 Y C4	C5	>C5
7-8 am	2	0	7	0	0	0	0
8-9 am	1	0	3	0	0	0	0
9-10 am	0	0	1	0	0	0	0
10-11 am	0	0	0	0	0	0	0
11-12 pm	1	0	4	0	0	0	0
12-1 pm	0	0	3	0	0	0	0
1-2 pm	1	0	2	0	0	0	0
2-3 pm	1	0	0	0	0	0	0
3-4 pm	0	0	1	0	0	0	0
4-5 pm	2	0	5	0	0	0	0
5-6 pm	2	0	3	0	0	0	0
SUMATORIA	10	0	29	0	0	0	0

Fuente: Elaboración propia

- Jueves 02 de marzo de 2023.

Tabla 15. Registro estudio de tránsito día 3.

AFORADOR	Jerson Steve Guevara Ruales
FECHA	2 de marzo de 2023
UBICACION	San Juan de Villalobos
CLIMA	Soleado
REVISOR	Darvin Sebastian Ramirez Hoyos

RANGO HORA	AUTOS	BUSES	MOTOS	CAMIONES			
				C2	C3 Y C4	C5	>C5
7-8 am	1	0	3	0	0	0	0
8-9 am	2	0	5	0	0	0	0
9-10 am	0	0	4	0	0	0	0
10-11 am	0	0	2	0	0	0	0
11-12 pm	0	0	1	0	0	0	0
12-1 pm	1	0	4	0	0	0	0
1-2 pm	2	0	1	0	0	0	0
2-3 pm	0	0	0	0	0	0	0
3-4 pm	1	0	2	0	0	0	0
4-5 pm	2	0	6	0	0	0	0
5-6 pm	3	0	2	0	0	0	0
SUMATORIA	12	0	30	0	0	0	0

Fuente: Elaboración propia

- Viernes 03 de marzo de 2023.

Tabla 16. Registro estudio de tránsito día 4.

AFORADOR	Jerson Steve Guevara Ruales
FECHA	3 de marzo de 2023
UBICACION	San Juan de Villalobos
CLIMA	Nublado
REVISOR	Darvin Sebastian Ramirez Hoyos

RANGO HORA	AUTOS	BUSES	MOTOS	CAMIONES			
				C2	C3 Y C4	C5	>C5
7-8 am	2	0	3	0	0	0	0
8-9 am	2	0	5	0	0	0	0
9-10 am	1	0	1	0	0	0	0
10-11 am	3	0	0	0	0	0	0
11-12 pm	0	0	0	0	0	0	0
12-1 pm	1	0	4	0	0	0	0
1-2 pm	0	0	2	0	0	0	0
2-3 pm	0	0	0	0	0	0	0
3-4 pm	1	0	1	0	0	0	0
4-5 pm	1	0	6	0	0	0	0
5-6 pm	3	0	1	0	0	0	0
SUMATORIA	14	0	23	0	0	0	0

Fuente: Elaboración propia

- Sábado 04 de marzo de 2023.

Tabla 17. Registro estudio de tránsito día 5.

AFORADOR	Darvin Sebastian Ramirez Hoyos
FECHA	4 de marzo de 2023
UBICACION	San Juan de Villalobos
CLIMA	Nublado
REVISOR	Jerson Steve Guevara Ruales

RANGO HORA	AUTOS	BUSES	MOTOS	CAMIONES			
				C2	C3 Y C4	C5	>C5
7-8 am	3	0	3	0	0	0	0
8-9 am	1	0	5	0	0	0	0
9-10 am	1	0	3	0	0	0	0
10-11 am	0	0	1	0	0	0	0
11-12 pm	1	0	0	0	0	0	0
12-1 pm	0	0	3	0	0	0	0
1-2 pm	2	0	2	0	0	0	0
2-3 pm	1	0	1	0	0	0	0
3-4 pm	0	0	1	0	0	0	0
4-5 pm	1	0	7	0	0	0	0
5-6 pm	2	0	1	0	0	0	0
SUMATORIA	12	0	27	0	0	0	0

Fuente: Elaboración propia

- Domingo 05 de marzo de 2023.

Tabla 18. Registro estudio de tránsito día 5

AFORADOR	Darvin Sebastian Ramirez Hoyos
FECHA	5 de marzo de 2023
UBICACION	San Juan de Villalobos
CLIMA	Lluvioso
REVISOR	Jerson Steve Guevara Ruales

RANGO HORA	AUTOS	BUSES	MOTOS	CAMIONES			
				C2	C3 Y C4	C5	>C5
7-8 am	4	0	2	0	0	0	0
8-9 am	1	0	2	0	0	0	0
9-10 am	2	0	1	0	0	0	0
10-11 am	0	0	3	0	0	0	0
11-12 pm	0	0	4	0	0	0	0
12-1 pm	1	0	2	0	0	0	0
1-2 pm	1	0	0	0	0	0	0
2-3 pm	2	0	1	0	0	0	0
3-4 pm	1	0	2	0	0	0	0
4-5 pm	1	0	1	0	0	0	0
5-6 pm	3	0	4	0	0	0	0
SUMATORIA	16	0	22	0	0	0	0

Fuente: Elaboración propia

9.2. TRÁNSITO POR CONSTRUCCIÓN

Se considera que, durante la construcción del pavimento rígido, se presentan aproximadamente 181 repeticiones de camión C2G, que comprenden tanto viajes de ida como de vuelta, dónde el recorrido en cada dirección se realiza en el carril respectivo. El vehículo empleado para este análisis es la volqueta convencional de 8 metros cúbicos de capacidad.

A continuación, se presenta el procedimiento de cálculo empleado para el cálculo del tránsito por construcción. (Ver **Anexo 8**).

TRÁNSITO POR CONSTRUCCIÓN	
Excavación de material	
Espesor promedio según perfil estratigráfico de capa vegetal [m]	0.5
Retiro de material de subrasante [m]	0.15
Estructura de pavimento supuesta:	
Losas de concreto [m]	0.15
Subbase granular [m]	0.15
Mejoramiento de subrasante [m]	0.35
Longitud de vías	
Carrera 8 entre Calle 1 y 2 [m]	90
Calle 1 entre carrera 8 y 9 [m]	75
Calle 1 entre carrera 7 y 8 [m]	75
Ancho de vía según EOT	
Ancho de dos (2) carriles [m]	6.5
Cantidad de material a transportar	
Excavación material orgánico y de subrasante [m³]	634
Agregados pétreos y concreto [m³]	809.25
TOTAL [m³]	1443
Capacidad de vehículo supuesto C2 volqueta convencional [m³]	8
Número de repeticiones	181

Figura 21. Procedimiento de cálculo tránsito por construcción.

Fuente: Elaboración propia

9.3. TRÁNSITO DEDUCIDO

Debido a que la localización del proyecto es en la Ruta 45 (vía panamericana), tramo que conecta las ciudades de Mocoa-Pitalito y que la economía del corregimiento depende del tránsito (turistas y viajeros), es usual que la vía en fines de semana se utilice como estacionamiento de vehículos para facilitar el servicio de hospedaje, siendo la mayoría de estos vehículos, camiones C3, C5 y >C5. Por lo anterior y considerando el crecimiento económico del sector, se prevé que las vías urbanas del corregimiento que trata este proyecto en un futuro podrían ser utilizadas como estacionamiento temporal. Por ello, se considera en el tránsito de diseño un “tránsito deducido”, en el que se hace partícipe estos vehículos tipo camiones. (Ver **Anexo 8**).



Imagen 15. Vehículo >C5 estacionado en la vía.

Fuente: Elaboración propia

Por lo anterior, y teniendo en cuenta la dificultad que tiene un vehículo tipo camión C5 y >C5 para acceder a las vías (por su radio de giro), se establece una hipótesis que considere la baja pero existente posibilidad de que estos vehículos usen las vías como estacionamiento, generando un factor de seguridad en el diseño de la estructura; esta permite calcular un tránsito deducido por año, consiste en que 3 vehículos de las categorías C3, C5 y >C5 utilizan la vía como

estacionamiento al mes, es decir, 6 repeticiones en ambos sentidos de cada vehículo tipo camión. Por tanto, se tienen 72 repeticiones al año de cada categoría.

Cálculo tipo para tránsito deducido del vehículo tipo camión C3:

$$6 \frac{\text{repeticiones}}{\text{mes}} \times 12 \frac{\text{meses}}{\text{año}} = 72 \frac{\text{repeticiones}}{\text{año}}$$

Tabla 19. Resumen de tránsito deducido.

TRÁNSITO DEDUCIDO	
Tipo de vehículo	Tránsito anual
C3	72
C5	72
>C5	72

Fuente: Elaboración propia

9.4. DETERMINACIÓN DE LA VARIABLE TRÁNSITO - ESPECTROS DE CARGA

La cuantificación de la variable tránsito por el modelo de espectros de carga, considera para cada eje, cargas representativas en función de los distintos rangos que pueda haber según el estudio de tránsito y pesaje. A dichas cargas representativas, se les realiza proyección de crecimiento a lo largo del periodo de diseño, para ello se combinan las siguientes ecuaciones del modelo exponencial sugeridas por American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) y el Instituto Nacional de Vías (INVIAS).

$$T = T_0 * \frac{(1 + r)^n - 1}{r}$$

$$T_0 = T_d * 365 * F_d * F_c$$

Donde:

T_0 : Tránsito anual que circula por el carril de diseño en el año base o puesta en servicio del pavimento.

r : Tasa de crecimiento anual del tránsito de vehículos comerciales.

n : Número de años del periodo de diseño.

F_d : Factor de distribución direccional.

F_c : Factor de distribución por carril.

El tránsito de diseño es el resultado de afectar el tránsito proyectado con un factor de confiabilidad y se realiza con la siguiente ecuación:

$$T' = 10^{0.05 * Z_r} * T$$

Donde:

T' : Tránsito corregido con nivel de confianza.

Z_r : Coeficiente correspondiente a la confiabilidad con base en una distribución normal.

En el diseño de pavimentos, las motocicletas y los vehículos pequeños (autos), no representan una amenaza estructural, se determina que, en la estructura de pavimento, la cuantificación de la variable tránsito del diseño, se hace con el tránsito por construcción y el tránsito deducido, que implica directamente vehículos tipo camión. Por lo anterior, como tanto para el tránsito por construcción y el tránsito deducido no se cuenta con registros de información numérica sobre las cargas por eje, se opta por trabajar con las cargas máximas permitidas por eje según la Resolución 004100 de 2004, expedida por el Ministerio de Transporte.

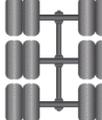
Sistema de eje	Detalle del eje
Simple de rueda simple	
Simple de rueda doble	
Tándem de rueda doble	
Trídem de rueda doble	

Figura 22. Detalle de los tipos de eje.

Fuente: (Universidad del Cauca et al., 2018)

Tabla 20. Cargas máximas permitidas por eje.

CARGAS MÁXIMAS PERMITIDAS POR EJE					
Categoría	Carga (TON)				
	SRS	SRD	TRD	TrRD	Total
Bus	4	6	0	0	10
C2P	2.5	6	0	0	8.5
C2G	6	11	0	0	17
C3	6	0	22	0	28
C3S2	6	0	21	0	48
C3S3	6	0	22	24	52

Fuente: Resolución 004100 de 2004

9.5. VARIABLES CONSIDERADAS PARA EL TRÁNSITO DE DISEÑO

Periodo de Diseño (n).

La proyección del tránsito de diseño, es la acumulación de todo el tránsito que se prevé circulará en el periodo de diseño de la vía. Aunque este periodo está en función del tránsito promedio diario, el número de carriles por sentido de la vía y el tipo de pavimento, al final termina siendo criterio del diseñador. Para este trabajo se utiliza un periodo de diseño de 20 años, “el cual bajo premisas teóricas debe coincidir como mínimo con la vida útil del pavimento” (Instituto Nacional de Vías (Colombia) et al., 2008).

$$n = 20 \text{ años}$$

Factor de distribución por carril (Fc).

Este factor relaciona el número de carriles por sentido de flujo, y la cantidad de vehículos que transitan por cada uno de ellos; para vías de 2 sentidos y 1 carril por sentido, este factor es igual a 1. (National Cooperative Highway Research Program NCHRP, 2004).

$$F_c = 1$$

Factor de distribución direccional (Fd).

Este factor relaciona la cantidad de vehículos que transitan por una vía y el porcentaje de los mismos que hacen el recorrido de vuelta, generalmente para vías de 2 sentidos y 1 carril por sentido este valor es de 0.5 o 50%. (Universidad del Cauca et al., 2018).

$$Fd = 0.5$$

Confiabilidad (R%)

El factor de confiabilidad de diseño tiene en cuenta variaciones al azar tanto en la predicción del tránsito como en la predicción del comportamiento y por lo tanto proporciona un nivel de confianza (R) de que el pavimento sobrevive al periodo para el cual fue diseñado. Este dato está en función de la clasificación de la vía en la que se desarrolla el proyecto.

Tabla 21. Nivel de confiabilidad según el tipo de vía.

CLASIFICACIÓN DE CARRETERAS	NIVEL DE CONFIABILIDAD	
	URBANA	RURAL
Autopistas Interestatales y otras	85-99.9	80-99.9
Arterias o Carreteras Principales	80-99	75-95
Colectores de Tránsito	80-95	75-95
Carreteras Locales	50-80	50-80

Fuente: Methodology Portland Cement Association (PCA-1984)

Tabla 22. Desviación Normal Estándar en función del nivel de confiabilidad

CONFIABILIDAD R %	DESVIACIÓN NORMAL ESTANDAR Zr
50	0
60	0.253
70	0.524
75	0.674
80	0.841
85	1.037
90	1.282
91	1.34
92	1.405
93	1.476
94	1.555
95	1.646
97	1.881
98	2.054
99	2.327
99.9	3.09

Fuente: Methodology Portland Cement Association (PCA-1984)

Las vías urbanas del proyecto, se clasifican como “Carreteras Locales” y por recomendación del director de trabajo de grado, se toma un nivel de confiabilidad $R = 80\%$, con una desviación normal estándar $Zr = 0.841$.

Tasa de crecimiento del tránsito (r).

El tránsito futuro estima todas las repeticiones de ejes de distinta carga que circulan por la vía en el periodo de diseño, su proyección se hace con una tasa de crecimiento que depende del tipo de proyecto y de los datos disponibles, normalmente se apoya en el crecimiento de la economía de una zona, el crecimiento poblacional, el producto interno bruto (PIB) o el crecimiento del parque automotor. (Universidad del Cauca et al., 2018).

Para este proyecto, se calcula la tasa para el crecimiento poblacional del municipio de Santa Rosa en centros poblados y rural disperso, con base en los datos de proyección realizados por el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), en el periodo 2020-2035 (Ver **Anexo 9**), la razón de esto es que el proyecto comprende una vía urbana, la cual se ve afectada

principalmente por el tránsito de los habitantes locales, esto implica que el crecimiento del tránsito será directamente proporcional al crecimiento de la población en dicha zona.

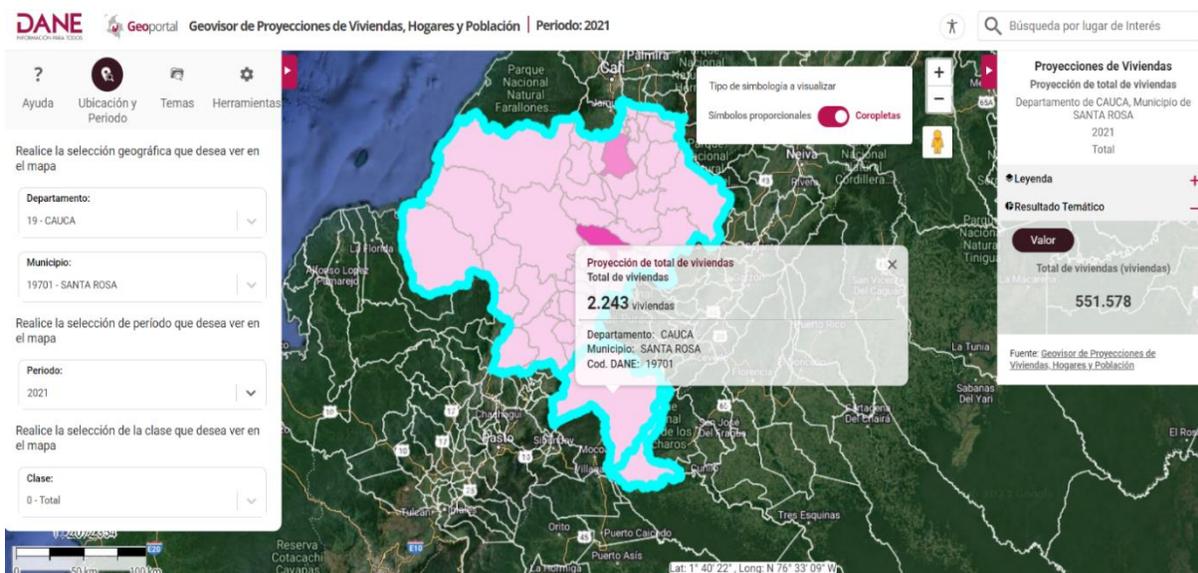


Figura 23. Datos de censo para el municipio de Santa Rosa.

Fuente: Adaptado del Geoportal DANE (2023)

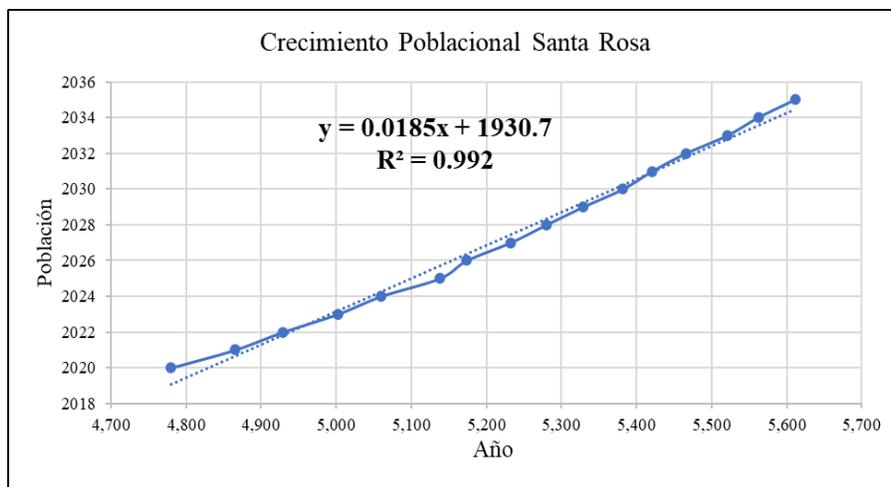
Datos disponibles, filtrados para centros poblados y rural disperso:

Tabla 23. Datos filtrados de centros poblados y rural disperso para Santa Rosa desde el año 2020 hasta 2035.

DP	DPNOM	MPIO	DPMP	AÑO	ÁREA GEOGRÁFICA	Total
19	Cauca	19701	Santa Rosa	2020	Centros Poblados y Rural Disperso	4,780
19	Cauca	19701	Santa Rosa	2021	Centros Poblados y Rural Disperso	4,865
19	Cauca	19701	Santa Rosa	2022	Centros Poblados y Rural Disperso	4,929
19	Cauca	19701	Santa Rosa	2023	Centros Poblados y Rural Disperso	5,002
19	Cauca	19701	Santa Rosa	2024	Centros Poblados y Rural Disperso	5,060
19	Cauca	19701	Santa Rosa	2025	Centros Poblados y Rural Disperso	5,138
19	Cauca	19701	Santa Rosa	2026	Centros Poblados y Rural Disperso	5,174
19	Cauca	19701	Santa Rosa	2027	Centros Poblados y Rural Disperso	5,232
19	Cauca	19701	Santa Rosa	2028	Centros Poblados y Rural Disperso	5,280
19	Cauca	19701	Santa Rosa	2029	Centros Poblados y Rural Disperso	5,329
19	Cauca	19701	Santa Rosa	2030	Centros Poblados y Rural Disperso	5,382
19	Cauca	19701	Santa Rosa	2031	Centros Poblados y Rural Disperso	5,421
19	Cauca	19701	Santa Rosa	2032	Centros Poblados y Rural Disperso	5,466
19	Cauca	19701	Santa Rosa	2033	Centros Poblados y Rural Disperso	5,521
19	Cauca	19701	Santa Rosa	2034	Centros Poblados y Rural Disperso	5,562
19	Cauca	19701	Santa Rosa	2035	Centros Poblados y Rural Disperso	5,611

Fuente: DANE. (2023)

El cálculo de la tasa de crecimiento obedece a métodos algebraicos o gráficos; la escogencia del método depende de los datos y el ajuste de la línea de tendencia hacia los mismos.



Gráfica 14. Tendencia del crecimiento poblacional para el municipio de Santa Rosa.

Fuente: Elaboración propia

Para los datos presentados, el método que más se ajusta es el lineal ($y = ax + b$), en el que la tasa de crecimiento es la pendiente de la línea, $a = r$.

$$r = 1.85\%$$

9.6. TRÁNSITO DE DISEÑO

Corresponde a la suma total del tránsito obtenido mediante conteos, tránsito deducido y analizado para la etapa de construcción, que posteriormente se debe proyectar para el periodo de diseño de la estructura de pavimento. (Ver **Anexo 8**).

$$\text{Tránsito De Diseño} = \text{Tránsito por construcción} + \text{Tránsito deducido}$$

Debido a que se está trabajando con las máximas cargas permitidas por eje, no es necesario realizar discriminación de cargas por magnitudes y tampoco la carga representativa por rangos.

Tabla 24. Parámetros utilizados para la proyección del tránsito.

Periodo de diseño n [años]	20
Factor carril Fc	1
Factor dirección Fd	0.5
Tasa de crecimiento r [%]	1.85
Confiabilidad 80%, Z _r =0.841	
N: Número de repeticiones en el periodo de diseño	

Fuente: Elaboración propia

Con estas consideraciones, se presenta un cálculo tipo para obtener el tránsito proyectado y corregido con confiabilidad para la carga única de 6 toneladas del eje simple rueda simple (SRS).

- **Tránsito por construcción:**

Repeticiones en el periodo de diseño: $N = 181$

Repeticiones corregidas con confiabilidad: $N_{esperado} = 10^{0.05 \cdot 0.841} * 181 = 200$

- **Tránsito deducido:**

Repeticiones por año: $N_{año} = 72[C3] + 72[C5] + 72[> C5] = 216$

Repeticiones en el periodo de diseño: $N = (360 * 0.5 * 1) \frac{(1+0.0185)^{20}-1}{0.0185} = 2586$

Repeticiones corregidas con confiabilidad: $N_{esperado} = 10^{0.05 \cdot 0.841} * 2586 = 2849$

- **Tránsito total:**

Tránsito de diseño o número de repeticiones esperadas en el periodo de diseño, para la carga de 6 toneladas del eje simple rueda simple (SRS): $200 + 2849 = 3049$

Tabla 25. Resumen del tránsito por construcción.

TRÁNSITO POR CONSTRUCCIÓN				
EJE	CARGA [Ton]	N	Zr	Nesperado
SIMPLE RUEDA SIMPLE	6	181	0.841	200
SIMPLE RUEDA DOBLE	11	181	0.841	200

Fuente: Elaboración propia

Tabla 26. Resumen del tránsito deducido.

TRÁNSITO DEDUCIDO					
EJE	CARGA [Ton]	Tránsito anual	N	Zr	Nesperado
SIMPLE RUEDA SIMPLE	6	216	2586	0.841	2849
TANDEM	22	144	1724	0.841	1900
	21	72	862	0.841	950
TRIDEM	24	72	862	0.841	950

Fuente: Elaboración propia

Tabla 27. Resumen del tránsito de diseño

TRÁNSITO DE DISEÑO		
EJE	CARGA [Ton]	Nesperado
SIMPLE RUEDA SIMPLE	6	3049
SIMPLE RUEDA DOBLE	11	200
TANDEM	22	1900
	21	950
TRIDEM	24	950

Fuente: Elaboración propia

10. DISEÑO DE PAVIMENTO

10.1. MEJORAMIENTO DE SUBRASANTE

La subrasante es el terreno de fundación para la estructura de pavimento y se encarga de proporcionar un apoyo uniforme, adecuada resistencia y permanencia de las propiedades bajo la acción del clima. (Benavides Bastidas, C., 2020a). En el capítulo de Estudio Geotécnico se precisan las propiedades Físico-mecánicas de la subrasante de este proyecto, y con base en una de estas que es la Relación de Soporte del suelo (CBR), se puede realizar la siguiente clasificación, según el Manual de Diseño de Pavimentos de Concreto, Instituto Nacional de Vías (INVIAS). 2008.

Tabla 28. Clasificación de la subrasante de acuerdo con su resistencia.

Clase o Tipo	CBR (%)	Módulo resiliente (kg/cm ²)
S1	< 2	< 200
S2	2 - 5	200 – 500
S3	5 - 10	500 – 1.000
S4	20 - 10	1.000 – 2.000
S5	> 20	> 2.000

Fuente: Instituto Nacional de Vías, 2008.

Al tener un valor promedio de CBR cercano a 2%, se tiene una subrasante S1, la cual cualitativamente se define como “Muy mala”.

Por lo anterior y teniendo en cuenta el importante papel de la subrasante en el desempeño de una estructura de pavimento, se propone realizar un mejoramiento de subrasante mediante un método físico, con la mezcla de otro suelo de mejores características geotécnicas (Benavides Bastidas, C., 2020a). El objetivo es aumentar la Relación de Soporte del suelo (CBR) al menos a un 3%, valor que recomienda el director de trabajo de grado con base en su experiencia en el diseño de estructuras de pavimento para vías urbanas.

10.1.1. ESPESOR DE ANÁLISIS PARA MEJORAMIENTO.

El espesor de análisis para mejoramiento de subrasante obedece a un análisis de incremento de esfuerzo en el terreno, transmitido por la acción de una carga aplicada, es decir, a qué profundidad llega el bulbo de presiones generado por la carga dinámica tránsito.

El bulbo de presiones que se genera en el terreno está en función de:

- **Área de contacto:** área circular que se genera entre la llanta y el suelo, depende del ancho de la llanta y de la presión de inflado de la misma.
- **Magnitud de la carga aplicada:** el eje de carga se distribuye a través de sus llantas, por lo tanto, la carga de una llanta es la repartición equitativa de la carga del eje.

Según Boussinesq (1885) y Newmark (1959), considerando que el suelo es homogéneo (mismas propiedades a lo largo de todos sus ejes o direcciones), elástico (a cada incremento de esfuerzos está asociado un incremento correspondiente de deformación) e isotrópico (módulo de elasticidad, módulo de cortante y coeficiente de Poisson son constantes en todas las direcciones), para una carga circular uniformemente repartida, se tiene el siguiente bulbo de presiones; el cual solo existe hasta dónde el incremento de esfuerzo en el terreno es el diez por ciento (10%) del esfuerzo de contacto generado por la carga aplicada y en profundidad es 2 veces el diámetro del área circular de contacto.

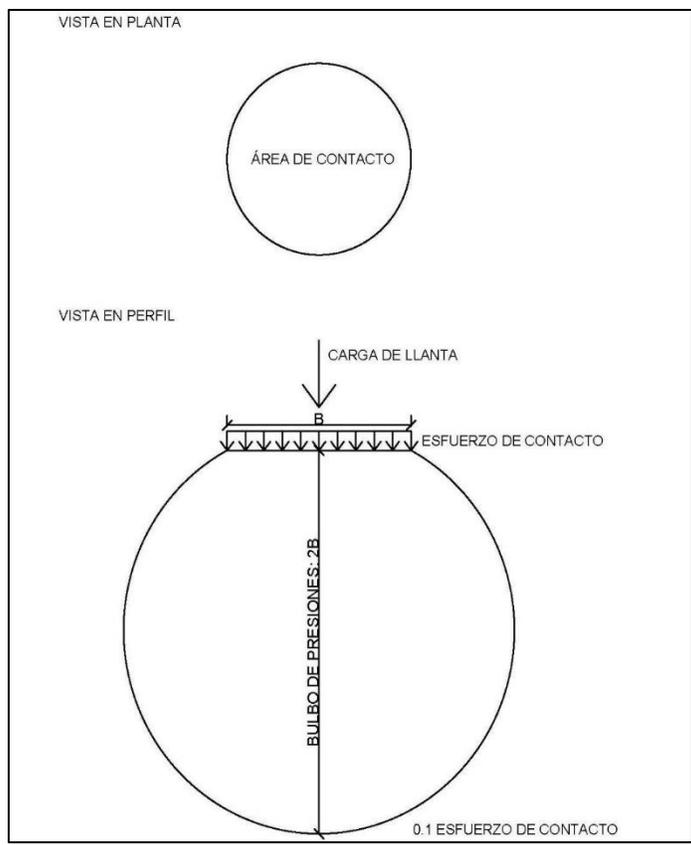


Ilustración 5. Bulbo de presiones para carga circular uniformemente repartida.

Fuente: Elaboración propia

La siguiente ecuación, se presenta en la teoría de Boussinesq y Newmark, para hallar el incremento de esfuerzo en el centro del área cargada a cualquier profundidad:

$$\Delta\sigma_z = q \left[1 - \frac{1}{\left[1 + \left(\frac{R}{z} \right)^2 \right]^{\frac{3}{2}}} \right]$$

Ilustración 6. Incremento de esfuerzo en el centro del área cargada a cualquier profundidad.

Fuente: Boussinesq y Newmark, 1985

Donde:

$\Delta\sigma_z$: Incremento de esfuerzo

$q = \frac{\text{Carga de la llanta}}{\text{Área de contacto}}$: Esfuerzo de contacto

$R = a$: Radio del área de contacto

z : Profundidad a la que se realiza el análisis

Para realizar el análisis de incremento de esfuerzo, se van a utilizar los siguientes datos que según la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), corresponden al eje de carga equivalente, utilizado en la cuantificación del tránsito en diseño de pavimentos flexibles.

Carga del eje: 8.2 Toneladas

Presión de inflado (Q): 80 PSI \approx 551.6 kPa

Radio (a): $\sqrt{\frac{P_{llanta}}{Q \cdot \pi}} = 10.8 \text{ cm}$

Área de contacto: $\pi \cdot a^2 = 366.4 \text{ cm}^2$

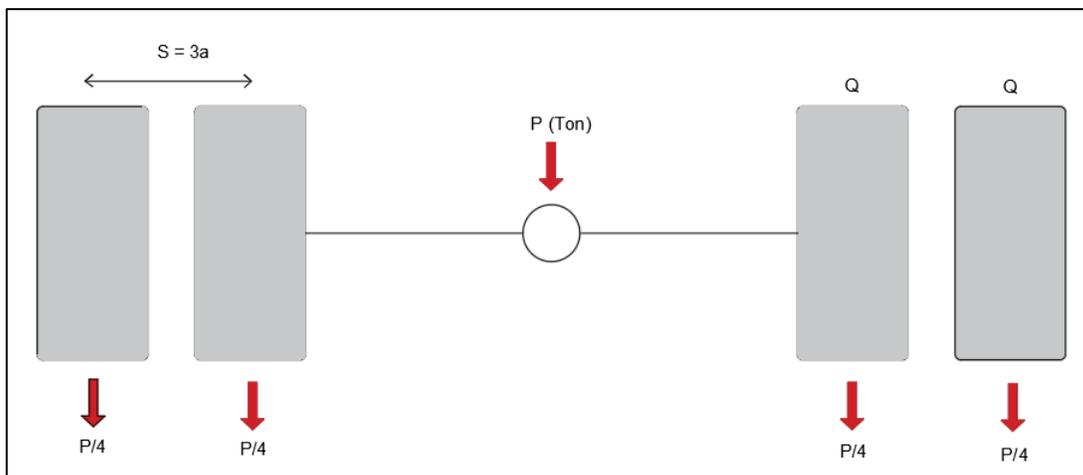


Ilustración 7. Gráfica eje estándar.

Fuente: Elaboración Propia

Con base en la ecuación de Boussinesq y Newmark y los datos del eje de carga equivalente, se calcula el incremento de esfuerzo en el centro del área circular de contacto a distintas profundidades, con el fin de analizar hasta qué profundidad existe el bulbo de presiones:

Tabla 29. Incremento de esfuerzo variando la profundidad.

z [cm]	Incremento [kPa]	Incremento de esfuerzos [%]
5	508.12	92.58%
10	376.70	68.64%
15	255.49	46.55%
20	174.93	31.87%
25	124.24	22.64%
30	91.69	16.71%
35	69.99	12.75%
40	54.97	10.02%
45	44.22	8.06%
50	36.28	6.61%
55	30.28	5.52%
60	25.63	4.67%
65	21.97	4.00%
70	19.03	3.47%
75	16.64	3.03%
80	14.67	2.67%
85	13.03	2.37%
90	11.64	2.12%
95	10.47	1.91%
100	9.46	1.72%

Fuente: Elaboración propia

De la anterior tabla se puede resaltar qué: teóricamente el bulbo de presiones existe hasta una profundidad aproximada de 40 centímetros, dónde el incremento de esfuerzo es $\Delta\sigma_z = 54.97kPa$ equivalente al 10.02% del esfuerzo de contacto.

Aunque el análisis realizado es correcto, es bastante limitado y no puede ser la única fuente de información para tomar una decisión. Ya que, para definir el espesor de análisis de mejoramiento se debe considerar también que existen más tipos de ejes de carga, con una amplia gama de llantas y distintas presiones de inflado, además, el área de contacto también debe considerar la velocidad del vehículo; también cabe resaltar que se realiza el análisis como si el eje

de carga estuviera directamente sobre la subrasante, cuando en realidad este circula sobre una estructura de pavimento (con un espesor considerable en el que se distribuyen los esfuerzos).

Por todo lo anterior y siguiendo el criterio empírico del director de trabajo de grado, se toma 1 metro de espesor de subrasante como espesor de análisis para mejoramiento, asegurando así un amplio factor de seguridad.

10.1.2. SUELO PROPUESTO PARA MEJORAMIENTO

Como se menciona en la sección “Fuentes de Material” se propone un suelo abundante en la zona (tipo afirmado color amarillo) para realizar el mejoramiento de la subrasante. Para caracterizar las propiedades de este suelo, se realizan los siguientes ensayos de laboratorio:

- **Granulometría INV E 123 -13.**



Imagen 16. Suelo tipo afirmado color amarillo.

Fuente: Elaboración propia

Se obtiene la siguiente granulometría para el suelo en análisis (ver **Anexo 5**); también, se presenta la recomendada para afirmado expuesta en el artículo 311 de las Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras (2022) del Instituto Nacional de Vías (INVIAS).

Tabla 30. Granulometría del suelo tipo afirmado color amarillo.

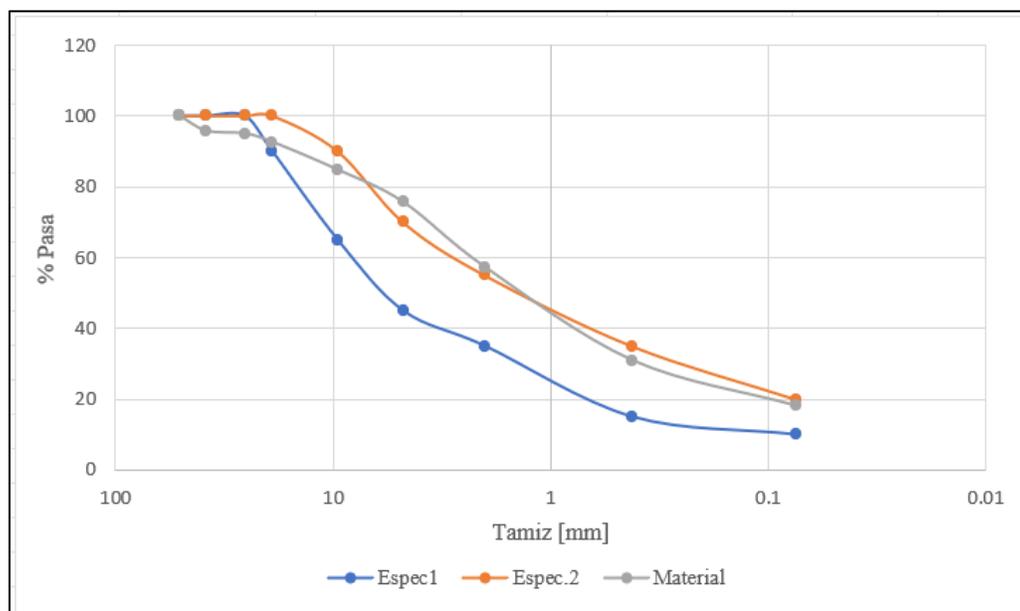
Tamiz		Peso [g]	Porcentaje [%]			Especificación Artículo 311-13	
Pulgada [in]	Milimetro [mm]	Retenido	Retenido	Ret. Acumulado	Pasa		
2"	50.8	0	0.00	0.00	100.00	100	100
1 1/2"	38.1	205	4.28	4.28	95.72	100	100
1"	25.4	35	0.73	5.01	94.99	100	100
3/4"	19	115	2.40	7.41	92.59	90	100
3/8"	9.51	375	7.84	15.25	84.75	65	90
No. 4	4.76	435	9.09	24.34	75.66	45	70
No. 10	2	880	18.39	42.73	57.27	35	55
No. 40	0.42	1260	26.33	69.06	30.94	15	35
No. 200	0.074	615	12.85	81.91	18.09	10	20
P/200	P/0.074	375	18.08	100.00	0.00		
Pasa 200 al lavar		490					

Fuente: Informe geotécnico clasificación de suelos y humedades (2023)

Tabla 31. Coeficientes de uniformidad y curvatura del suelo tipo afirmado color amarillo.

D60	2.4
D30	0.37
D10	0
Cu	0
CC	0

Fuente: Informe geotécnico clasificación de suelos y humedades (2023)



Gráfica 15. Curva granulométrica del suelo tipo afirmado color amarillo y de la especificación.

Fuente: Elaboración propia

Se observa que el suelo en análisis no cumple estrictamente con la curva granulométrica recomendada para afirmado, sin embargo, para realizar el mejoramiento físico por mezcla de suelos la propiedad que es fundamental no es la granulometría, es la Relación de Soporte del suelo (CBR).

De la información anterior es de destacar que el suelo de estudio es un material granular, con predominancia de arenas (Pasa No.4 > 50%) y tiene un alto contenido de finos (Pasa No.200 > 18%), el cual se debe estudiar mediante el ensayo de laboratorio Límites de Atterberg para ser clasificado.

- **Límites de Atterberg INV E 125, 126 -13.**

Se realiza en laboratorio el procedimiento para obtener los siguientes resultados (ver **Anexo 5**):

Tabla 32. Límites de Atterberg de la porción fina del suelo tipo afirmado.

Límite Líquido [LL]	28
Límite Plástico [LP]	17
Índice de Plasticidad [IP]	11
Clasificación [SUCS]	CL

Fuente: Informe geotécnico clasificación de suelos y humedades (2023)

Por la información obtenida anteriormente y según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), el material corresponde a una Arena Arcillosa (SC).

- **Relación de Soporte del suelo (CBR).**

Como se menciona anteriormente, el suelo es granular, pero clasificado como arena, además, tiene un contenido importante de finos, por tanto, se realiza el ensayo de Relación de Soporte (CBR) para suelos finos (ver **Anexo 10**); este comprende la realización de 12 moldes del mismo tamaño, 4 para cada una de las 3 energías de compactación, en las que se varía la cantidad de golpes en: 10 golpes (Proctor Estándar), 25 golpes (Proctor Intermedio) y 56 golpes (Proctor Modificado). En cada molde y para cada energía se considera un % de humedad del suelo diferente,

esto para analizar finalmente cómo afecta el conjunto (Humedad y Densidad) a la Relación de Soporte del suelo (CBR). (Instituto Nacional de Vías, 2013)

Para este proyecto y debido a que en un principio no se tenía conocimiento de que el suelo propuesto para mejoramiento es una Arena Arcillosa (SC). Se proyectó solo el transporte de una cantidad limitada de este material para el ensayo, es por esto, que, debido a la escasez, para cada energía se elaboran solo 3 moldes. Entendiendo esto, se realiza el ensayo de laboratorio.



Imagen 17. 100 kg de suelo tipo afirmado color amarillo.

Fuente: Elaboración propia

Primeramente, se realiza la compactación de los distintos moldes.



Imagen 18. Compactación de moldes CBR para el suelo tipo afirmado amarillo.

Fuente: Elaboración propia

Luego de compactados los moldes, el paso a seguir es llevar estos a la etapa de curado, la cual se hace por inmersión total durante 4 días. Simultáneamente a este paso, se realiza la medición diaria de expansión del suelo durante el tiempo total o hasta que la medición se estabilice.



Imagen 19. Curado de muestras y medición de expansión.

Fuente: Elaboración propia

Seguido a la etapa de curado, se realiza la penetración de los moldes en el equipo CBR.



Imagen 20. Penetración de los moldes.

Fuente: Elaboración propia

Finalmente se organizan, interpretan, grafican y analizan los resultados; a manera de resumen se presentan a continuación. (Ver **Anexo 10**).

Tabla 33. Resumen del ensayo de compactación.

RESUMEN DE ENSAYO COMPACTACIÓN						
Nº de PRUEBA	ENERGÍA DE COMPACTACIÓN					
	PROCTOR ESTÁNDAR		ENERGÍA INTERMEDIA		PROCTOR MODIFICADO	
	10		25		56	
	%w	Densidad seca [g/cm³]	%w	Densidad seca [g/cm³]	%w	Densidad seca [g/cm³]
1	10.6	1.704	8.9	1.856	6.5	1.926
2	14.3	1.760	11.6	1.929	8.6	2.082
3	16.9	1.700	13.1	1.899	11.4	1.981
RESULTADOS	%w _{óptima}	Densidad seca máxima [g/cm³]	%w _{óptima}	Densidad seca máxima [g/cm³]	%w _{óptima}	Densidad seca máxima [g/cm³]
	13.7	1.762	11.6	1.929	9.2	2.089

Fuente: Informe geotécnico Proctor y CBR suelo de mejoramiento (2023)

Tabla 34. Resumen de ensayo CBR suelo fino.

RESUMEN DE ENSAYO CBR SUELO FINO									
Nº de PRUEBA	ENERGÍA DE COMPACTACIÓN								
	PROCTOR ESTÁNDAR			ENERGÍA INTERMEDIA			PROCTOR MODIFICADO		
	10			25			56		
	%w	Lectura gráfica	CBR [%] 0.2"	%w	Lectura gráfica	CBR [%] 0.2"	%w	Lectura gráfica	CBR [%] 0.2"
1	10.6	48	3.2	8.9	260	17.3	6.5	500	33.3
2	14.3	142	9.5	11.6	481	32.1	8.6	810	54.0
3	16.9	22	1.5	13.1	230	15.3	11.4	370	24.7

Fuente: Informe geotécnico Proctor y CBR suelo de mejoramiento (2023)

A partir de la anterior información y siguiendo los lineamientos de la Norma INV 148 - 13, se realizan las siguientes 4 gráficas (ver **Anexo 10**):

- ✓ Gráfica 1: Humedad (%) vs CBR (%).
- ✓ Gráfica 2: Humedad (%) vs Expansión (%).
- ✓ Gráfica 3. Humedad (%) vs Densidad seca (g/cm³).
- ✓ Gráfica 4. CBR (%) vs Densidad seca (g/cm³).

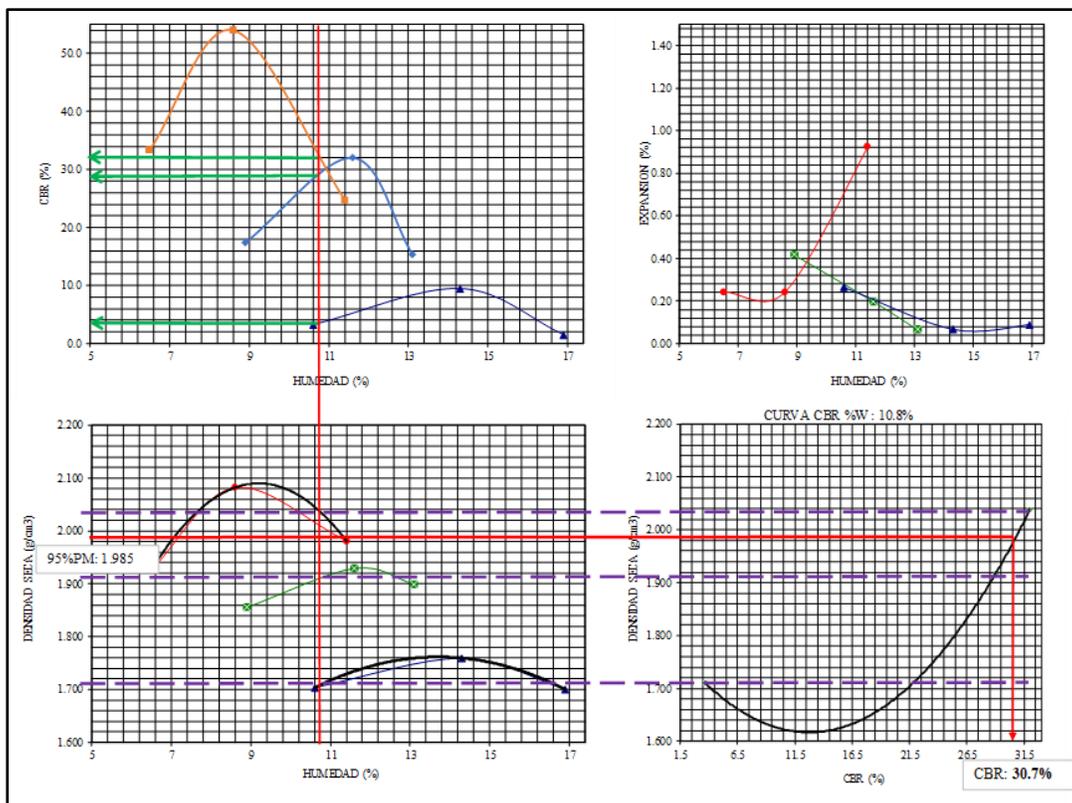


Figura 24. Gráficas para interpretación de CBR de suelo fino.

Fuente: Informe geotécnico Proctor y CBR suelo de mejoramiento (2023)

Para el mismo suelo se pueden obtener diferentes curvas Densidad seca (g/cm^3) vs CBR (%), variando el contenido de humedad, indistintamente de esto, el material se debe compactar al menos a un 95% del Proctor Modificado (PM). (Ministerio de Transporte & Instituto Nacional de Vías, 2022). Se hace el ejercicio de determinar qué valor de CBR se obtiene con esta densidad considerando una humedad de 10.8%, al final se obtiene un CBR del 30.7%.

Tabla 35. Ejemplo de un valor de CBR obtenido para una densidad y una humedad determinada.

CURVA CBR Para HUMEDAD (%W) 10.8% y DENSIDAD 95%PM		
Densidad máxima seca [g/cm^3] PM		2.089
95%PM		1.985
CURVA CBR		
PUNTO	Densidad seca [g/cm^3]	CBR [%]
1	1.710	3.7
2	1.917	29.0
3	2.038	32
95%PM	1.985	30.7

Fuente: Informe geotécnico Proctor y CBR suelo de mejoramiento (2023)

Se recomienda que el suelo se compacte a humedades entre 9.2% (% wóptima para Proctor Modificado) y 11%, con una alta energía de compactación, para así asegurar una densidad mayor a la especificada (95% PM) y, por tanto, un valor elevado de CBR (>30%).

Es de resaltar que los moldes estuvieron durante 4 días en inmersión para verificar el potencial expansivo de la porción fina del suelo tipo afirmado color amarillo, como se observa en la gráfica 2 (Humedad vs Expansión), las diferentes curvas no alcanzan el 2%, lo cual indica que el suelo no es expansivo, ya que según Universidad del Cauca et al. (2018) “Suelos con potencial expansivo que alcancen porcentajes de expansión en CBR mayores al 2% para condiciones de densidad, de humedad y de confinamiento imperantes en el ensayo, que se supone representan las de campo, presentan problemas que pueden afectar significativamente el comportamiento del pavimento”

Además, se puede compactar a altas energías sin sufrir el fenómeno del “resorte”

Por todo lo anterior, es evidente que el suelo puede llegar a presentar valores de CBR superiores al 30%, pero por recomendación del director de trabajo de grado, se utiliza un valor de $CBR = 12\%$ para los cálculos a realizar en la siguiente sección “Resistencia Ponderada de la Nueva Subrasante”.

10.1.3. RESISTENCIA PONDERADA DE LA NUEVA SUBRASANTE

El mejoramiento propuesto consiste en colocar sobre la subrasante el suelo especificado en la sección “Suelo Propuesto Para Mejoramiento”, de tal manera que estos dos suelos conformen la nueva subrasante mejorada.



Ilustración 8. Mejoramiento de subrasante con suelo de mejoramiento.

Fuente: Elaboración propia

Se pondera la Relación de Soporte del suelo (CBR) de ambos suelos, con base en cada uno de sus espesores; se recurre a la ecuación de Resistencia Ponderada de la Nueva Subrasante presentada por Jose Rafael Menendez Acurio en su libro Ingeniería de Pavimentos, Materiales y Variables Diseño. 4ta edición, página 76.

$$R = \frac{R_1 * D_1^3 + R_2 * D_2^3}{D_1^3 + D_2^3}$$

Donde:

R: Resistencia ponderada de la nueva subrasante

R₁: Resistencia del suelo 1

D₁: Espesor del suelo 1

R₂: Resistencia del suelo 2

D₂: Espesor del suelo 2

Se propone un mejoramiento con espesor de 35 centímetros, por lo que, en el metro de espesor de análisis, se tienen: 35 centímetros de mejoramiento y 65 centímetros de subrasante natural. Aunque, dentro de estos 65 centímetros de análisis de subrasante natural, se tienen 2 estratos, el primero es una arcilla de alta plasticidad “CH” analizada mediante ensayo de Relación de Soporte (CBR) y el segundo estrato es un limo de alta plasticidad “MH”, del cual no se tiene información directa de la Relación de Soporte (CBR), pero recordando los resultados expuestos en la sección “Ensayo Penetrómetro Dinámico de Cono (PDC)”, en el cual se precisa que a mayor profundidad, el suelo presenta mayor resistencia al hincado y sabiendo que existe una relación directa entre estos dos ensayos, se tiene idea de que el comportamiento del suelo MH es significativamente mejor que el CH (estrato superior).

La relación de soporte (CBR) ponderada es:

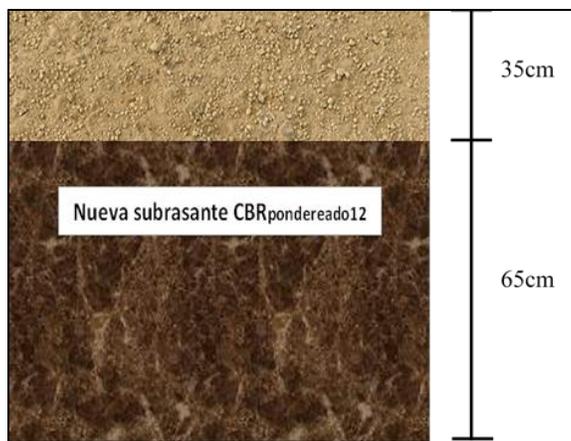


Ilustración 9. Propuesta de mejoramiento para subrasante.

Fuente: Elaboración propia

$$R_1: 2.02\% , D_1: 0.65m , R_2: 12\% , D_2: 0.35m$$

$$R = \frac{2.02\% * (0.65m)^3 + 12\% * (0.35m)^3}{(0.65m)^3 + (0.35m)^3} = 3.37\%$$

La Relación de Soporte del suelo (CBR) obtenida presenta un aumento significativo (*Aumento CBR* = 3.37% – 2.02% = 1.35%), con este nuevo valor (3.37%), la subrasante mejorada es clasificada como subrasante S2, según la Tabla 28. “Clasificación de la subrasante de acuerdo con su resistencia” del Manual de Diseño de Pavimentos de Concreto.

10.2. PROPUESTA DE DISEÑO

Como se menciona a lo largo del documento, este proyecto se realiza con el diseño de un pavimento rígido para las vías urbanas, el cual es aquel que fundamentalmente está constituido por una losa de concreto hidráulico, apoyada sobre la subrasante o sobre una capa de material seleccionado, la cual se denomina subbase del pavimento rígido. (Instituto Nacional de Vías (Colombia). 2018. *Glosario*).

Existen distintas metodologías para el diseño de la estructura, entre las más conocidas internacionalmente están: la metodología de diseño Portland Cement Association (PCA-1984), y la de American Association of State Highway And Transportation Officials (AASHTO). Teniendo

en cuenta esto, y considerando que en la Universidad del Cauca se enseña la metodología de diseño Portland Cement Association (PCA-1984) y es también recomendada por el director de trabajo de grado, se decide emplear esta para llevar a cabo en el proyecto.

10.2.1. METODOLOGÍA PORTLAND CEMENT ASSOCIATION (PCA-1984)

La metodología de diseño Portland Cement Association (PCA-1984), es aplicable a los distintos tipos de pavimentos rígidos:

- ✓ De concreto simple.
- ✓ De concreto simple con varillas de transferencia de cargas (pasadores).
- ✓ De concreto reforzado y con refuerzo continuo

y considera:

- ✓ Transferencia de cargas proporcionado en las juntas transversales, es decir, las losas no trabajan de manera independiente.
 - ✓ Bermas/Bordillos de concreto adyacentes a las losas que, generan confinamiento al concreto de las losas.
 - ✓ Subbases granulares naturales y estabilizadas.
 - ✓ Se rige bajo el chequeo de dos criterios de análisis: fatiga y erosión, para los cuales se presentan los pasos a seguir para calcular el porcentaje (%) de consumo del pavimento.
- **Análisis de fatiga:** para proteger el pavimento contra la acción de los esfuerzos producidos por las cargas repetitivas.
 - ✓ Determinar el tipo de berma.
 - ✓ Determinar esfuerzos equivalentes (σ_{eq}) en función del espesor de la losa, el módulo de reacción del conjunto subrasante-subbase granular (k) y el tipo de eje.
 - ✓ Calcular factores de relación de esfuerzos ($Fr\sigma$).

$$Fr\sigma = \sigma_{eq}/Mr$$

Mr: Módulo de rotura del concreto

- ✓ Determinar para cada carga el número admisible de repeticiones de carga (Nra) en función de los factores de relación de esfuerzo ($Fr\sigma$) para cada eje.
- ✓ Calcular el consumo de fatiga parcial (Cfp) para cada carga.

$$Cfp = (Nre/Nra) * 100\%$$

$Nre = \text{Número de repeticiones esperadas}$

- ✓ Calcular el consumo de fatiga total y compararlo con el valor admisible (100%).

$$Cft = \Sigma Cfp$$

- **Análisis de erosión:** para limitar los efectos de la deflexión del pavimento en los bordes de las losas, juntas, esquinas y controlar así la erosión de la fundación y de los materiales de las bermas.
- ✓ Determinar el tipo de berma y dovelas o pasadores.
- ✓ Determinar el factor de erosión (Fe) en función del espesor de la losa, el módulo de reacción del conjunto subrasante-subbase granular (k) y el tipo de eje.
- ✓ Determinar para cada carga el número admisible de repeticiones de carga (Nra) en función de los factores de erosión (Fe) para cada eje.
- ✓ Calcular el consumo de erosión parcial (Cep) para cada carga.

$$Cep = (Nre/Nra) * 100\%$$

$Nre = \text{Número de repeticiones esperadas}$

- ✓ Calcular el consumo de erosión total y compararlo con el valor admisible (100%).

$$Cet = \Sigma Cep$$

10.2.2. ESTRUCTURA DE PAVIMENTO PROPUESTA

La metodología de diseño Portland Cement Association (PCA-1984), requiere que se definan inicialmente (con base en las condiciones de la zona) las propiedades de los materiales y el espesor de las capas que conforman la estructura, esto para verificar el cumplimiento del conjunto a los análisis de fatiga y erosión. Además de que un óptimo diseño depende de estas variables, por ello, aunque no existen valores definidos como mínimos (propiedades de los materiales y espesor de las capas) para hacer el chequeo inicial y teniendo en cuenta que,

generalmente dichos valores dependen de la disponibilidad de recursos (fuentes de materiales, facilidad de transporte, aspectos económicos), la experiencia y criterio del diseñador; por recomendación del Director de trabajo de grado, se realiza el primer chequeo con lo que él sugiere con base en su experiencia es lo mínimo para este tipo de proyectos.

- ✓ Quince (15) centímetros de espesor de losa de concreto simple.
- ✓ Quince (15) centímetros de espesor de Subbase granular natural.
- ✓ Bermas a cada lado de la vía.
- ✓ Pasadores o Dovelas.

- **Losa de concreto.**

Para definir la calidad del concreto que se utiliza en el diseño, se tiene en cuenta que este debe ser construible con los agregados pétreos de la zona, como se menciona en la sección “Fuentes de Material” se consideran un par de fuentes hídricas para posible abastecimiento, pero debido a que la calidad de estos agregados puede no ser la mejor, se propone el concreto con la calidad mínima, esta se mide en la resistencia a la flexotracción (M_r) del concreto en una viga simple cargada en los tercios de la luz a los 28 días. (Instituto Nacional de Vías, 2013) (INV E - 414).

El módulo de rotura escogido para el concreto es de tres punto ocho (3.8) megapascuales, es decir, un concreto MR1, según el Manual de Diseño de Pavimentos de Concreto, Instituto Nacional de Vías (INVIAS).

Tabla 36. Valores de resistencias a la flexotracción del concreto (Módulo de rotura).

Descripción	Resistencia a la flexión (kg/cm^2)
MR1	38
MR2	40
MR3	42
MR4	45

Fuente: Instituto Nacional de Vías (INVIAS). 2008.

Los materiales que se empleen en la elaboración del concreto hidráulico, deben cumplir con las Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras (2022) del Instituto Nacional de Vías (INVIAS), que de manera general se presentan a continuación.

- ✓ Cemento hidráulico: artículo 501-22.
- ✓ Agregado fino: Requisitos de Calidad y Granulometría (artículo 630-22).
- ✓ Agregado grueso: Requisitos de Calidad y Granulometría (artículo 500-22).

- **Subbase Granular.**

Al igual que en la sección “Losa de Concreto” se prioriza el uso de agregados de fuentes presentes en la zona, la subbase granular también considera esto, por ello y debido a que la calidad de estos agregados puede no ser la mejor, se toma la calidad mínima; una “subbase granular clase C”, según el artículo 320-22 de las Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras (2022) del Instituto Nacional de Vías (INVIAS) y debe cumplir con los requisitos que allí se indican.

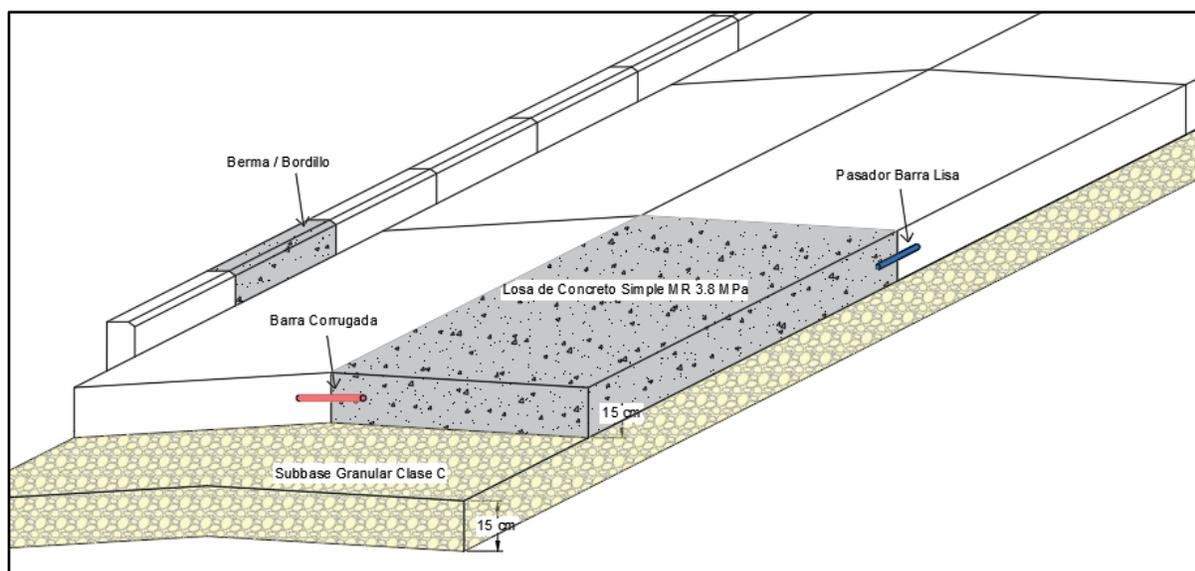


Ilustración 10. Estructura de Pavimento Propuesta.

Fuente: Elaboración Propia

10.2.3. ANÁLISIS DE FATIGA Y EROSIÓN DE LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO PROPUESTA

Para el chequeo del consumo por fatiga y erosión del pavimento se tienen los siguientes datos, los cuales se han obtenido a lo largo del desarrollo de este documento (ver **Anexo 11**):

- Tránsito esperado en el periodo de diseño.

Tabla 37. Tránsito de diseño

TRÁNSITO DE DISEÑO		
Eje	Carga [Ton]	Repeticiones Esperadas
SIMPLE RUEDA SIMPLE	11	200
Y DOBLE	6	3049
TANDEM	22	1900
	21	950
TRIDEM	24	950

Fuente: Elaboración propia

- Espesores de las capas y propiedades de los materiales.

Tabla 38. Espesor y características de los materiales.

LOSA DE CONCRETO SIMPLE	
Módulo de Rotura [MPa]	3.80
Espesor losa de concreto [cm]	15
SUBBASE GRANULAR CLASE C	
Espesor de capa Subbase granular [cm]	15
Adicional	SB natural (sin estabilización con cal o cemento)
SUBRASANTE MEJORADA	
Ponderación CBR	
R1 [%]	2.02
D1 [m]	0.65
R2 [%]	12
D2 [m]	0.35
CBR con mejoramiento [%]	3.37

Fuente: Elaboración propia

- Datos adicionales.

Tabla 39. Datos adicionales para el chequeo.

DATOS ADICIONALES
Calles residenciales, vías con bajo tránsito de camiones
Losa Con Dovelas y Con bermas
Periodo de diseño: 20 años

Fuente: Elaboración propia

Con los datos mencionados anteriormente y recordando que se usa la metodología de diseño Portland Cement Association (PCA-1984), se analiza el consumo por fatiga y erosión con la ayuda de tablas, gráficas y ecuaciones adaptadas de la (PCA-1984). (Ver **Anexo 12**).

10.2.3.1. ANÁLISIS DE FATIGA

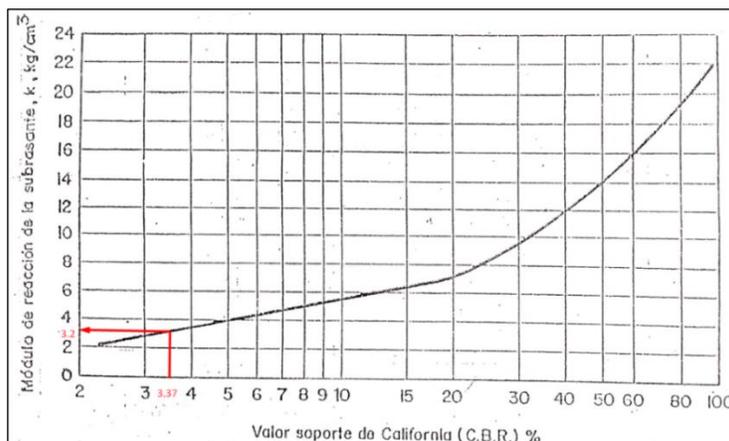
- **Determinar el tipo de berma:**

Con berma/bordillo a cada lado de la vía.

- **Determinar esfuerzos equivalentes (σ_{eq}):**

✓ Módulo de reacción (k)

Mediante correlación de Relación de Soporte del suelo (CBR) se halla el módulo de reacción (k) de la subrasante.



Gráfica 16. Correlación CBR - Módulo de reacción (k).

Fuente: Portland Cement Association (PCA), 1951

Para $CBR = 3.37\% \rightarrow k_{subrasante} = 3.2 \text{ kg/cm}^3 = 32 \text{ MPa/m}$

Se halla el módulo de reacción del conjunto subrasante-subbase granular (k) utilizando la tabla de subbase natural y el espesor de la misma.

Tabla 40. Módulo de reacción (k) del conjunto.

Valor de k para subrasante		Valor de k para subbase							
		100 mm		150 mm		225 mm		300 mm	
MPa/m	Lb/pulg ³	MPa/m	Lb/pulg ³	MPa/m	Lb/pulg ³	MPa/m	Lb/pulg ³	MPa/m	Lb/pulg ³
20	13	23	85	26	96	32	117	38	140
32	117	45	165	35.2	180	57	210	66	245
40	147	64	235	66	245	76	280	90	330
60	220	87	320	90	330	100	370	117	430
80	295								

Fuente: Portland Cement Association (PCA), 1984

$$k_{conjunto} = 35.2 \text{ MPa/m}$$

Para cada tipo de eje, se halla el esfuerzo equivalente (σ_{eq}) en función del espesor de la losa y el módulo de reacción del conjunto subrasante-subbase granular (k).

✓ Eje simple:

Tabla 41. Esfuerzo equivalente - Eje simple.

Espesor de losa (mm)	(Eje sencillo)						
	k del conjunto Subrasante/Subbase						
	20	40	60	80	140	180	
100	4.18	3.65	3.37	3.19	2.85	2.72	
110	3.68	3.23	2.99	2.83	2.55	2.43	
120	3.28	2.88	2.67	2.54	2.29	2.19	
130	2.95	2.60	2.41	2.29	2.07	1.99	
140	2.68	2.36	2.19	2.08	1.89	1.81	
150	2.44	2.15	2.00	1.90	1.73	1.65	
160	2.24	1.97	1.84	1.75	1.59	1.52	
170	2.06	1.82	1.70	1.62	1.48	1.42	
180	1.91	1.69	1.57	1.50	1.37	1.32	
190	1.77	1.57	1.46	1.40	1.28	1.23	
200	1.65	1.46	1.37	1.30	1.19	1.15	
210	1.55	1.37	1.28	1.22	1.12	1.08	
220	1.45	1.29	1.20	1.15	1.05	1.01	
230	1.37	1.21	1.13	1.08	0.99	0.96	
240	1.29	1.15	1.07	1.02	0.94	0.90	
250	1.22	1.08	1.01	0.97	0.89	0.85	
260	1.16	1.03	0.96	0.92	0.84	0.81	
270	1.10	0.98	0.91	0.87	0.80	0.77	
280	1.05	0.93	0.87	0.83	0.76	0.74	
290	1.00	0.89	0.83	0.79	0.73	0.70	
300	0.95	0.85	0.79	0.76	0.70	0.67	
310	0.91	0.81	0.76	0.72	0.67	0.64	
320	0.87	0.78	0.73	0.69	0.64	0.62	
330	0.84	0.74	0.70	0.67	0.61	0.59	
340	0.80	0.71	0.67	0.64	0.59	0.57	
350	0.77	0.69	0.64	0.61	0.57	0.55	

Fuente: Portland Cement Association (PCA), 1984

$$\sigma_{eq} = 2.22$$

✓ Eje Tándem:

Tabla 42. Esfuerzo equivalente - Eje tándem.

Espesor de losa (mm)	(Eje tándem)						
	k del conjunto Subrasante/Subbase						
	20	35.2	40	60	80	140	180
100	3.48		3.10	2.94	2.85	2.74	2.72
110	3.07		2.71	2.56	2.47	2.35	2.32
120	2.75		2.41	2.26	2.17	2.05	2.02
130	2.49		2.17	2.02	1.94	1.82	1.78
140	2.27		1.97	1.83	1.75	1.63	1.59
150	2.08	1.87	1.80	1.67	1.59	1.48	1.44
160	1.93		1.66	1.53	1.46	1.35	1.31
170	1.79		1.54	1.42	1.35	1.24	1.20
180	1.67		1.43	1.32	1.25	1.15	1.11
190	1.57		1.34	1.23	1.17	1.07	1.03
200	1.48		1.26	1.16	1.10	1.00	0.96
210	1.40		1.19	1.09	1.03	0.93	0.90
220	1.32		1.12	1.03	0.97	0.88	0.85
230	1.26		1.07	0.98	0.92	0.83	0.80
240	1.20		1.01	0.93	0.87	0.79	0.76
250	1.14		0.97	0.88	0.83	0.75	0.72
260	1.09		0.92	0.84	0.79	0.71	0.68
270	1.04		0.88	0.81	0.76	0.68	0.65
280	1.00		0.85	0.77	0.73	0.65	0.62
290	0.96		0.81	0.74	0.70	0.62	0.60
300	0.93		0.78	0.71	0.67	0.60	0.57
310	0.89		0.75	0.69	0.64	0.58	0.55
320	0.86		0.73	0.66	0.62	0.55	0.53
330	0.83		0.70	0.64	0.60	0.53	0.51
340	0.80		0.68	0.62	0.58	0.52	0.49
350	0.78		0.66	0.60	0.56	0.50	0.47

Fuente: Portland Cement Association (PCA), 1984

$$\sigma_{eq} = 1.87$$

✓ Eje Trídem: Se toma el denominador que significa "con berma".

Tabla 43. Esfuerzo equivalente - Eje trídem.

TABLA C1. ESFUERZO EQUIVALENTE - TRIDEMS							
(sin berma de concreto/con berma de concreto)							
ESPESOR DE LOSA (mm)	K Combinado (MPa/m)						180
	20	35.2	40	60	80	140	
100	3.36/2.87		3.10/2.67	3.02/2.60	2.98/2.57	2.94/2.56	2.93/2.57
110	2.92/2.50		2.64/2.29	2.55/2.22	2.50/2.18	2.45/2.16	2.44/2.16
120	2.60/2.20		2.30/2.00	2.20/1.93	2.14/1.89	2.09/1.85	2.07/1.85
130	2.35/1.97		2.04/1.78	1.93/1.70	1.87/1.66	1.80/1.61	1.79/1.61
140	2.15/1.78		1.83/1.59	1.72/1.52	1.65/1.48	1.59/1.43	1.55/1.42
150	1.99/1.62	1.48	1.67/1.44	1.55/1.37	1.48/1.33	1.40/1.27	1.37/1.26

Fuente: Portland Cement Association (PCA), 1984

$$\sigma_{eq} = 1.48$$

- **Calcular factores de relación de esfuerzos ($Fr\sigma$):**

Para cada tipo de eje se halla el factor de relación de esfuerzos ($Fr\sigma$), dividiendo el esfuerzo equivalente (σ_{eq}) entre el módulo de rotura.

$$Fr\sigma = \sigma_{eq}/Mr$$

Mr : Módulo de rotura del concreto

Tabla 44. Factor de relación de esfuerzos ($Fr\sigma$) para cada tipo de eje.

	Eje Simple Rueda Simple y Doble	Eje Tandem	Eje Tridem
Esfuerzos equivalentes (σ_{eq})	2.22	1.87	1.48
Módulo de Rotura [MPa]	3.80		
Factor de relación de esfuerzos ($Fr\sigma$): σ_{eq}/Mr	0.58	0.49	0.39

Fuente: Elaboración propia

- **Determinar para cada carga el número admisible de repeticiones de carga (Nra) en función de los factores de relación de esfuerzo ($Fr\sigma$) para cada eje:**

Antes de calcular el número admisible de repeticiones de carga, se debe hacer una conversión de unidades de Toneladas a kilo newtons y posteriormente aplicar un factor de seguridad, el cual depende del tipo de proyecto.

- ✓ **Factor de seguridad de carga según el tipo de proyecto:**

Tabla 45. Factor de seguridad de carga según el tipo de proyecto (Fsc).

Factor de seguridad de carga (Fsc)	Valor de Fsc
Para calles residenciales, vías con bajo tránsito de camiones	1
Para carreteras y vías urbanas arterias con tránsito moderado de vehículos pesados	1.1
Para vías de carriles múltiples, tránsito interrumpido, alto volumen de tránsito pesado	1.2

Fuente: Portland Cement Association (PCA), 1984

Para calles residenciales, vías con bajo tránsito de camiones. $Fsc = 1$.

✓ **Cargas de diseño en kN:**

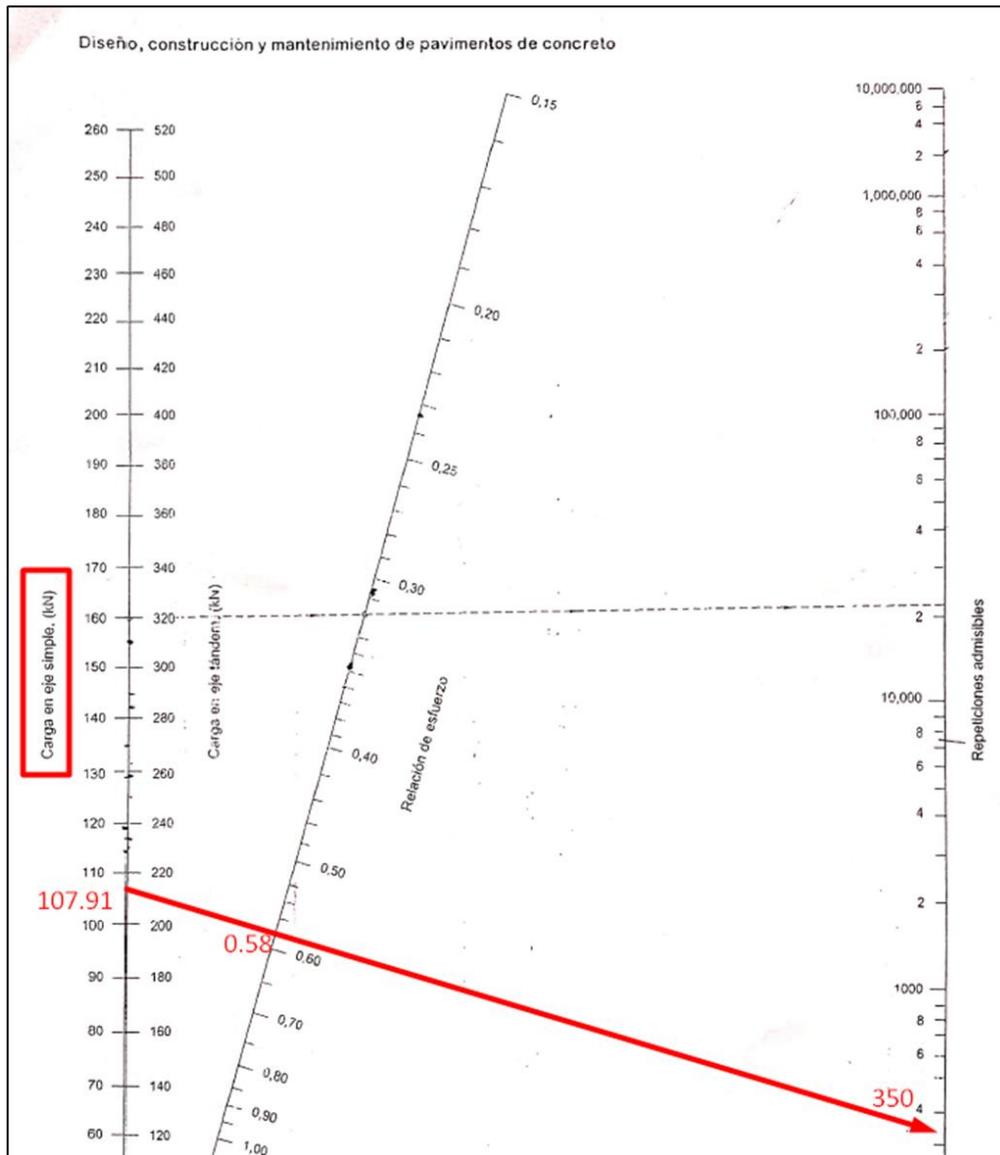
Tabla 46. *Cargas de diseño en kN.*

Carga [Ton]	Carga Eje [kN]	Carga*Fsc [kN]
Eje Simple Rueda Simple y Doble	g utilizada=9.81m/s ²	
11	107.91	107.91
6	58.86	58.86
Eje Tandem		
22	215.82	215.82
21	206.01	206.01
Eje Tridem		
24	235.44	235.44

Fuente: Elaboración propia

Con estos datos, y utilizando las gráficas correspondientes, se encuentra el número de repeticiones admisibles para cada carga de cada tipo de eje.

- ✓ **Eje Simple:** Se muestra el proceso que se realiza para la carga mayor, de manera análoga se hace para la menor.

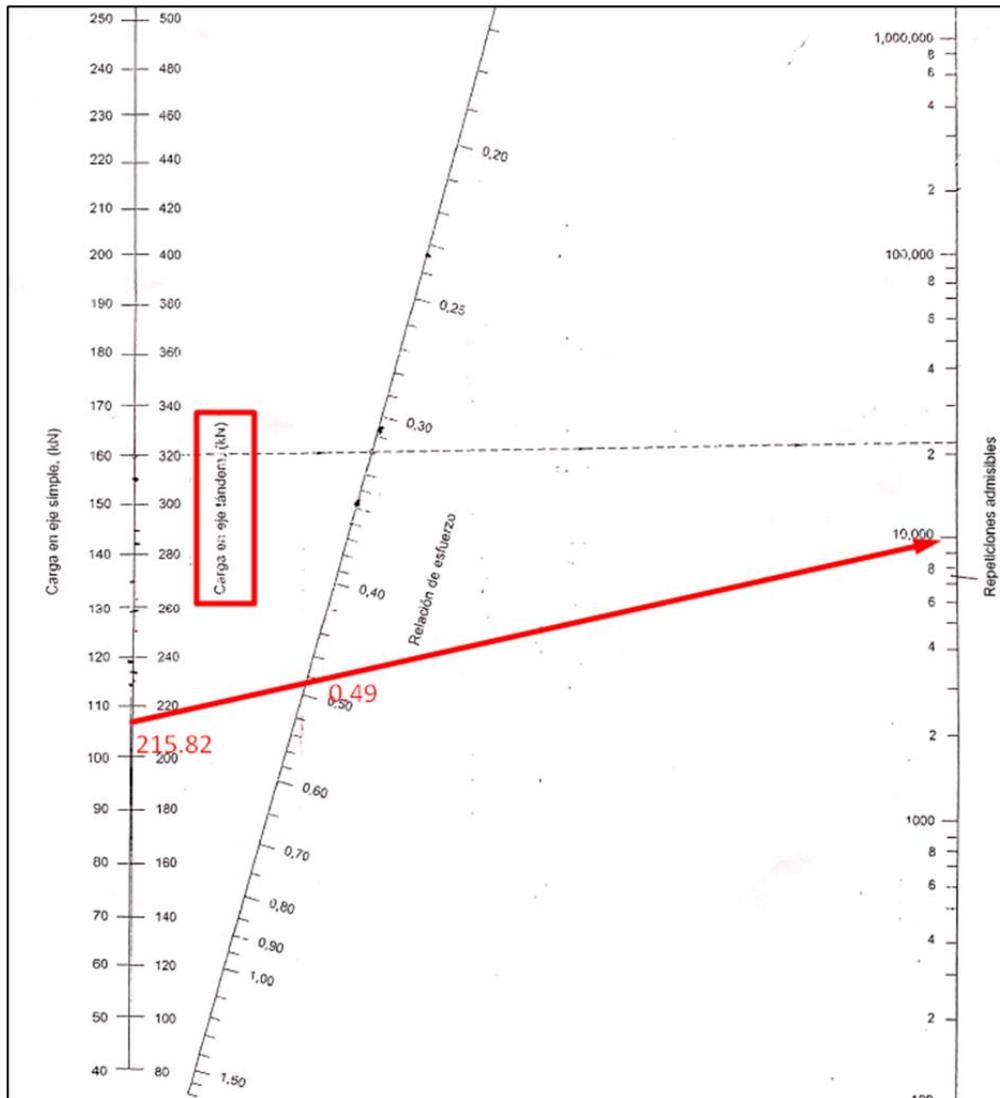


Gráfica 17. Número de repeticiones admisibles para eje simple.

Fuente: Portland Cement Association (PCA), 1984.

$$N_{ra} = 350$$

- ✓ **Eje Tándem:** Se muestra el proceso que se realiza para la carga mayor, de manera análoga se hace para la menor.

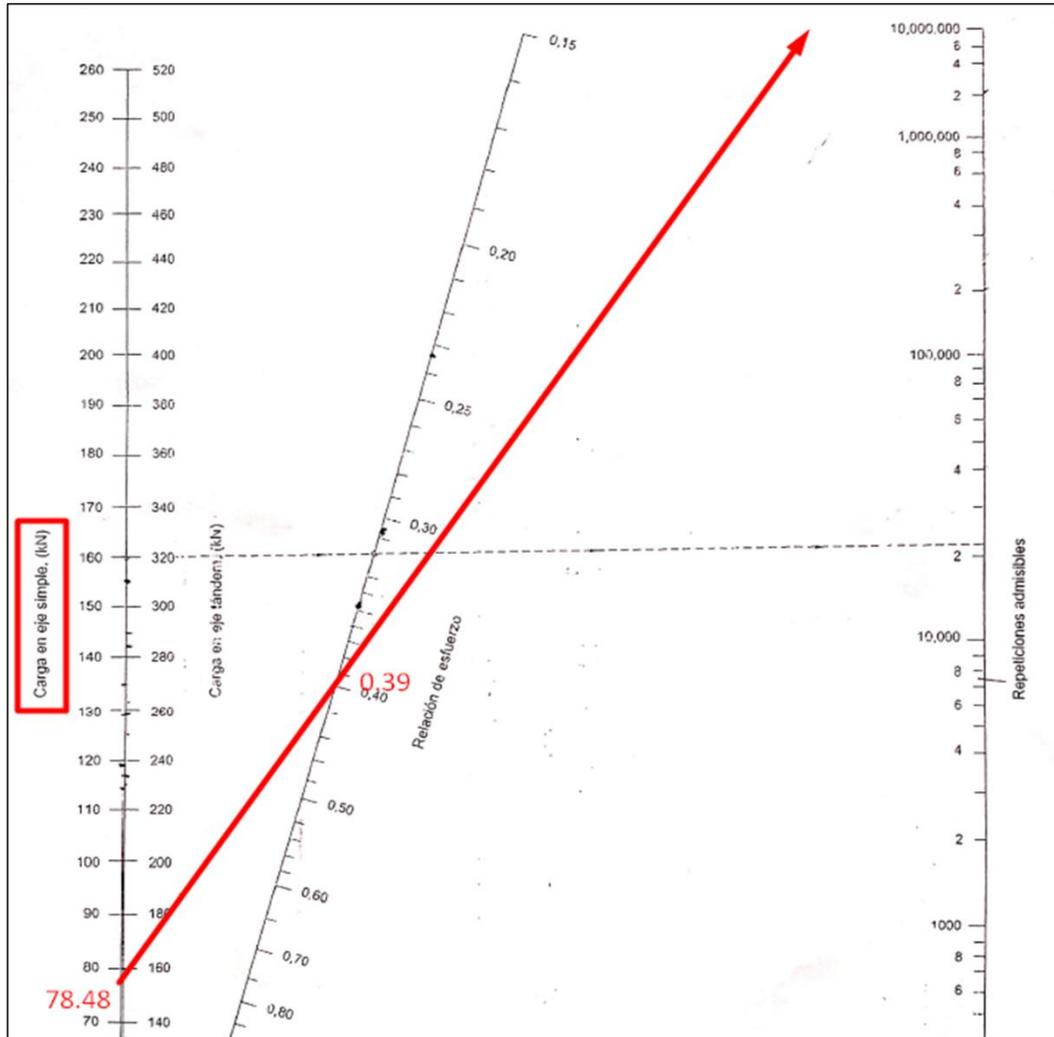


Gráfica 18. Número de repeticiones admisibles para eje tándem.

Fuente: Portland Cement Association (PCA), 1984.

$$N_{ra} = 10000$$

- ✓ **Eje Trídem:** Debido a que no existe una gráfica para este eje, se divide la carga entre 3 y se analiza en la gráfica de eje simple. ($235.44/3 = 78.48$ kN).



Gráfica 19. Número de repeticiones admisibles para eje trídem.

Fuente: Portland Cement Association (PCA), 1984.

Nra = ilimitado

- **Calcular el consumo de fatiga parcial (C_{fp}) para cada carga:**

Obtenidos los números admisibles de repeticiones de carga, y con el número de repeticiones esperadas del tránsito de diseño, se calcula el porcentaje de consumo parcial por fatiga, para cada carga de cada eje:

$$C_{fp} = (N_{re}/N_{ra}) * 100\%$$

N_{re} = Número de repeticiones esperadas

Tabla 47. % parcial de consumo por fatiga.

	Carga*Fsc [kN]	Número de repeticiones esperadas (N_{re})	Número de repeticiones admisibles (N_{ra})	% de Consumo por fatiga parcial (C_{fp})
			Ilimitado: No representa daño al pavimento	
Eje Simple Rueda Simple y Doble	107.91	200	350	57.14
	58.86	3049	ilimitado	0.00
Eje Tandem	215.82	1900	10000	19.00
	206.01	950	16000	5.94
Eje Tridem	235.44	950	ilimitado	0.00

Fuente: Elaboración propia

- **Calcular el consumo de fatiga total y compararlo con el valor admisible (100%):**

Tabla 48. % total de consumo por fatiga.

	Carga*Fsc [kN]	% de Consumo por fatiga parcial (C_{fp})
Eje Simple Rueda Simple y Doble	107.91	57.14
	58.86	0.00
Eje Tandem	215.82	19.00
	206.01	5.94
Eje Tridem	235.44	0.00
Consumo de fatiga total $C_{ft} = \sum C_{fp}$ [%]		82.08

Fuente: Elaboración propia

Se obtiene un porcentaje de **82.08% < 100%** por lo tanto, el pavimento **cumple el análisis de fatiga**

10.2.3.2. ANÁLISIS DE EROSIÓN

- **Determinar el tipo de berma y dovelas o pasadores:**

Con berma/bordillo a cada lado de la vía y con dovelas o pasadores en las juntas transversales.

- **Determinar el factor de erosión (Fe):**

Para cada tipo de eje se halla el Factor de erosión (Fe) en función del espesor de la losa y el módulo de reacción del conjunto subrasante-subbase granular (k).

- ✓ **Eje simple:**

Tabla 49. Factor de erosión - Eje simple.

Espesor de losa (mm)	(Eje sencillo)						
	k del conjunto Subrasante/Subbase						
	20	35.2	40	60	80	140	180
100	3.27		3.24	3.22	3.21	3.17	3.15
110	3.16		3.12	3.10	3.09	3.05	3.03
120	3.05		3.01	2.99	2.98	2.94	2.92
130	2.96		2.92	2.89	2.88	2.84	2.82
140	2.87		2.82	2.80	2.78	2.75	2.73
150	2.79		2.74	2.72	2.70	2.67	2.65
160	2.71		2.66	2.64	2.62	2.59	2.57
170	2.64		2.59	2.57	2.55	2.51	2.49
180	2.57		2.52	2.50	2.48	2.44	2.42
190	2.51		2.46	2.43	2.41	2.38	2.36
200	2.45		2.40	2.37	2.35	2.31	2.30
210	2.39		2.34	2.31	2.29	2.26	2.24
220	2.34		2.29	2.26	2.24	2.20	2.18
230	2.29		2.23	2.21	2.19	2.15	2.13
240	2.24		2.18	2.16	2.13	2.10	2.08
250	2.19		2.14	2.11	2.09	2.05	2.03
260	2.15		2.09	2.06	2.04	2.00	1.98
270	2.10		2.05	2.02	2.00	1.96	1.94
280	2.06		2.01	1.98	1.95	1.91	1.89
290	2.02		1.97	1.93	1.91	1.87	1.85
300	1.98		1.93	1.90	1.87	1.83	1.81
310	1.95		1.89	1.86	1.84	1.79	1.77
320	1.91		1.85	1.82	1.80	1.76	1.74
330	1.87		1.82	1.78	1.76	1.72	1.70
340	1.84		1.78	1.75	1.73	1.69	1.67
350	1.81		1.75	1.72	1.69	1.65	1.63

Fuente: Portland Cement Association (PCA), 1984.

$$Fe = 2.75$$

✓ **Eje Tándem:**

Tabla 50. Factor de erosión - Eje tándem.

Espesor de losa (mm)	(Eje tándem)					
	k del conjunto Subrasante/Subbase					
	20	40	60	80	140	180
100	3,25	3,17	3,14	3,12	3,11	3,11
110	3,16	3,07	3,03	3,00	2,98	2,97
120	3,08	2,98	2,93	2,90	2,86	2,84
130	3,01	2,90	2,85	2,81	2,76	2,74
140	2,94	2,83	2,77	2,74	2,67	2,65
150	2,88	2,77	2,71	2,67	2,60	2,57
160	2,82	2,71	2,65	2,60	2,53	2,50
170	2,77	2,65	2,59	2,55	2,46	2,43
180	2,72	2,60	2,54	2,49	2,41	2,37
190	2,67	2,56	2,49	2,44	2,35	2,32
200	2,63	2,51	2,44	2,40	2,31	2,27
210	2,58	2,47	2,40	2,35	2,26	2,22
220	2,54	2,43	2,36	2,31	2,22	2,18
230	2,50	2,39	2,32	2,27	2,18	2,13
240	2,46	2,35	2,28	2,23	2,14	2,10
250	2,43	2,31	2,24	2,20	2,10	2,06
260	2,39	2,28	2,21	2,16	2,07	2,02
270	2,36	2,24	2,18	2,13	2,03	1,99
280	2,32	2,21	2,14	2,10	2,00	1,96
290	2,29	2,18	2,11	2,06	1,97	1,93
300	2,26	2,15	2,08	2,03	1,94	1,90
310	2,23	2,12	2,05	2,01	1,91	1,87
320	2,20	2,09	2,03	1,98	1,88	1,84
330	2,17	2,06	2,00	1,95	1,86	1,81
340	2,15	2,04	1,97	1,92	1,83	1,79
350	2,12	2,01	1,95	1,90	1,80	1,76

Fuente: Portland Cement Association (PCA), 1984.

$$Fe = 2.8$$

✓ **Eje Trídem:** Se toma el denominador que significa "con berma".

Tabla 51. Factor de erosión - Eje trídem.

TABLA C2. FACTORES DE EROSION-TRIDEMS-JUNTAS CON PASADORES
(sin berma de concreto/con berma de concreto)

ESPESOR DE LOSA (mm)	K Combinado (MPa/m)					
	20	40	60	80	140	180
100	3.86/3.27	3.90/3.17	3.75/3.13	3.71/3.12	3.62/3.07	3.56/3.03
110	3.76/3.19	3.69/3.07	3.65/3.02	3.62/3.00	3.53/2.95	3.43/2.92
120	3.68/3.12	3.60/2.99	3.56/2.93	3.52/2.90	3.45/2.85	3.40/2.82
130	3.60/3.06	3.51/2.92	3.47/2.85	3.44/2.81	3.37/2.76	3.33/2.73
140	3.53/3.00	3.43/2.86	3.39/2.78	3.36/2.74	3.29/2.67	3.26/2.64
150	3.47/2.95	3.36/2.80	3.31/2.73	3.29/2.67	3.22/2.59	3.19/2.56

Fuente: Portland Cement Association (PCA), 1984.

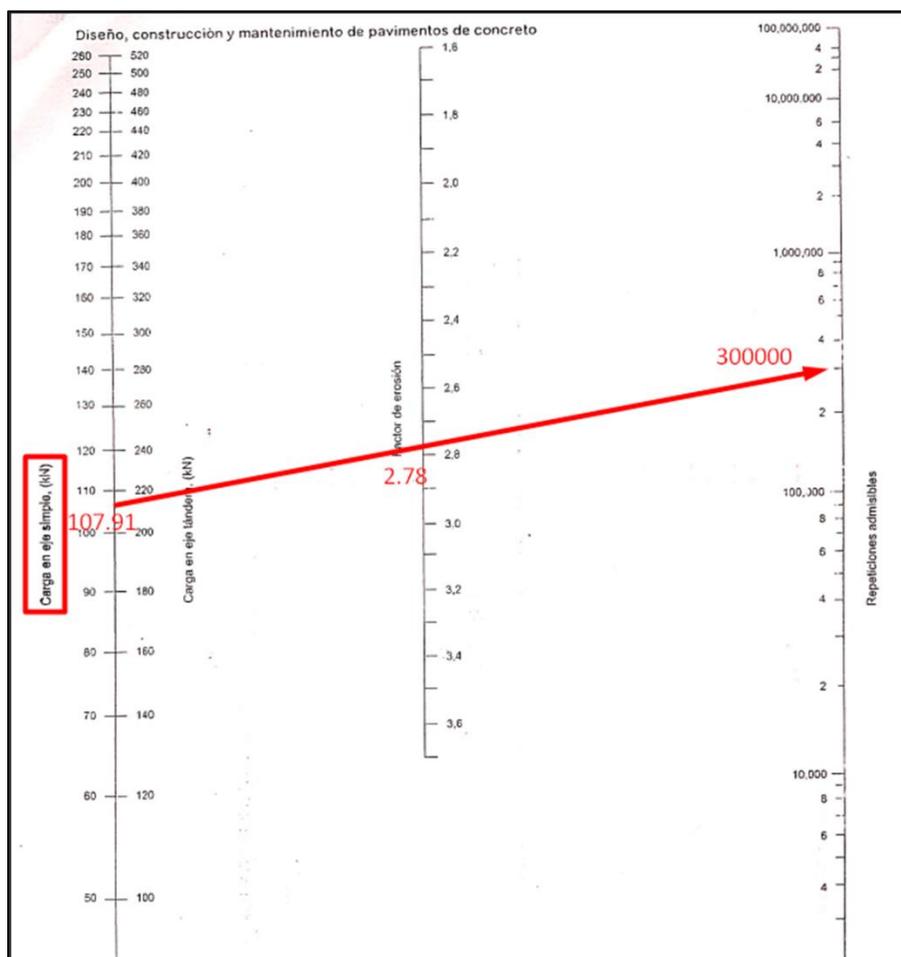
$$Fe = 2.84$$

Tabla 52. Factor de erosión (Fe) para cada tipo de eje.

	Eje Simple Rueda Simple	Eje Tandem	Eje Tridem
Factor de erosión (Fe)	2.78	2.8	2.84

Fuente: Elaboración propia

- **Determinar para cada carga el número admisible de repeticiones de carga (Nra) en función de los factores de erosión (Fe) para cada eje.**
- ✓ **Eje Simple:** Se muestra el proceso que se realiza para la carga mayor, de manera análoga se hace para la menor.

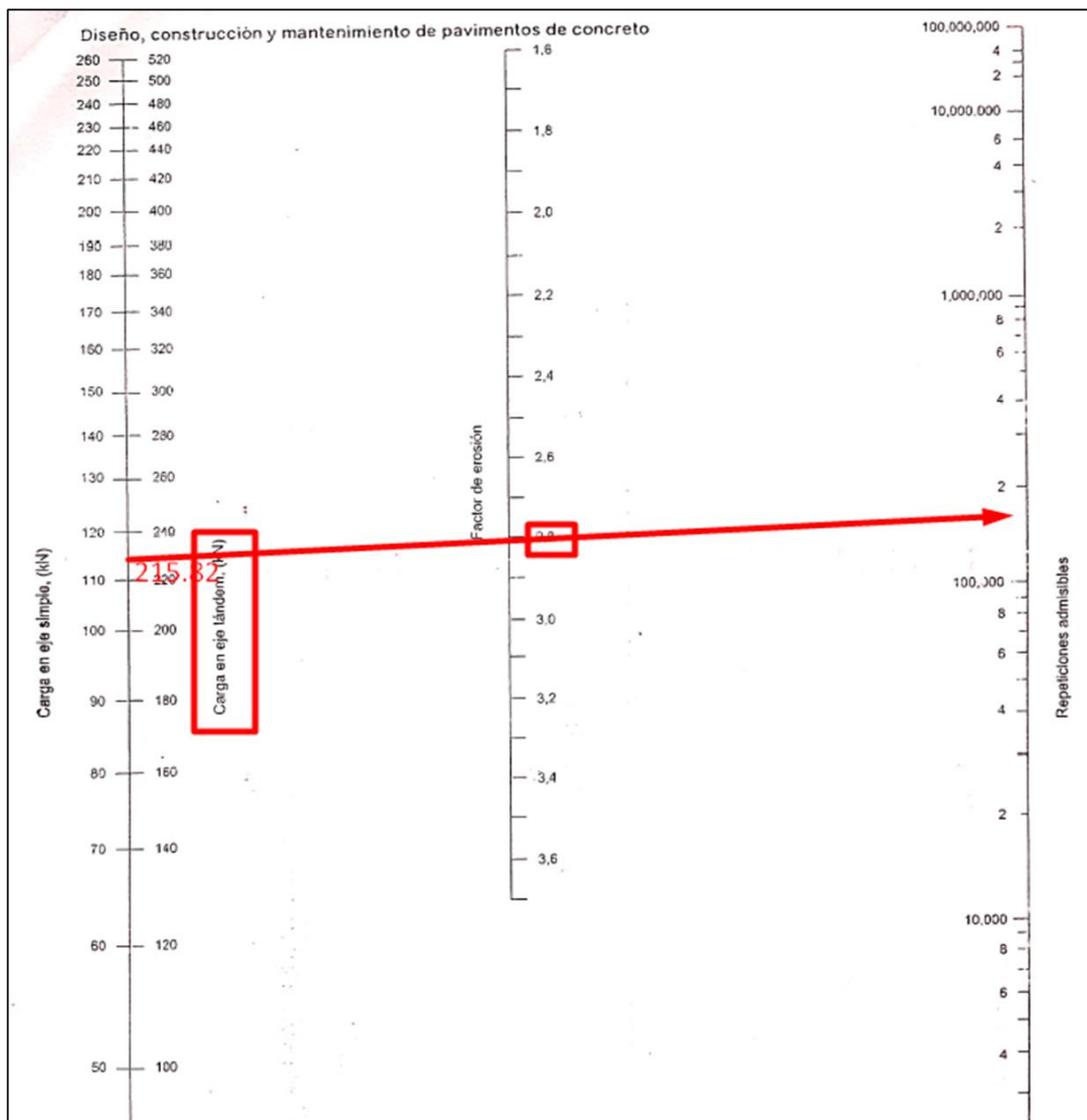


Gráfica 20. Número de repeticiones admisibles para eje simple.

Fuente: Portland Cement Association (PCA), 1984.

$$Nra = 300000$$

- ✓ **Eje Tándem:** Se muestra el proceso que se realiza para la carga mayor, de manera análoga se hace para la menor.

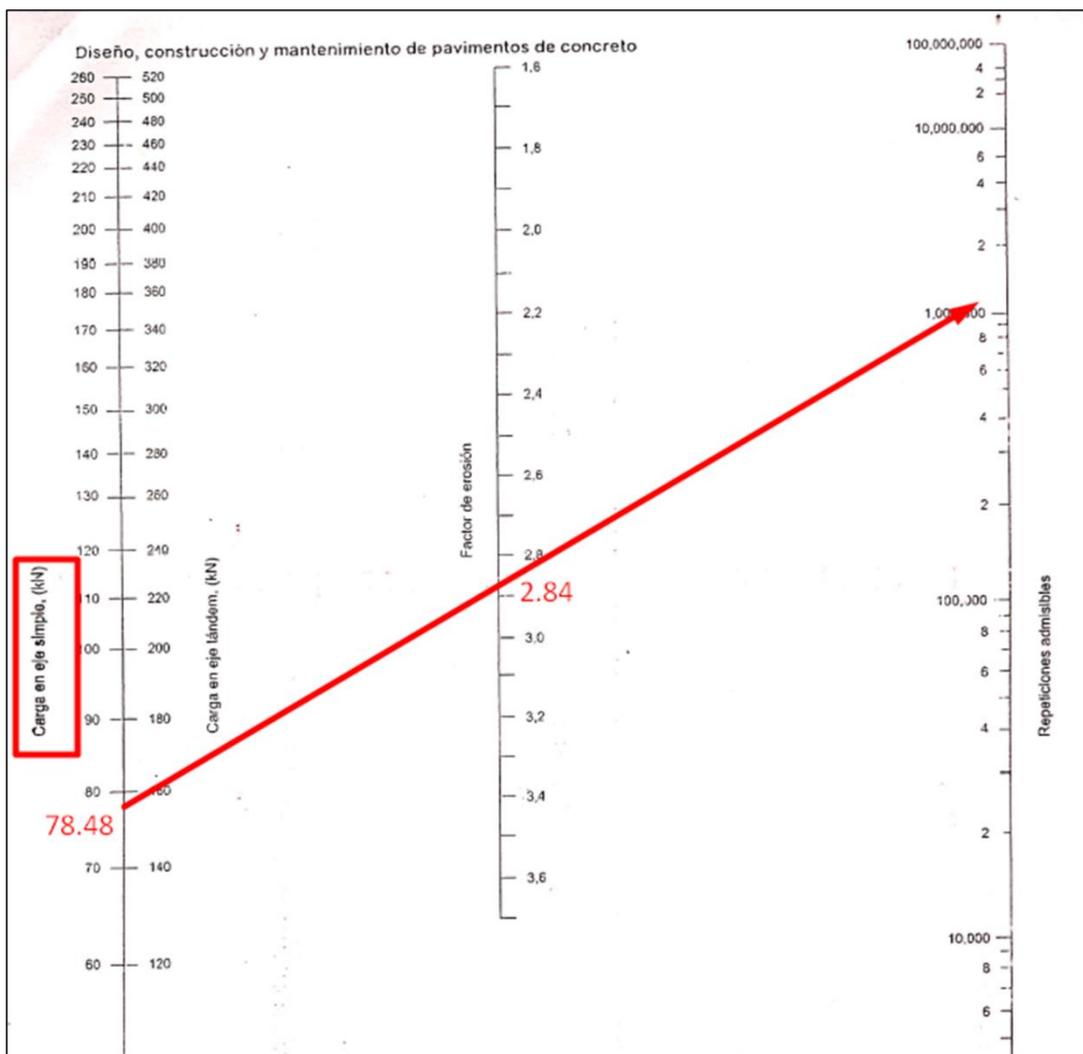


Gráfica 21. Número de repeticiones admisibles para eje tándem.

Fuente: Portland Cement Association (PCA), 1984.

$$Nra = 180000$$

- ✓ **Eje Trídem:** Debido a que no existe una gráfica para este eje, se divide la carga entre 3 y se analiza en la gráfica de eje simple. ($235.44/3 = 78.48$ kN).



Gráfica 22. Número de repeticiones admisibles para eje trídem.

Fuente: Portland Cement Association (PCA), 1984.

$$N_{ra} = 1100000$$

- **Calcular el consumo de erosión parcial (C_{ep}) para cada carga.**

Obtenidos los números admisibles de repeticiones de carga, y con el número de repeticiones esperadas del tránsito de diseño, se calcula el porcentaje de consumo parcial por erosión, para cada carga de cada eje:

$$Cep = (Nre/Nra) * 100\%$$

$Nre =$ Número de repeticiones esperadas

Tabla 53. % parcial de consumo por erosión.

	Carga*Fsc [kN]	Número de repeticiones esperadas (Nre)	Número de repeticiones admisibles (Nra)	% de Consumo por erosión parcial (Cep)
			Ilimitado: No representa daño al pavimento	
Eje Simple Rueda	107.91	200	300000	0.07
Simple y Doble	58.86	3049	ilimitado	0.00
Eje Tandem	215.82	1900	180000	1.06
	206.01	950	300000	0.32
Eje Tridem	235.44	950	1100000	0.09

Fuente: Elaboración propia

- Calcular el consumo de erosión total y compararlo con el valor admisible (100%).

Tabla 54. % total de consumo por erosión.

	Carga*Fsc [kN]	% de Consumo por erosión parcial (Cep)
Eje Simple Rueda	107.91	0.07
Simple y Doble	58.86	0.00
Eje Tandem	215.82	1.06
	206.01	0.32
Eje Tridem	235.44	0.09
Consumo de erosión total $Cet = \sum Cep$ [%]		1.53

Fuente: Elaboración propia

Se obtiene un porcentaje de 1.53% < 100% por lo tanto, el pavimento cumple el análisis de erosión

De acuerdo a los resultados obtenidos para el análisis de fatiga y erosión, es evidente que para esta propuesta de diseño predomina el consumo por fatiga, al ser significativamente mayor

que el consumo por erosión; de igual forma ambos criterios están dentro del rango admisible y se chequea que la estructura propuesta cumple satisfactoriamente con los requerimientos.

Cabe mencionar que, tanto el análisis de fatiga como el de erosión, cumplen teóricamente cuando son menores al 100%, sin embargo, por recomendación del director de trabajo de grado, resulta más práctico y más seguro realizar el análisis para ambos criterios cerca al 80%.

10.3. MODULACIÓN DE LOSAS DE CONCRETO SIMPLE

Las dimensiones de las losas de concreto simple en pavimentos rígidos obedecen al diseño en planta de la vía, las características de la estructura y al acomodo de las mismas. Principalmente estas dimensiones se diseñan en función del espaciamiento entre juntas, las cuales cumplen la función de mitigar el efecto de retracción por temperatura y alabeo al que se ven sometidas las losas (Benavides Bastidas, C., 2020). Estas son:

Espaciamiento entre juntas longitudinales (Ancho).

Estas están espaciadas al ancho del carril, es decir, para una calzada de 2 carriles, existen 3 juntas longitudinales, las cuales se ubican de manera simétrica en la vía.

Espaciamiento entre juntas transversales (Largo).

El espaciamiento máximo de estas, está ligado al método de diseño que se esté utilizando, generalmente cada uno presenta recomendaciones o dimensiones máximas.

10.3.1. ESPACIAMIENTO ENTRE JUNTAS

- **Juntas longitudinales.**

Teniendo en cuenta que el proyecto comprende una vía de una calzada con doble carril, y siguiendo las recomendaciones hechas por el Esquema de Ordenamiento Territorial (EOT), el cual indica que para vías secundarias el ancho de calzada es 6.5, se obtiene que las juntas longitudinales están separadas 3.25m (ancho del carril).

- **Juntas transversales.**

Como lo indica la metodología de diseño American Association of State Highway and Transportation Officials de 1993 (AASHTO-93), la separación de las juntas está en función del espesor de la losa de concreto simple y el tipo de subbase considerada.

$$L = 24 * h$$

Donde:

L: Separación máxima de juntas transversales.

h: Espesor de la losa de concreto.

El valor constante “24” presente en la ecuación es el recomendado para subbases granulares naturales.

$$L = 24 * 0.15m = 3.6m$$

Teóricamente se obtiene una separación máxima entre juntas transversales de 3.6 metros, pero, constructivamente se adopta un largo estándar para las losas de concreto simple de 3.5 metros.

- **Relación entre las dimensiones de la losa.**

Las distintas metodologías de diseño recomiendan que la relación entre el largo y ancho de la losa esté entre 1.0 y 1.4, buscando tener losas cuadradas.

$$3.6m/3.25m = 1.1, 1 < 1.1 < 1.4 \text{ Verificación Satisfactoria}$$

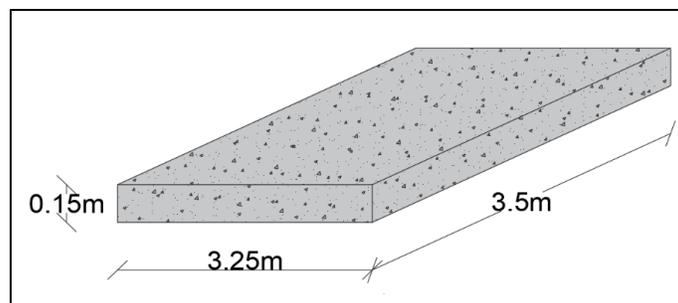


Ilustración 11. Losa estándar.

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a lo anterior, se obtiene unas medidas para una losa estándar en el proyecto, sin embargo, técnicamente se sabe que en las vías no todas las losas tienen las mismas dimensiones, ya que la longitud no siempre permite acomodar un número entero de losas, también están las intersecciones o desvíos y demás situaciones que causan el desacomodo simétrico de las mismas, es por esto, que en casos puntuales no se puede garantizar que todas las losas cumplan con estas dimensiones, haciendo que se deba considerar el suministro de refuerzo.

10.4. DISEÑO DE JUNTAS

Las juntas además de controlar el agrietamiento longitudinal y transversal del pavimento, se encargan de proveer una adecuada transferencia de carga entre las losas (Toxement, 2012), es decir, estas trabajan de manera conjunta y no de manera independiente ante la acción de una carga, lo que permite mantener la capacidad estructural del pavimento y su calidad de servicio durante el periodo de diseño.

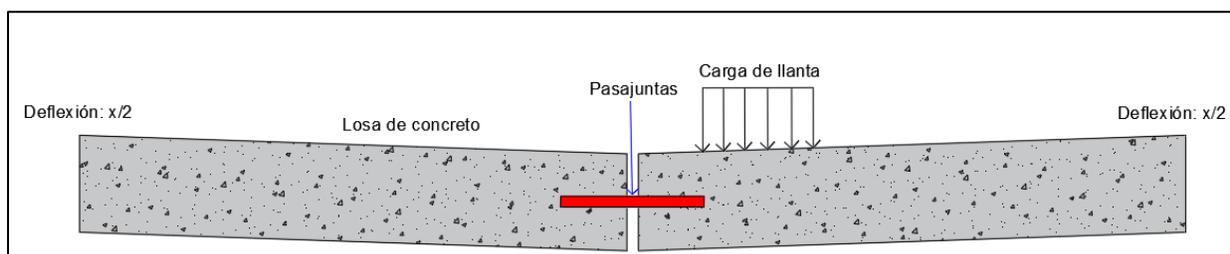


Ilustración 12. Efectividad de un Pasajuntas.

Fuente: Elaboración propia

El pasajuntas puede ser de 2 tipos:

- ✓ Barra de anclaje corrugada (se usa en juntas longitudinales).
- ✓ Barra de transferencia lisa o pasador liso (se usa en juntas transversales).

10.4.1. JUNTAS LONGITUDINALES

La escogencia del diámetro de la barra y el esfuerzo de fluencia del acero, dependen del criterio del diseñador, teniendo en cuenta que lo más usual es inclinarse hacia los productos comerciales.

Con la tabla presentada en el Manual de Diseño de Pavimentos de Concreto del Instituto Nacional de Vías (INVIAS) del 2008. Para diseño de juntas y anclajes (ver **Anexo 12**), en función del espesor de la losa de concreto, se encuentran recomendaciones para las longitudes de las barras y la separación de las mismas.

Tabla 55. Recomendaciones para las barras de anclaje.

Espesor de losa (mm)	Barras de ϕ 9,5 mm (3/8")			Barras de ϕ 12,7 mm (1/2")			Barras de ϕ 15,9 mm (5/8")					
	Longitud (m)	Separación entre barras según el ancho del carril (m)			Longitud (m)	Separación entre barras según el ancho del carril (m)			Longitud (m)	Separación entre barras según el ancho del carril (m)		
		3,05 (m)	3,35 (m)	3,65 (m)		3,05 (m)	3,35 (m)	3,65 (m)		3,05 (m)	3,35 (m)	3,65 (m)
Acero de $f_y = 187,5$ MPa (40.000 psi)												
150	0,45	0,80	0,75	0,65	0,60	1,20	1,20	1,20	0,70	1,20	1,20	1,20
175		0,70	0,60	0,55		1,20	1,10	1,00		1,20	1,20	1,20
200		0,60	0,55	0,50		1,05	1,00	0,90		1,20	1,20	1,20
225		0,55	0,50	0,45		0,85	0,85	0,80		1,20	1,20	1,20
250		0,45	0,45	0,40		0,85	0,80	0,70		1,20	1,20	1,10
Acero de $f_y = 280$ MPa (60.000 psi)												
150	0,65	1,20	1,10	1,00	0,85	1,20	1,20	1,20	1,00	1,20	1,20	1,20
175		1,05	0,95	0,85		1,20	1,20	1,20		1,20	1,20	1,20
200		0,90	0,80	0,75		1,20	1,20	1,20		1,20	1,20	1,20
225		0,80	0,75	0,65		1,20	1,20	1,20		1,20	1,20	1,20
250		0,70	0,65	0,60		1,20	1,15	1,10		1,20	1,20	1,20

Fuente: Instituto Nacional de Vías (Colombia) et al., 2008.

Se define lo siguiente para el pasajuntas “Barra de anclaje corrugada”:

- ✓ Barra N°4 de diámetro 1/2 pulgadas o 12.7 milímetros.

- ✓ Esfuerzo de fluencia del acero de 60000 libras por pulgada cuadrada (psi) o 420 megapascales.
- ✓ Longitud de 85 centímetros.
- ✓ Separación centro a centro entre barras de 80 centímetros, máximo 120 centímetros.

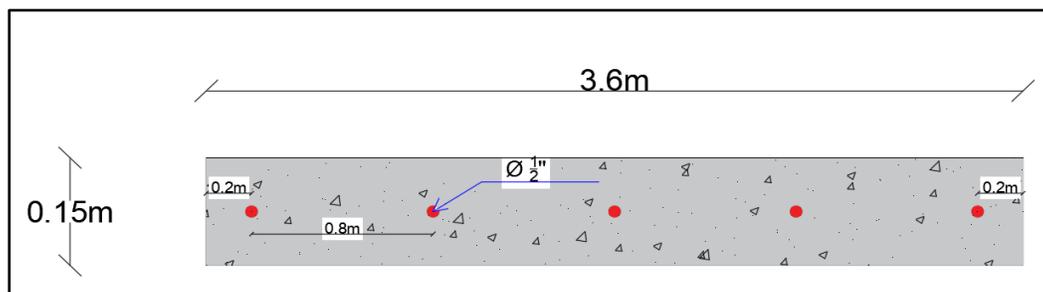


Ilustración 13. Distribución de las barras de anclaje en la junta longitudinal.

Fuente: Elaboración propia

10.4.2. JUNTAS TRANSVERSALES

Con la tabla presentada en el Manual de Diseño de Pavimentos de Concreto del Instituto Nacional de Vías (INVIAS) del 2008. Para diseño de juntas y anclajes (ver **Anexo 12**), en función del espesor de la losa de concreto, se determina el diámetro mínimo del pasador liso, así como las longitudes y la separación de los mismos.

Tabla 56. Requisitos mínimos para las dovelas en las juntas.

Espesor del pavimento	Diámetro del pasador		Longitud	Separación entre centros
	mm	Pulgada		
0 - 100	13	1/2	250	300
110 - 130	16	5/8	300	300
140 - 150	19	3/4	350	300
160 - 180	22	7/8	350	300
190 - 200	25	1	350	300
210 - 230	29	1 1/8	400	300
240 - 250	32	1 1/4	450	300
260 - 280	35	1 3/8	450	300
290 - 300	38	1 1/2	500	300

Fuente: Instituto Nacional de Vías (Colombia) et al., 2008.

Se define lo siguiente para el pasajuntas “Pasador liso”:

- ✓ Diámetro 3/4 pulgadas o 19.1 milímetros.
- ✓ Esfuerzo de fluencia del acero mínimo de 280 megapascuales.
- ✓ Longitud de 35 centímetros.
- ✓ Separación centro a centro entre barras de 30 centímetros.

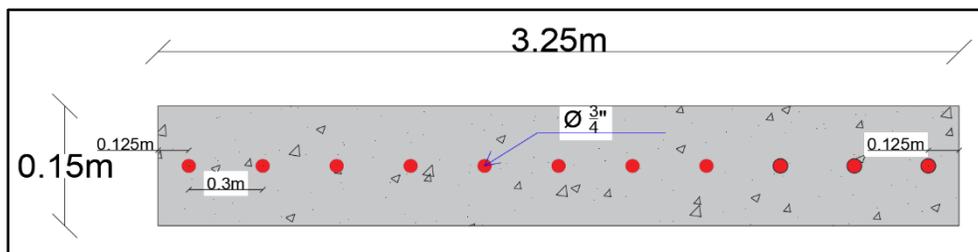


Ilustración 14. Distribución de los pasadores lisos en la junta longitudinal.

Fuente: Elaboración propia

10.4.3. DETALLE DE LAS JUNTAS LONGITUDINALES Y TRANSVERSALES

Las juntas están conformadas por dos partes, la primera es la ampliación de la junta que contiene un cordón de poliuretano en el fondo y un sellante frío para juntas de concreto hasta la superficie; la segunda es la grieta inducida para la trabazón de agregados en lo profundo de la losa de concreto (Toxement, 2012). Lo anterior se garantiza con un correcto proceso constructivo.

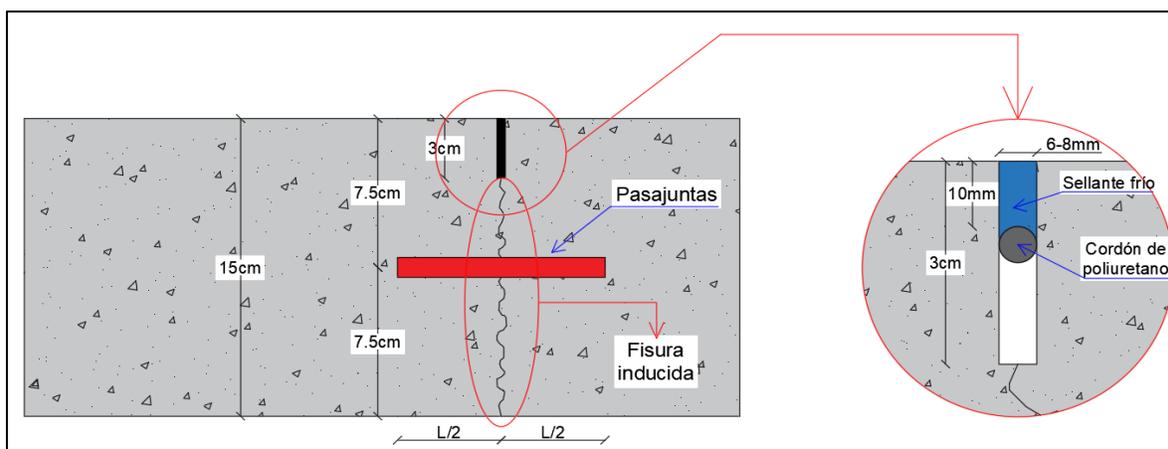


Ilustración 15. Detalle constructivo de las juntas longitudinales y transversales.

Fuente: Elaboración propia

11. DISEÑO GEOMÉTRICO DE VÍAS

A continuación, se resume el proceso para el diseño geométrico de las vías, para mayor detalle ver el **Anexo 13**.

El diseño geométrico de vías se realiza sobre el modelo digital del terreno (ver **Anexo 4**), producto del levantamiento topográfico del proyecto; se utilizan los softwares Topo3 y AutoCAD bajo licencias estudiantiles de la Universidad del Cauca.

Inicialmente se definen los parámetros generales de diseño para cada eje de vía.

- ✓ Categoría de la vía.
- ✓ Sección transversal.
- ✓ Bombeo: 2%
- ✓ Velocidad de diseño: 20 km/h
- ✓ Especificaciones de diseño geométrico.
- ✓ Vehículo de diseño: C2
- ✓ Elementos adicionales: Andén, Bordillo

Se establece la sección transversal y dimensiones de los elementos adicionales, con base en la información del Esquema de Ordenamiento Territorial (EOT).

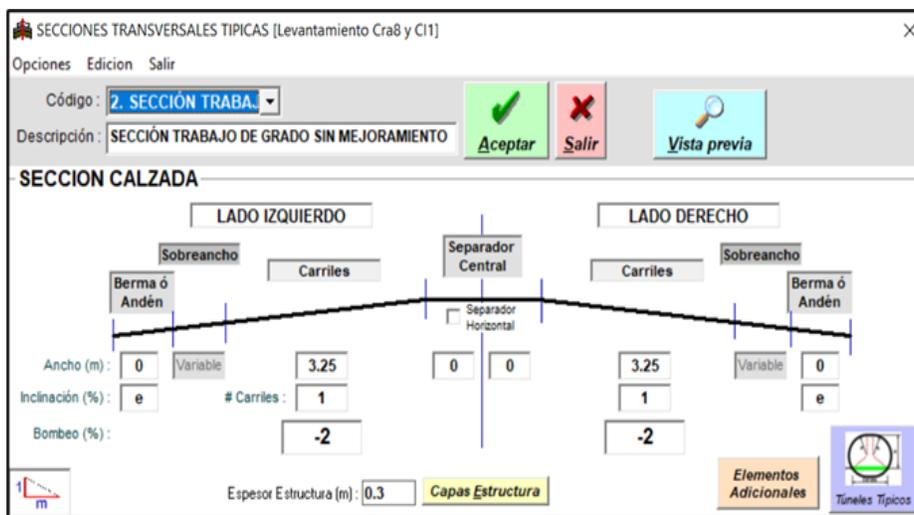


Figura 25. Sección transversal de diseño.

Fuente: Topo3, (2023)

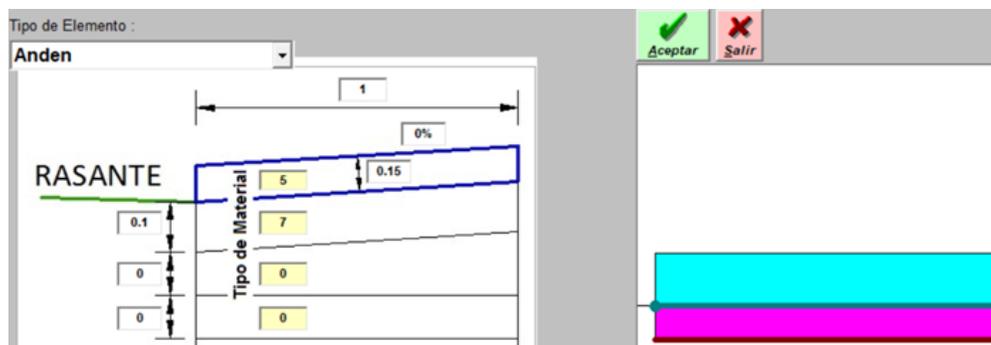


Figura 26. Elemento adicional de la sección transversal.

Fuente: Topo3, (2023)

Se definen los espesores de las capas que conforman la estructura de pavimento.

ESTRUCTURA SECCION TRANSVERSAL [2. SECCIÓN TRABAJO DE GRADO SIN MEJORAMIENTO]

Opciones

CALZADA-SOBREANCHO			BERMA-ANDÉN
Capa	Espesor (m)	Tipo de Material	<input checked="" type="checkbox"/> Estructura Berma = Calzada
1	0.150	5. Concreto Rigido 1	
2	0.150	4. Subbase	
3			

Figura 27. Parámetros generales de estructura Carrera 8.

Fuente: Topo3, (2023)

ESTRUCTURA SECCION TRANSVERSAL [1. SECCIÓN TRABAJO DE GRADO CON MEJORAMIENTO]

Opciones

CALZADA-SOBREANCHO			BERMA-ANDÉN
Capa	Espesor (m)	Tipo de Material	<input checked="" type="checkbox"/> Estructura Berma = Calzada
1	0.150	5. Concreto Rigido 1	
2	0.150	4. Subbase	
3	0.350	7. Relleno	
4			

Figura 28. Parámetros generales de estructura Calle 1.

Fuente: Topo3, (2023)

11.1. DISEÑO EN PLANTA

Para el diseño en planta de la vía en planta se procura:

- ✓ Respetar los postes existentes y que queden por fuera de la línea del andén.
- ✓ Que el ancho de la vía respete los linderos existentes.

Se dibujan las polilíneas que sirven de base para el diseño en planta y se les asigna la propiedad “Con Diseño de Vías”.

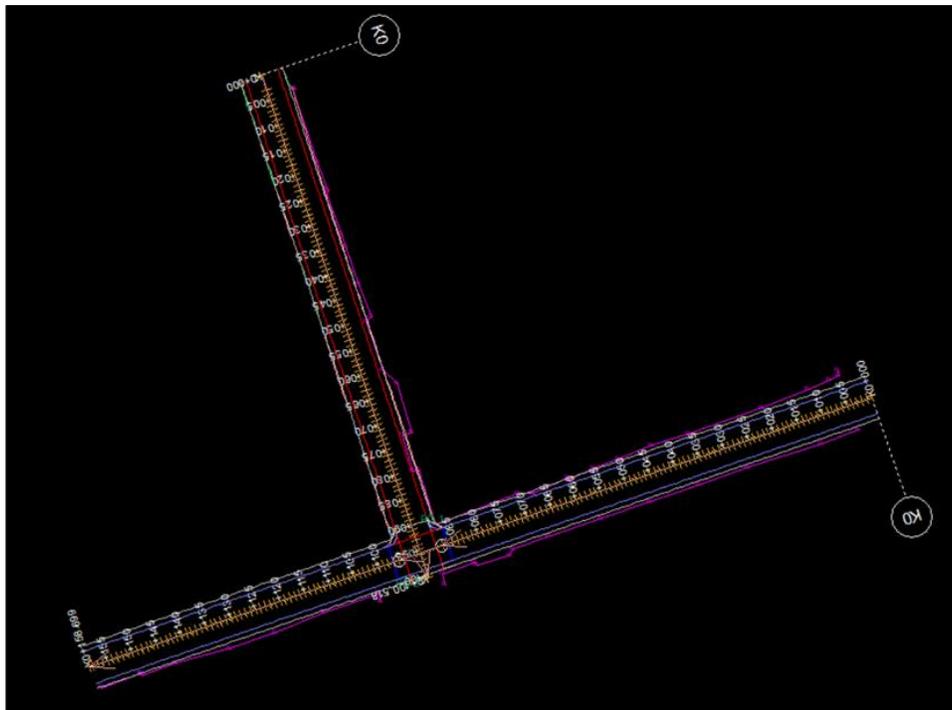


Figura 29. Diseño en planta de las vías.

Fuente: Topo3, (2023)

11.2. DISEÑO DE INTERSECCIÓN

Se define la Carrera 8 como vía principal y la Calle 1 como vía secundaria, la cual se ajusta a la anterior, esto se hace en la sección “Polilíneas de Control”.

SECCION TRANSVERSAL [Polilínea: 23 Polilínea 23]				
Abscisa Inicial (m) :		<input type="text" value="0.0000"/>	Final (m) : <input type="text" value="158.6995"/>	
Sección Transversal	Abscisas Adicionales	Muros, Puentes y Túneles		Límites
Polilíneas de Control	Ecuaciones de Empalme	Velocidades por Tramo	Numeración	
#	Id Polilínea de Control	Longitud de Transición de Entrada al MD (m)	Longitud de Transición de Salida al MD (m)	
1	18	15	15	
2				

Figura 30. Polilínea de control.

Fuente: Topo3, (2023)



Figura 31. Vértices en diseño de vía Calle 1.

Fuente: Topo3, (2023)

Para la intersección se debe realizar el trazado de los radios de giro en función del vehículo de diseño, como lo indican las recomendaciones del manual A Policy on Geometric Design of Highways and Streets de la AASHTO. Sin embargo, debido al poco espacio, se trabaja con un radio de 2 metros, valor comúnmente utilizado en zonas urbanas por los diseñadores.

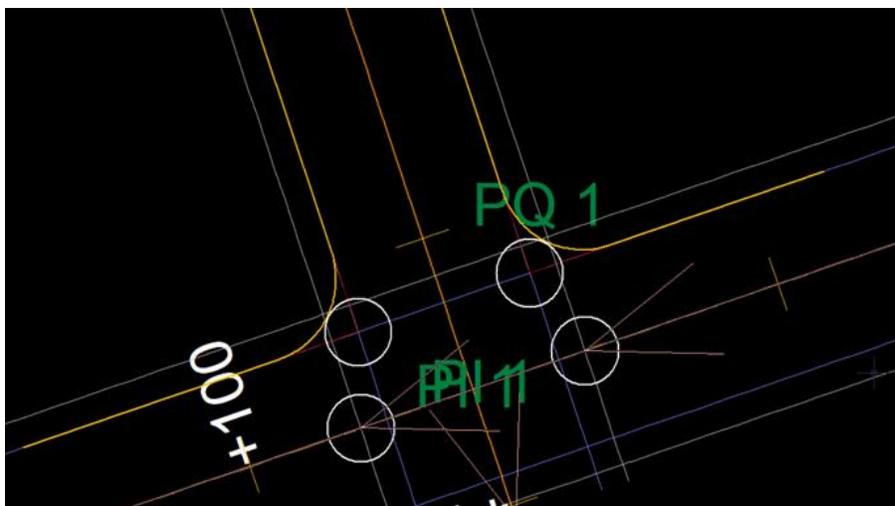


Figura 32. Esquinas de diseño en proceso.

Fuente: Topo3, (2023)

Para asignar las esquinas como bordes del diseño principal se identifican los códigos de las polilíneas implicadas, el ancho de afectación de cada esquina sobre el eje respectivo y las abscisas en las que cada esquina afecta a cada eje en la zona de intersección.

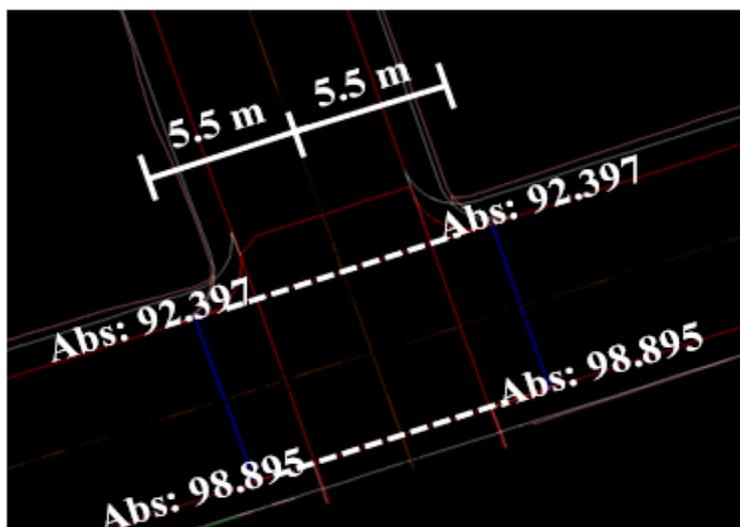


Figura 33. Ancho y abscisas de esquina sobre eje principal.

Fuente: Topo3, (2023)

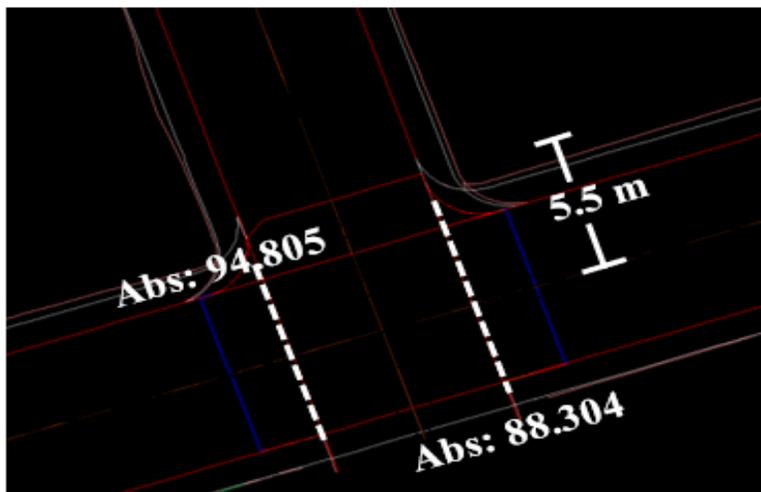


Figura 34. Ancho y abscisas de esquina sobre eje secundario.

Fuente: Topo3, (2023)

Con los datos obtenidos anteriormente se modifican parámetros de las polilíneas, tales como: Límites y Valores Elementos, que son las herramientas que permiten modelar la intersección.

Además, en el diseño en perfil de la calle 1 se debe forzar el empalme con el perfil de la carrera 8.

Finalmente se genera el modelo digital de terreno (MDT) para visualizar la intersección de la carrera 8 con la calle 1.

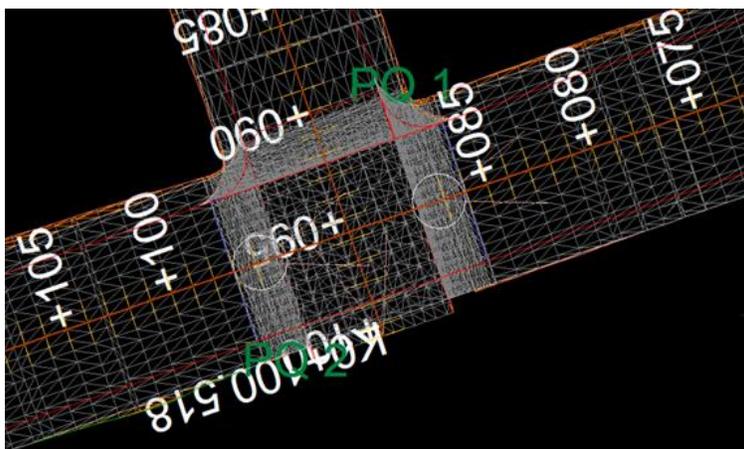


Figura 35. Modelo Digital de las vías en la zona de intersección.

Fuente: Topo3, (2023)

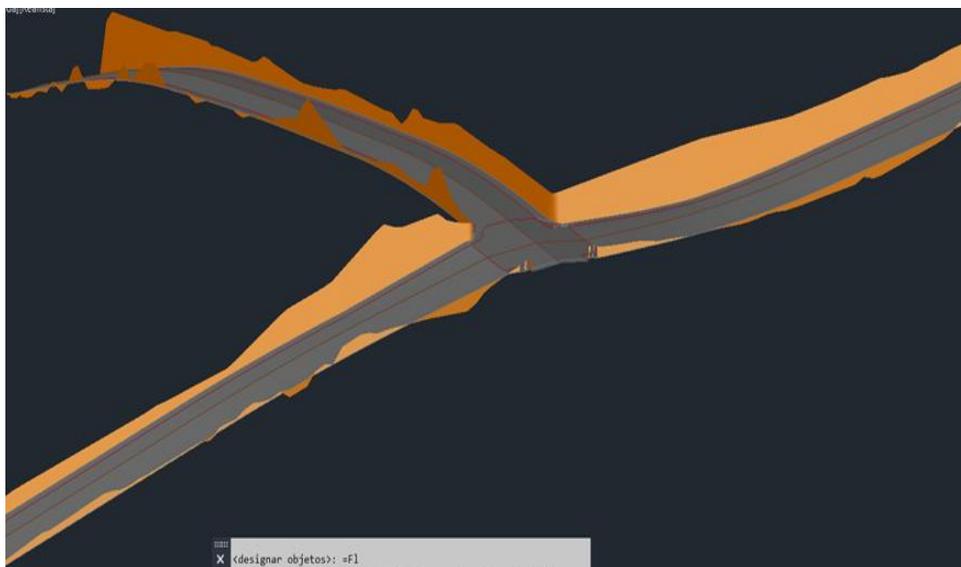


Figura 36. Visualización del Modelo Digital en 3D.

Fuente: AutoCAD (2023)

11.3. DISEÑO EN PERFIL

El diseño en perfil de las vías se realiza procurando que el nivel de la rasante no quede por encima del nivel actual, ya que esto afectaría el acceso a las viviendas; Además, se debe considerar que la altura total de la estructura de pavimento debe reemplazar los espesores de capa vegetal que se encuentra en algunas zonas.

✓ Carrera 8.

El diseño en perfil debe garantizar que la rasante quede al mismo nivel que el actual, sin embargo, para realizar el empalme con la calle 1, se debe bajar el perfil 15 centímetros.



Figura 37. Diseño en perfil de la Carrera 8.

Fuente: Topo3, (2023)

✓ Calle 1.

El diseño en perfil debe garantizar que la estructura de pavimento quede 15 centímetros por debajo de la rasante actual, esto para evitar la afectación a las viviendas.



Figura 38. Diseño en perfil de la Calle 1.

Fuente: Topo3

12. OBRAS COMPLEMENTARIAS

El diseño de pavimento comprende no solo los espesores de las capas que lo componen, si no que se debe garantizar el adecuado funcionamiento bajo su entorno, es por ello que se recurre a diseñar algunas obras complementarias para que la estructura de pavimento tenga un comportamiento adecuado a lo largo del periodo de diseño.

12.1. SUBDRENAJE - DREN FRANCÉS

Como se menciona en el capítulo de “Estudio de las condiciones de drenaje” y “Suelos problemáticos”, se hace necesario controlar el flujo de agua que ingresa a la estructura de pavimento, para ellos se plantea esta estructura y a continuación se resume el proceso para el diseño geotécnico del subdrenaje - Dren Francés, para mayor detalle ver el **Anexo 14**.

El diseño geotécnico del subdrenaje, Dren Francés, se realiza utilizando la metodología descrita en el libro Diseño de Infraestructura con Geosintéticos (Décima edición) de Plásticos y Aleaciones Venezolanas (PAVCO) y recurriendo a conceptos de importancia del Manual de Drenaje para Carreteras (2009) del Instituto Nacional de Vías (INVIAS).

Primero se realiza una propuesta del subdrenaje, que se acople a la estructura de pavimento:

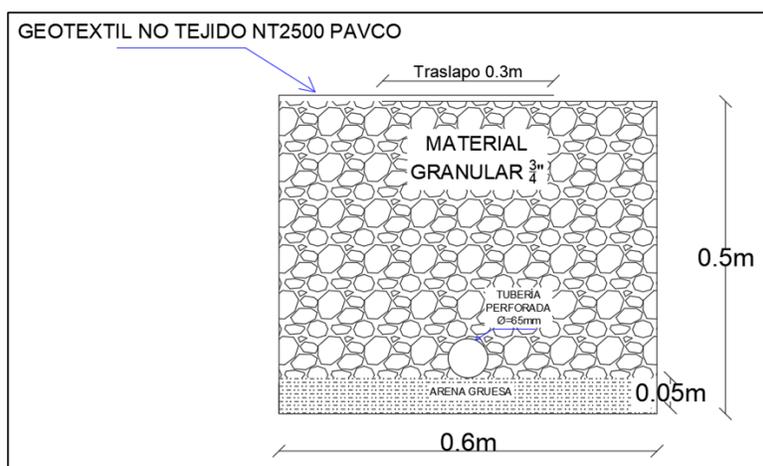


Ilustración 16. Propuesta de subdrenaje - Dren Francés.

Fuente: Elaboración propia

Posteriormente, continuando la metodología del libro de diseño de PAVCO, se realizan los siguientes chequeos a la estructura propuesta:

- ✓ Ubicación y profundidad de la dirección del flujo.
- ✓ Capacidad del subdrén para transportar el caudal crítico de diseño según la longitud de descarga; el caudal crítico se compone del caudal de infiltración y del caudal por abatimiento del nivel freático.
- ✓ Sistema de filtración adecuado, es decir, que el geotextil que recubre el subdrén cumpla con los criterios de: retención, permeabilidad, colmatación, supervivencia, durabilidad y permitividad.
- ✓ Capacidad del diámetro de la tubería definida para transportar el caudal crítico de diseño.

12.2. VIGA DE CONCRETO

Debido a que la vía que comprende este proyecto se debe empalmar directamente con la vía panamericana, la cual está constituida por un pavimento flexible, se debe generar una solución técnica que impida que los esfuerzos fracturen las losas de concreto simple; una alternativa es la ubicación de una viga de concreto a lo largo del empalme entre los 2 tipos de pavimentos.

Esta viga se encarga de soportar dichos esfuerzos, surge como solución a este problema y es recomendada por el director del Trabajo de Grado con base en su experiencia.

Las dimensiones de esta viga son de 0.2 x 0.3 metros y se entiende a lo largo del empalme.

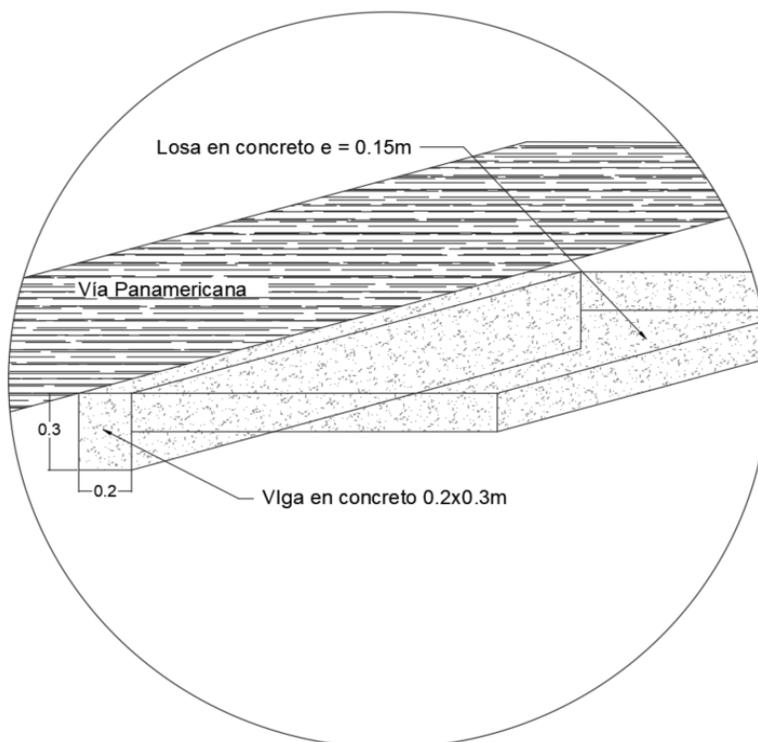


Ilustración 17. Esquema de viga de concreto para empalme.

Fuente: Elaboración propia



Ilustración 18. Localización de la viga de concreto de empalme.

Fuente: Elaboración propia

Para prevenir posibles daños a la estructura adyacente (Pavimento Flexible) y a la misma estructura de pavimento rígido, se propone la siguiente junta de expansión, construida con icopor de alta densidad como material llenante y un sellante frío para juntas.

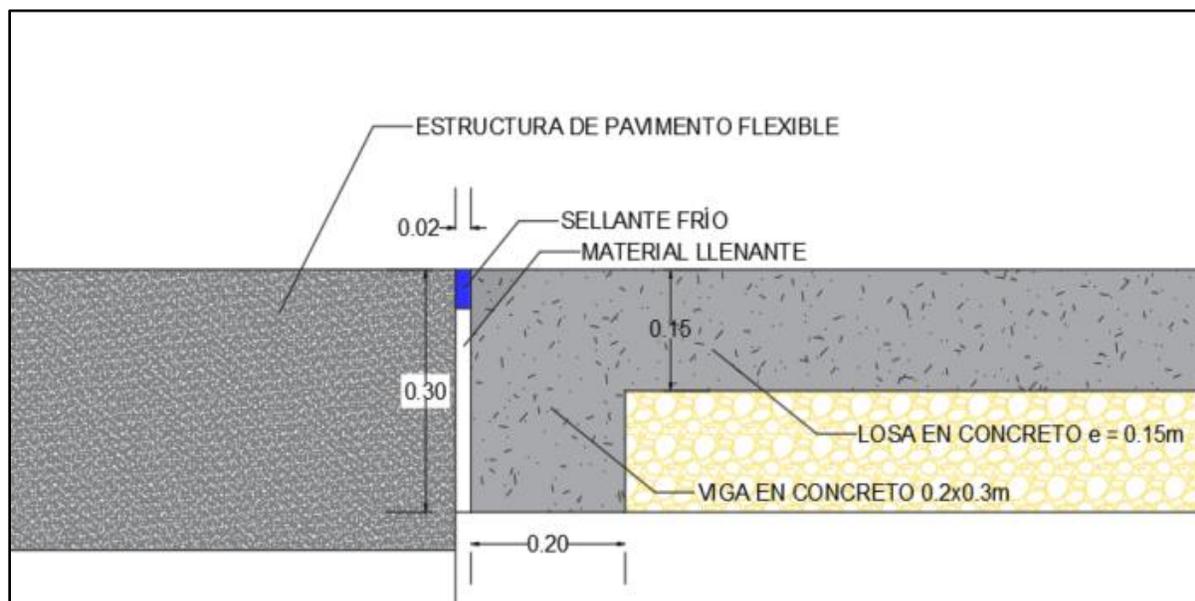


Ilustración 19. Detalle constructivo de la junta de expansión.

Fuente: Elaboración propia

12.3. SUMIDERO

En la zona de análisis no se cuenta con servicio de alcantarillado para aguas lluvias, sin embargo, y proyectando la construcción de este previo a la ejecución del pavimento, se plantea la posición estratégica de los sumideros, de esta manera se conoce qué losas en el diseño en planta se deben reforzar para evitar el fisuramiento.

Se propone una rejilla para sumidero en concreto, de la siguiente referencia y dimensiones.



Ilustración 20. Recomendación rejilla sumidero.

Fuente: Mundoprefabricados.com (2023)

Por recomendación del director de trabajo de grado, se debe proveer una malla electrosoldada de refuerzo para las losas de concreto que se ven afectadas por los sumideros, esta malla debe tener las siguientes características:

- ✓ Calibre 8 milímetros.
- ✓ Separación de 15x15 centímetros.

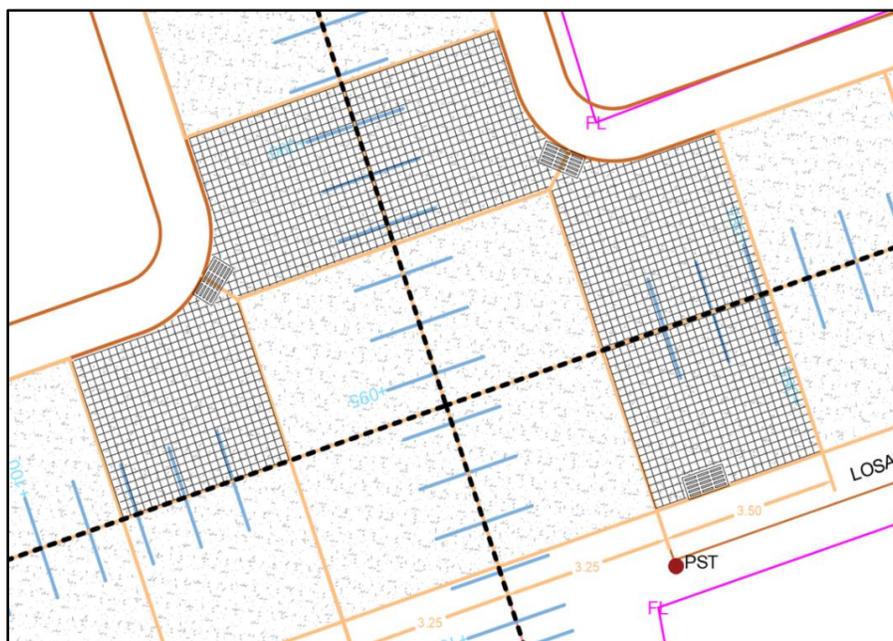


Figura 39. Losas reforzadas con malla electrosoldada.

Fuente: Elaboración propia

13. PLANOS

Como resultado del trabajo realizado, se presentan los siguientes planos para las vías del proyecto.

- Plano 1 (ver **Anexo 15**). Plano que contiene modulación de losas de concreto de espesor 15 centímetros, sección típica esperada, disposición tentativa de los sumideros y detalle de obras complementarias para la Carrera 8 entre Calles 1 y 2 y la Calle 1 entre Carreras 7 y 9.

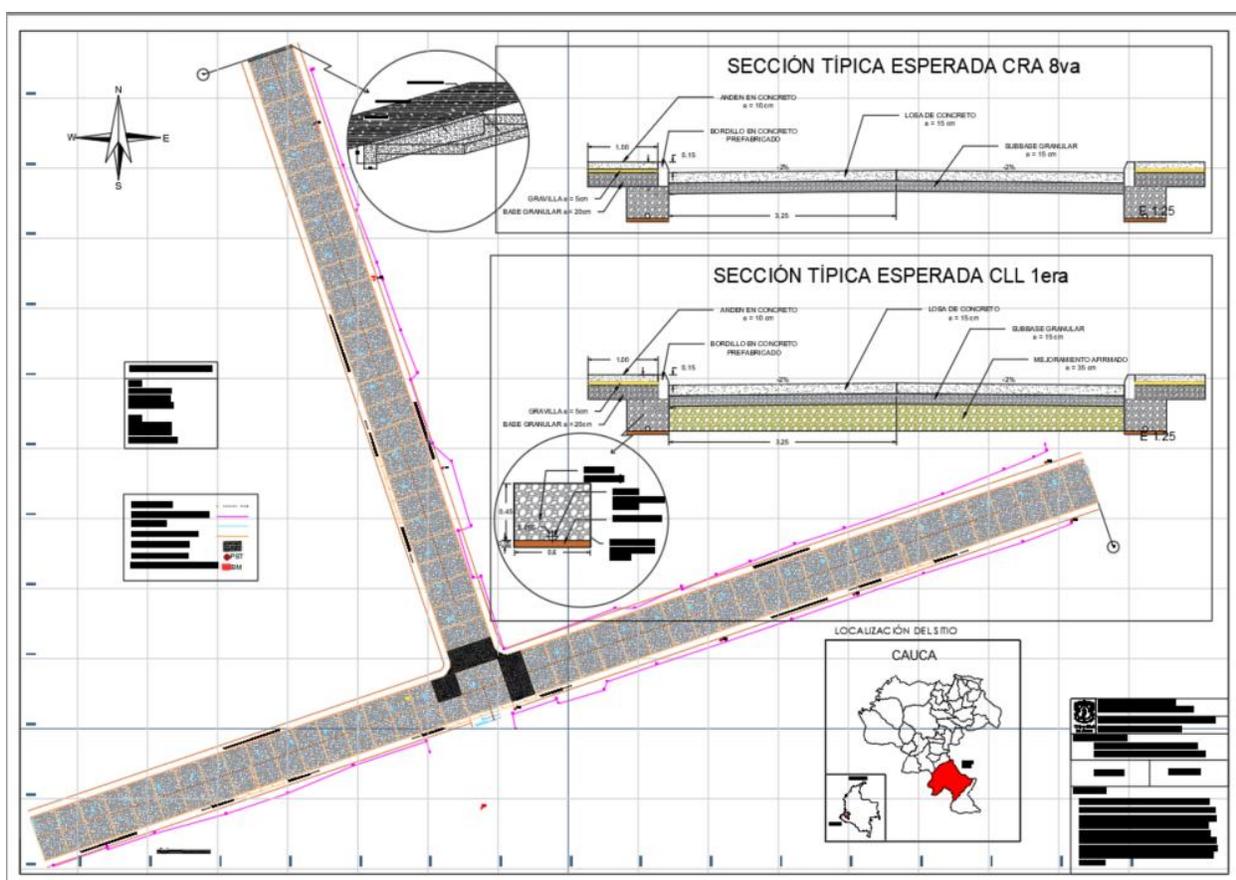


Figura 40. Plano 1.

Fuente: Elaboración propia

- Plano 2 (ver **Anexo 16**). Plano que contiene vista en perfil y secciones transversales en el sentido del abscisado cada 5 metros para la Carrera 8 entre Calles 1 y 2.

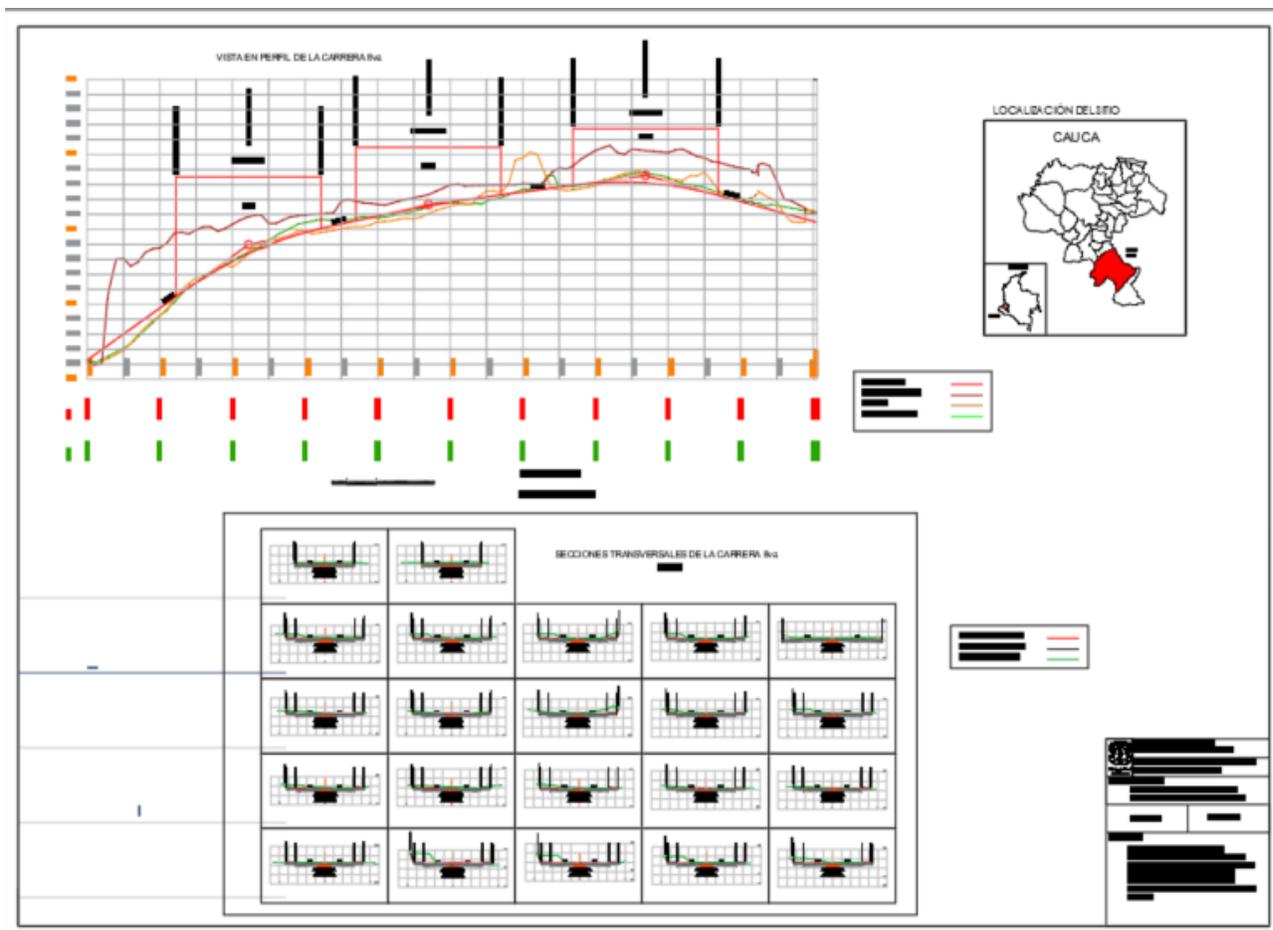


Figura 41. Plano 2.

Fuente: Elaboración propia

- Plano 3 (ver **Anexo 17**). Plano que contiene vista en perfil y secciones transversales en el sentido del abscisado cada 5 metros para la Calle 1 entre Carreras 7 y 9.

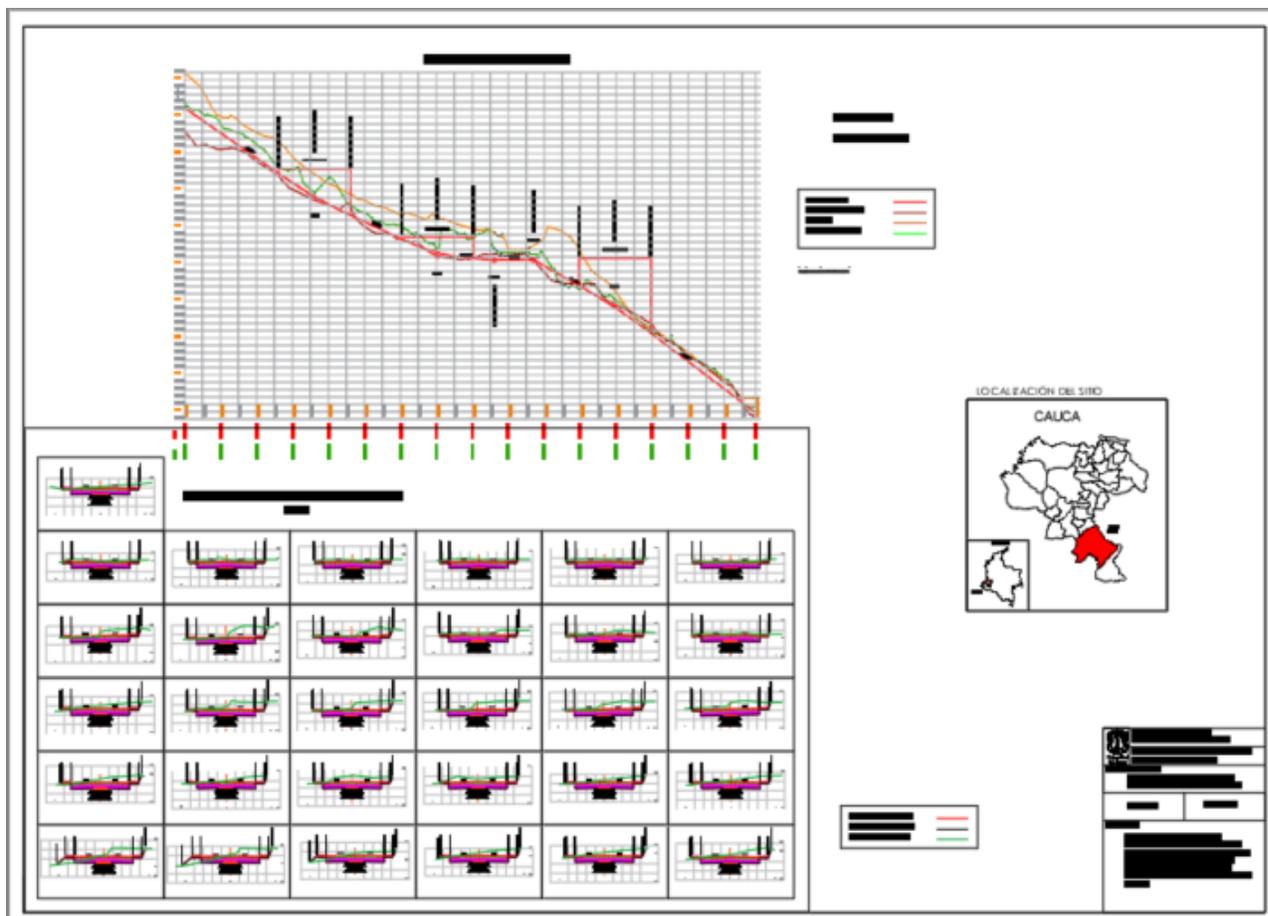


Figura 42. Plano 3.

Fuente: Elaboración propia

14. RECOMENDACIONES TÉCNICAS

De manera adicional al diseño de la estructura de pavimento y de las obras complementarias, se presentan las siguientes recomendaciones técnicas.

14.1. ANDÉN DE CONCRETO

En la sección “Reglamentación del Esquema de Ordenamiento Territorial (EOT)” se presenta una ilustración transversal para vías secundarias VS, la cual considera un andén de 1 metro de ancho a cada lado, por ello, con base en la especificación 403 “Andenes” de las Normas y Especificaciones Generales de Construcción de Empresas Públicas de Medellín (EPM), se recomienda el siguiente andén:

- ✓ Pendiente transversal de 1.5% hacia la calzada.
- ✓ Pendiente longitudinal paralela con el eje de la vía.
- ✓ Material granular de soporte de 20 centímetros. Debe cumplir los requisitos establecidos en el Artículo 320 de las Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras del Instituto Nacional de Vías (INVIAS).
- ✓ Material granular de alitado 5 centímetros (gravilla).
- ✓ Losa de concreto de 10 centímetros, resistencia a la compresión de 21 megapascales.
- ✓ Textura antideslizante con paleta de madera.
- ✓ Juntas de dilatación espaciadas máximo cada 2 metros. Se realizan utilizando biseles de madera o metálicos con un espesor de 1.5 centímetros y una profundidad de 5 centímetros.

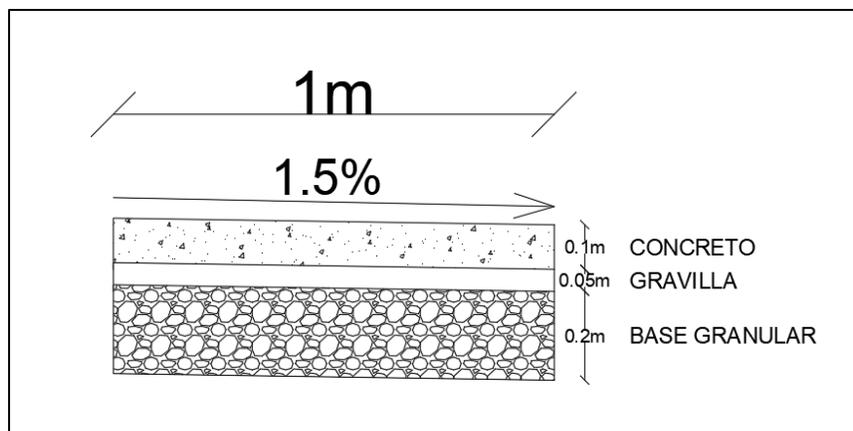


Ilustración 21. Vista en perfil del andén recomendado.

Fuente: Elaboración propia



Imagen 21. Referencia gráfica del andén recomendado.

Fuente: Elaboración propia

14.2. BORDILLO

En el diseño de la losa de concreto y chequeo del cumplimiento por fatiga y erosión del método Portland Cement Association (PCA), 1984, se considera la inclusión de Berma/Bordillo, es por esto que se hace necesario el uso del mismo, por tanto y teniendo en cuenta la facilidad constructiva, se recomienda el uso un bordillo de concreto prefabricado, el cual brinda el confinamiento necesario al ser ubicado hasta una profundidad que sobrepasa el espesor de la losa. No obstante, en el caso en que los residentes del sector gestionen que se elimine el bordillo para facilitar el acceso de vehículos a los predios, se debe garantizar la existencia de un bordillo interno desde el nivel de la rasante y que profundice hasta la subbase granular, de tal manera que confine la losa de concreto.



Imagen 22. Referencia gráfica del bordillo interno.

Fuente: Elaboración propia

Este bordillo debe cumplir con la normativa vigente para el uso de bordillos prefabricados de:

- ✓ Artículo 672 - 07 Bordillos de Concreto (INVIAS)

- ✓ NTC 4109 - Prefabricados de Concreto. Bordillos, Cunetas y Topellantas de Concreto

Así pues, surge como recomendación el uso de un BORDILLO BARRERA RECT INDUS. 351580 U10, el cual tiene las siguientes características y dimensiones:

Tabla 57. Características del Bordillo.

Materiales	
Módulo de Rotura [Mpa]	4
Cemento Portland	NTC-121, NTC-321
Agregados Peso Nominal y Liviano	NTC-174, NTC-4045
Agua de Mezcla	NTC-3459

Dimensiones	
Espesor [cm]	15
Alto [cm]	35
Longitud [cm]	80

Fuente: Elaboración propia

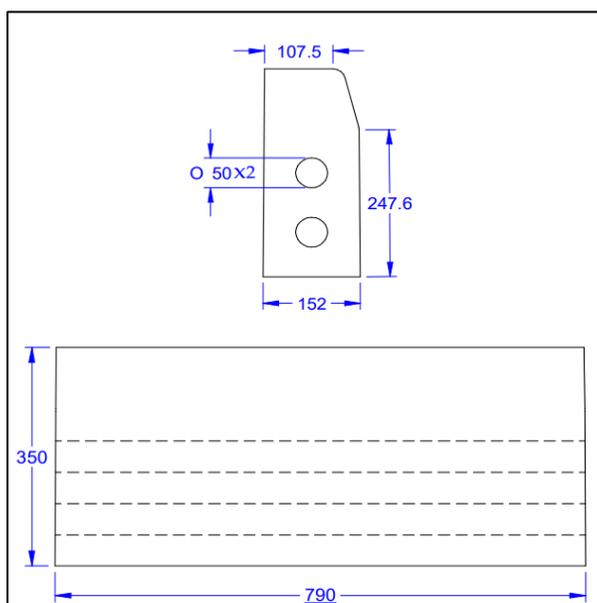


Ilustración 22. Dimensiones del Bordillo vistas en perfil.

Fuente: Elaboración propia

14.3. RECOMENDACIONES TÉCNICAS

En este proyecto se diseñan 2 de las 4 esquinas de la intersección, ya que es el alcance definido; sin embargo, para futuros proyectos viales en el corregimiento que comprendan la misma intersección, se recomienda que se hagan las esquinas con el mismo radio de curvatura (2 metros), para que se provea un diseño geométrico consistente. Claro está, que este radio de curvatura se define en función del espacio disponible y del radio requerido para el giro del vehículo de diseño, por lo que para las demás intersecciones se debe procurar trabajar con esquinas de radio mayor.

Debido a que este proyecto comprende un tramo vial con solo 1 intersección, y teniendo en cuenta que la Calle 1 se empalma en sus extremos con más Carreras (futuras intersecciones), estos empalmes se deben hacer garantizando que las losas de concreto se construyen a la misma cota y se priorice la regularidad de la forma de las losas. Además, de que se deben considerar las juntas de expansión en caso de que la construcción de los pavimentos difiera en un periodo de tiempo considerable.

Para concluir con el proyecto, la fase constructiva debe apoyarse sobre las Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras (2022) del Instituto Nacional de Vías (INVIAS), ya que proveen una guía del paso a paso e instruyen sobre la calidad exigida para cada uno de los materiales.

15. OBSERVACIONES

En el diseño en perfil se determina que en la Carrera 8, el nuevo nivel de rasante se diseña al nivel de la rasante existente, por lo que dentro de los 50 centímetros de afirmado existente (según el perfil estratigráfico deducido), se debe bajar 30 centímetros para losa de concreto (15 centímetros) y la subbase granular (15 centímetros), es decir, solo quedan 20 centímetros de afirmado y la propuesta realizada es con 35 centímetros. El apique realizado puede ser insuficiente para asegurar que a lo largo de toda la Carrera 8, hay 50 centímetros de afirmado, puede haber más, no obstante, para cumplir con la propuesta de diseño realizada, se debe garantizar un espesor de mejoramiento no menor que 35 centímetros.

Es primordial, que previo a la ejecución del proyecto de pavimentación, se garantice la instalación y funcionamiento de las redes de servicios públicos, especialmente acueducto y alcantarillado, que constructivamente están bajo la estructura de pavimento y su posterior ejecución afectaría la integridad de la misma. Así mismo, estos distintos proyectos deben acoplarse entre sí, es decir, al disponer del mismo espacio, no deben afectarse uno al otro.

Debido a que la zona en la cual se desarrolla el proyecto está alejada de fuentes de materiales que certifiquen exigentes índices de calidad y en vista de la necesidad de una fuente que provea agregados para el mejoramiento planteado y para las recomendaciones técnicas, se hace necesaria la búsqueda de fuentes cercanas que generen una mayor viabilidad económica para el proyecto y permitan desarrollar estas actividades, como las que aquí se presentaron.

16. CONCLUSIONES

Aunque este trabajo está amparado por los estándares de calidad de la Universidad del Cauca, se ve necesario que este sea revisado en su momento por una persona idónea, que apruebe, certifique o modifique según vea conveniente, los resultados aquí presentados para su utilización.

Realizados los estudios necesarios y logrados los diseños propuestos en los objetivos del proyecto, continuando con la fase de preinversión, es necesario realizar la cuantificación del presupuesto, para estar así más cerca de la fase de inversión, es decir, la ejecución del proyecto.

La visita de campo para el reconocimiento del terreno permite definir los puntos claves para el desarrollo de los diferentes estudios, además, logra mitigar el gasto innecesario de recursos; también, al conocer el lugar de intervención, se logra un trabajo sensibilizado por parte de quienes lo realizan, ya que se da el intercambio de ideas o necesidades con los beneficiarios, para ser tenidas en cuenta en el proyecto.

Como se menciona a lo largo del trabajo, a pesar de contar con importantes recursos teóricos, en casos puntuales es necesario que el diseñador tome decisiones con base en su criterio formado a partir de la experiencia. Para este trabajo es indispensable el concepto dado por el director del trabajo de grado, quien tiene amplio conocimiento del tema y se encarga de instruir en la toma de decisiones, guiando el trabajo hacia el éxito.

17. ANEXOS

- Anexo 1.** Precipitación San Juan de Villalobos 2002-2023 (Xlsm)
- Anexo 2.** Plancha 412 Geología San Juan de Villalobos (PDF)
- Anexo 3.** Nube de Puntos Carrera 8 y Calle 1 (Xlsm)
- Anexo 4.** Levantamiento Carrera 8 y Calle 1 (Top)
- Anexo 5.** Informe Geotécnico Clasificación de Suelos y Humedades (PDF)
- Anexo 6.** Perfil Estratigráfico Deducido (PDF)
- Anexo 7.** Resultados CBR (PDF)
- Anexo 8.** Estudio de tránsito (Xlsx)
- Anexo 9.** Tasa de crecimiento (Xlsx)
- Anexo 10.** Proctor y CBR Suelo de Mejoramiento (Xlsm)
- Anexo 11.** Diseño del Pavimento Carrera 8 y Calle 1 (Xlsx)
- Anexo 12.** Metodología PCA Curso de Pavimentos (PDF)
- Anexo 13.** Diseño Geométrico de Vías (PDF)
- Anexo 14.** Diseño Geotécnico de Subdrenaje - Dren Francés (PDF)
- Anexo 15.** Plano 1 (PDF)
- Anexo 16.** Plano 2 (PDF)
- Anexo 17.** Plano 3 (PDF)

18. REFERENCIAS

José Rafael Menéndez Acurio. (s.f). Ingeniería de Pavimentos, Materiales y Variables de Diseño (4ta edición, página 76).

Geoportal. (2023). Servicio Geológico Colombiano. Recuperado el 18 de mayo, 2023, de [Geoportal \(sgc.gov.co\)](http://sgc.gov.co)

Instituto Nacional de Vías (INV). (2013). Descripción e identificación de suelos (procedimiento visual y manual) (INV E-102-13). Recuperado de: [INV-102-13.pdf \(da-lab.co\)](#)

Instituto Nacional de Vías (INV). (2013). Investigación de suelos y rocas para propósitos de ingeniería (INV E-101-13). Recuperado de: [INV-101-13.pdf \(da-lab.co\)](#)

Instituto Nacional de Vías (INV). (2013). Conservación y transporte de muestras de suelos (INV E-103-13). Recuperado de: [INV-103-13.pdf \(da-lab.co\)](#)

Instituto Nacional de Vías (INV). (2013). Obtención de muestras de suelo mediante tubos de pared delgada (INV E-105-13). Recuperado de: [INV-105-13.pdf \(da-lab.co\)](#)

Instituto Nacional de Vías (INV). (2013). Muestreo de suelos con tubo partido de pared gruesa y revestimiento de anillos (INV E-109-13). Recuperado de: [INV-109-13.pdf \(da-lab.co\)](#)

Instituto Nacional de Vías (INV). (2013). Exploración y muestreo de suelos mediante barrenas (INV E-112-13). Recuperado de: [INV-112-13.pdf \(da-lab.co\)](#)

Consulta y Descarga de Datos Hidrometeorológicos. (2023). Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). Recuperado de: [Consulta y Descarga de Datos Hidrometeorológicos \(ideam.gov.co\)](#)

Instituto Nacional de Vías (INV). (2013). Uso del penetrómetro dinámico de cono en aplicaciones de pavimentos a poca profundidad (INV E-172-13). Recuperado de: [INV-112-13.pdf \(da-lab.co\)](#)

Instituto Nacional de Vías (INV). (2013). Determinación en laboratorio del contenido de agua (humedad) de muestras de suelo, roca y mezclas de suelo -agregado (INV E-122-13). Recuperado de: [INV-112-13.pdf \(da-lab.co\)](#)

Instituto Nacional de Vías (INV). (2013). Determinación de la gravedad específica de las partículas sólidas de los suelos y del llenante mineral, empleando un picnómetro con agua (INV E-128-13). Recuperado de: [INV-112-13.pdf \(da-lab.co\)](#)

Instituto Nacional de Vías (INV). (2013). Relación de soporte del suelo en el terreno (cbr "in situ" (INV E-189-13). Recuperado de: [INV-112-13.pdf \(da-lab.co\)](#)

Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras. (2022). Capítulo 3, Artículo 320 – 22. Recuperado de: [Especificaciones generales de construcción de carreteras 2022 \(invias.gov.co\)](#)

Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras. (2022). Capítulo 5, Artículo 500 – 22. Recuperado de: [Especificaciones generales de construcción de carreteras 2022 \(invias.gov.co\)](#)

Portland Cement Association (PCA). Metodología de Diseño de Pavimentos Rígidos. (1984). Recuperado de: <https://drive.google.com/drive/u/0/folders/1UqNI83HQ-3tW4QA6UhwM5NZ6VEITcwiY>

Rivas Muñoz, N., & Arboleda Velez, C. (2020). INGENIERÍA DE TRANSITO. (5ta edición). Recuperado de: <https://drive.google.com/drive/u/0/folders/1UqNI83HQ-3tW4QA6UhwM5NZ6VEITcwiY>

Consejo Municipal de Santa Rosa. (2004). Esquema de Ordenamiento Territorial del Municipio de Santa Rosa. Recuperado de: [ESQUEMA DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL - SANTA ROSA CAUCA - Alcaldía Municipal de Santa Rosa - Cauca \(micolombiadigital.gov.co\)](#)

Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10). (2010). Título H – Estudios Geotécnicos, H.2.2.2: Estudio Geotécnico Definitivo. Recuperado de: [Microsoft Word - H-01-NSR-10-Decreto-Final.doc \(idrd.gov.co\)](#)

Ministerio de Transporte. (2004). Límites de Pesos y Dimensiones En los Vehículos de Transporte Terrestre Automotor de Carga por Carretera, Resolución 004100 de diciembre, 2004. Recuperado de: [file \(invias.gov.co\)](#)

Instituto Colombiano de Productores de Cemento (ICPC). (2008). Manual de diseño de pavimentos de concreto para vías con bajos, medios y altos volúmenes de tránsito.. Recuperado de: [manual SANGRADO PILOTO.p65 \(invias.gov.co\)](#)

Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). (2023). Proyecciones y retroproyecciones de población municipal para el periodo 1985-2019 y 2020-2035 con base en el CNPV 2018. Recuperado de: [DANE - Proyecciones de población](#)

Boussinesq. (1885) y Newmark (1959) incremento de esfuerzos y bulbo de presiones de cargas uniformes circulares.

Instituto Nacional de Vías (INVIAS). (2022). Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras, Capítulo 3, Artículo 311, Especificación de granulometría para afirmados. Recuperado de: [311 AFIRMADO.pdf \(gerconcesion.co\)](#)

Instituto Nacional de Vías (INVIAS). (2022). Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras, Capítulo 5, Artículo 501, Suministro de Cemento Hidráulico. Recuperado de: [501 SUMINISTRO DE CEMENTO HIDRAULICO.pdf \(gerconcesion.co\)](#)

Instituto Nacional de Vías (INVIAS). (2022). Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras, Capítulo 5, Artículo 500, Pavimentos de Concreto Hidráulico. Recuperado de: [500 PAVIMENTO DE CONCRETO HIDRAULICO.pdf \(gerconcesion.co\)](#)

Instituto Nacional de Vías (INVIAS). (2022). Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras, Capítulo 6, Artículo 630, Concreto Estructural. Recuperado de: [630 CONCRETO ESTRUCTURAL.pdf \(gerconcesion.co\)](#)

Instituto Nacional de Vías (INVIAS). (2013). Manual de Diseño Geométrico. Recuperado de: [Manual de diseño geométrico \(invias.gov.co\)](#)

Plásticos y Aleaciones Venezolanas (PAVCO). (s.f). Diseño de Infraestructura con Geosintéticos (Décima edición).

Instituto Nacional de Vías (INVIAS). (2009). Manual de Drenaje para Carreteras. Recuperado de: [Manual de drenaje para carreteras \(invias.gov.co\)](#)

Empresas Públicas de Medellín (EPM). (s.f). Normas y Especificaciones Generales de Construcción, Especificación 403, Andenes. Recuperado de: [NORMAS Y ESPECIFICACIONES GENERALES DE CONSTRUCCIÓN \(epm.com.co\)](#)

Instituto Nacional de Vías (INVIAS). (2013). Bordillos en Concreto, Artículo 672. Recuperado de: [672 BORDILLOS EN CONCRETO.pdf \(gerconcesion.co\)](#)

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. (2008). NTC 4109, Prefabricados de concreto. Bordillos, cunetas y topellantas de concreto. Recuperado de: [NTC - 4109 Cunetas y Bordillos | PDF \(scribd.com\)](#)

Urzagaste Herba, G. M., & Rojas Velazquez, C. (2006). APOYO DIDÁCTICO DE ENSEÑANZA - APRENDIZAJE EN LA ASIGNATURA DE MÉTODOS GEODÉSICOS. Recuperado de: <https://drive.google.com/drive/u/0/folders/1UqNI83HQ-3tW4QA6UhwM5NZ6VEITcwiY>

Benavides Bastidas, A. (2020a). CURSO DE PAVIMENTOS CAPITULO II ESTUDIO DE LA SUBRASANTE. Recuperado de: <https://drive.google.com/drive/u/0/folders/1UqNI83HQ-3tW4QA6UhwM5NZ6VEITcwiY>

Benavides Bastidas, A. (2020b). CURSO DE PAVIMENTOS CAPITULO IX DISEÑO DE PAVIMENTOS RIGIDOS. Recuperado de: <https://drive.google.com/drive/u/0/folders/1UqNI83HQ-3tW4QA6UhwM5NZ6VEITcwiY>

Universidad del Cauca, Polanco, M., & Benavides Bastidas, C. A. (2018). MANUAL DE DISEÑO DE PAVIMENTOS ALTOS Y MEDIOS INVIAS 2018. Recuperado de: <https://drive.google.com/drive/u/0/folders/1UqNI83HQ-3tW4QA6UhwM5NZ6VEITcwiY>

Knoche, W. (1942). NUEVO MÉTODO DE CLASIFICACIÓN CLIMÁTICA. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 23, 357–372. Recuperado de: <http://www.jstor.org/stable/26256070>

Ministerio de Ambiente, vivienda y D. T., & Comisión asesora permanente para el régimen de construcciones sismo resistentes. (2010). NSR-10 TÍTULO H - ESTUDIOS GEOTÉCNICOS. Recuperado de: <https://www.idrd.gov.co/sites/default/files/documentos/Construcciones/8titulo-h-nsr-100.pdf>

Ministerio de Transporte, & Instituto Nacional de Vías. (2022). Especificaciones generales de construcción de carreteras 2022. Recuperado de: <https://www.invias.gov.co/index.php/archivo-y-documentos/documentos-tecnicos/14480-especificaciones-generales-de-construccion-de-carreteras-2022-1>

Portland Cement Association (PCA). Concrete Pavement Design. (1951).

Toxement. (2012). GUÍA BÁSICA DE JUNTAS PARA PAVIMENTOS DE CONCRETO

- Parte 1. Recuperado de: www.toxement.com.co

ANEXO 1. PRECIPITACIÓN SAN JUAN DE VILLALOBOS 2003-2023

DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO PARA LA CARRERA OCTAVA ENTRE CALLE PRIMERA Y SEGUNDA, Y LA CALLE PRIMERA ENTRE LA CARRERA SÉPTIMA Y NOVENA DEL CORREGIMIENTO DE SAN JUAN DE VILLALOBOS.

JERSON STEVE GUEVARA RUALES Cd. 100418010094

DARVIN SEBASTIAN RAMIREZ HOYOS Cd. 100418011246



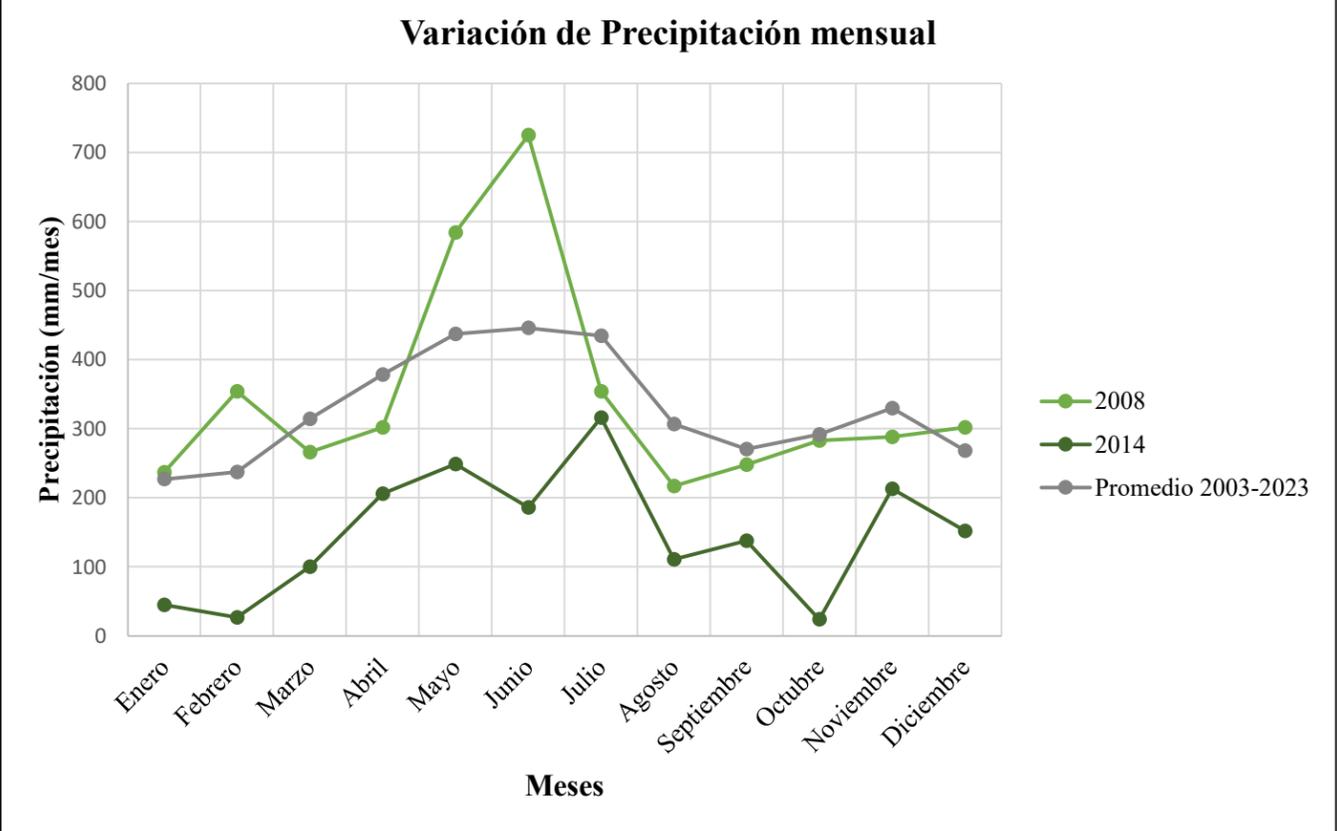
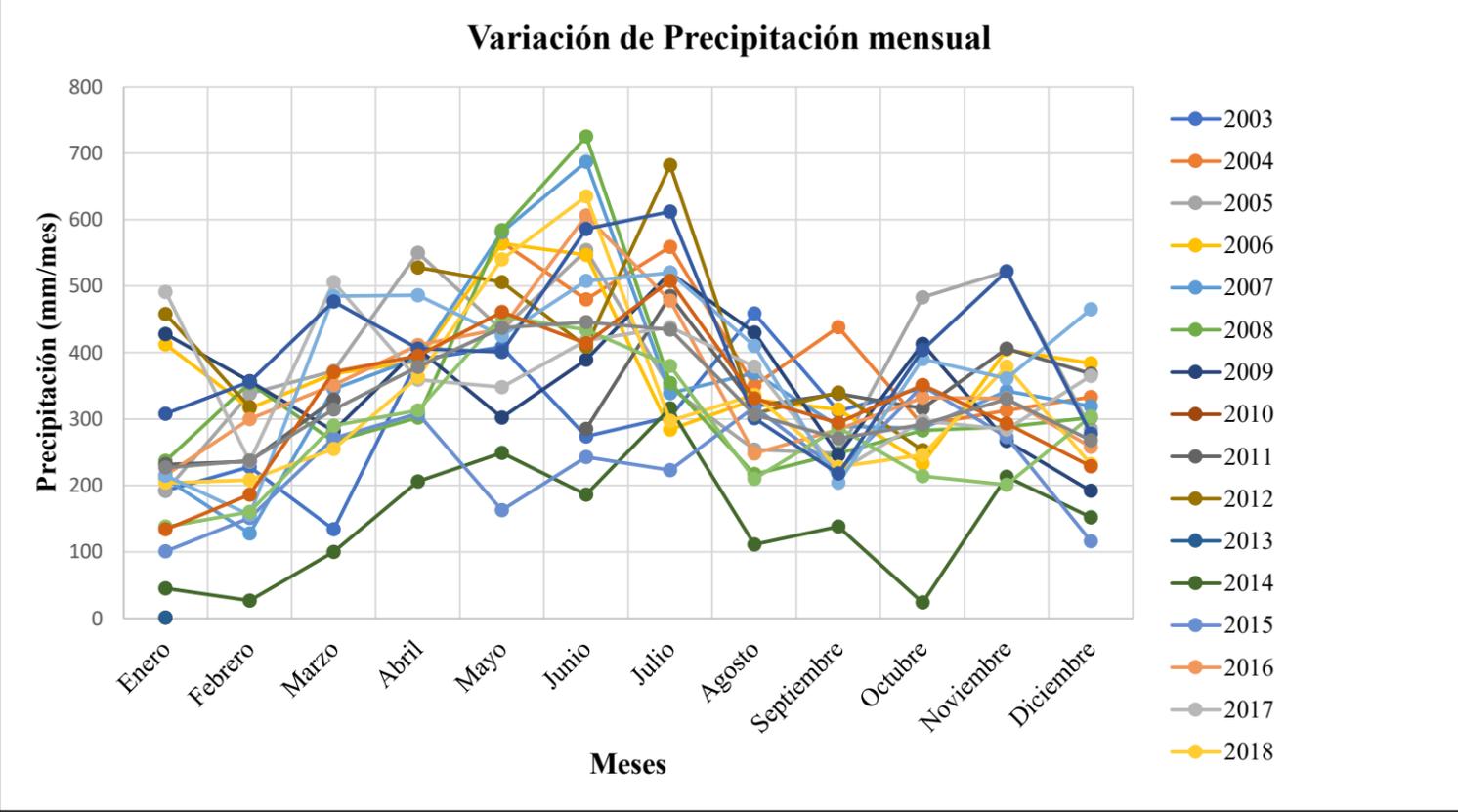
Precipitación [mm/mes]

Mes/Año	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Enero	192		192	412	210	237	428	50	232	458	49	45	101	215.5	491	204	215	138	308	134
Febrero	228		338.1	316	128	354	357	251	236	318	201	27	151	300	236	208	156	160	356	186
Marzo	134		372.1	368	345	266	282	303	329		152	100	271	351	506	255	485	290	477	371
Abril	389		550	387	392	302	406	427		528	182	206	308	411	359	363	486	313	406	395
Mayo	408	566	434	564	581	584	302	470		506	415	249	163	436	348	540	425	455	401	461
Junio	274	480	554	547	687	725	389	430	285	409	107	186	243	606	418	635	508	434	586	414
Julio	303	559	347	284	339	354	520	439	485	682	610	316	223	478	438	297	520	380	612	508
Agosto	459	350	254	329	369	217	430	115	319	308	340	111	318	248	379	336	410	210	301	331
Septiembre	312	438	248	314	289	248	246	282	338	340	258	138	222	284	221	228	204	287	218	294
Octubre	347	291	483	233	286	283	413	130	316	253	191	24	350	332	297	246	390	214	404	351
Noviembre		313	522	404	342	288	267	191.5	406		348	213	273	331	284	379	361	201	522	293
Diciembre		333	285	384	319	302	192	175	368		68	152	116	258	365	232	465	304	278	229

Precipitación Prom (mm/mes)
226.92
237.22
314.28
378.33
437.26
445.85
434.7
306.7
270.45
291.7
329.92
268.06

Precipitación Prom (mm/año)

3941.39



**ANEXO 3. NUBE DE PUNTOS CARRERA 8
Y CALLE 1**

DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO PARA
LA CARRERA OCTAVA ENTRE CALLE PRIMERA Y
SEGUNDA, Y LA CALLE PRIMERA ENTRE LA
CARRERA SÉPTIMA Y NOVENA DEL
CORREGIMIENTO DE SAN JUAN DE VILLALOBOS.

JERSON STEVE GUEVARA RUALES Cd. 100418010094

DARVIN SEBASTIAN RAMIREZ HOYOS Cd. 100418011246



Punto	Identificador	N	E	Cota
BM1	BM	657264.295	1077872.46	1407.52
BM2	BM	657188.804	1077887.99	1406.575
DLT1	DLT	657204.227	1077876.998	1408.223
BV1	BV	657293.864	1077853.191	1405.179
BV2	BV	657292.362	1077854.929	1405.288
BV3	BV	657290.401	1077856.154	1405.402
BV4	BV	657287.793	1077857.313	1405.697
BV5	BV	657285.483	1077858.113	1405.914
BV6	BV	657282.743	1077859.087	1406.183
BV7	BV	657280.126	1077859.989	1406.417
BV8	BV	657277.423	1077861.002	1406.53
BV9	BV	657274.142	1077862.037	1406.755
BV10	BV	657271.527	1077862.74	1406.81
BV11	BV	657268.579	1077863.754	1406.898
BV12	BV	657267.183	1077864.152	1406.93
BV13	BV	657262.824	1077865.288	1406.999
BV14	BV	657260.309	1077866.294	1407.035
BV15	BV	657258.707	1077866.944	1407.046
BV16	BV	657295.994	1077859.454	1405.24
BV17	BV	657293.276	1077859.496	1405.358
BV18	BV	657290.901	1077859.889	1405.488
BV19	BV	657288.555	1077860.821	1405.72
BV20	BV	657286.195	1077861.93	1405.96
BV21	BV	657283.855	1077862.83	1406.22
BV22	BV	657281.771	1077863.341	1406.364
BV23	BV	657279.447	1077863.67	1406.496
BV24	BV	657276.964	1077864.223	1406.626
BV25	BV	657274.186	1077865.028	1406.765
BV26	BV	657271.507	1077866.068	1406.954
BV27	BV	657268.967	1077866.911	1407.086
BV28	BV	657266.439	1077868.182	1407.162
BV29	BV	657263.895	1077869.869	1407.149
BV30	BV	657260.826	1077871.003	1407.226
BV31	BV	657258.37	1077871.442	1407.189
BV32	BV	657255.76	1077871.967	1407.228
BV33	BV	657253.23	1077872.983	1407.303

BV34	BV	657250.881	1077873.803	1407.418
BV35	BV	657248.53	1077874.603	1407.405
BV36	BV	657246.499	1077875.573	1407.39
BV37	BV	657245.058	1077876.263	1407.381
BV38	BV	657243.584	1077876.872	1407.412
BV39	BV	657241.492	1077877.894	1407.498
BV40	BV	657239.806	1077878.863	1407.496
BV41	BV	657260.306	1077866.272	1407.051
BV42	BV	657257.777	1077867.229	1407.093
BV43	BV	657255.61	1077868.126	1407.112
BV44	BV	657253.281	1077868.894	1407.138
BV45	BV	657251.3	1077869.923	1407.205
BV46	BV	657249.278	1077871.042	1407.229
BV47	BV	657247.277	1077871.935	1407.252
BV48	BV	657244.977	1077872.834	1407.288
BV49	BV	657243.145	1077873.633	1407.4
BV50	BV	657241.014	1077874.615	1407.458
BV51	BV	657238.689	1077875.506	1407.555
BV52	BV	657236.514	1077876.331	1407.572
BV53	BV	657234.64	1077876.92	1407.569
BV54	BV	657232.303	1077877.639	1407.547
BV55	BV	657230.09	1077878.417	1407.581
BV56	BV	657227.98	1077879.222	1407.659
BV57	BV	657225.775	1077879.822	1407.704
BV58	BV	657223.701	1077880.381	1407.741
BV59	BV	657221.702	1077880.803	1407.702
BV60	BV	657219.321	1077881.329	1407.63
BV61	BV	657216.76	1077882.012	1407.541
BV62	BV	657214.503	1077882.458	1407.514
BV63	BV	657212.519	1077882.854	1407.425
BV64	BV	657210.401	1077882.996	1407.416
BV65	BV	657208.138	1077883.564	1407.403
BV66	BV	657206.177	1077884.056	1407.338
BV67	BV	657204.645	1077883.646	1407.29
BV68	BV	657203.367	1077882.87	1407.1
BV69	BV	657202.867	1077881.844	1406.955
BV70	BV	657207.338	1077894.16	1407.383
BV71	BV	657207.725	1077892.407	1407.37
BV72	BV	657208.337	1077890.879	1407.332
BV73	BV	657209.199	1077889.516	1407.299
BV74	BV	657210.477	1077888.543	1407.333
BV75	BV	657212.42	1077887.341	1407.442
BV76	BV	657215.088	1077886.34	1407.527

BV77	BV	657217.405	1077885.445	1407.601
BV78	BV	657219.685	1077884.821	1407.645
BV79	BV	657221.75	1077884.247	1407.741
BV80	BV	657223.98	1077883.582	1407.768
BV81	BV	657226.551	1077882.811	1407.754
BV82	BV	657228.568	1077882.056	1407.698
BV83	BV	657230.439	1077881.482	1407.675
BV84	BV	657231.917	1077880.96	1407.644
BV85	BV	657234.115	1077880.547	1407.607
BV86	BV	657235.752	1077880.005	1407.604
BV87	BV	657238.085	1077879.372	1407.528
BV88	BV	657240.574	1077878.613	1407.525
BV89	BV	657207.502	1077893.489	1407.43
BV90	BV	657207.751	1077895.723	1407.385
BV91	BV	657208.114	1077897.096	1407.297
BV92	BV	657208.344	1077898.622	1407.249
BV93	BV	657208.852	1077900.437	1407.133
BV94	BV	657209.259	1077902.123	1407.135
BV95	BV	657209.959	1077903.99	1407.163
BV96	BV	657210.651	1077905.864	1407.198
BV97	BV	657211.42	1077907.691	1407.301
BV98	BV	657212.203	1077909.373	1407.404
BV99	BV	657213.029	1077911.009	1407.472
BV100	BV	657213.96	1077912.907	1407.642
BV101	BV	657215.082	1077914.461	1407.816
BV102	BV	657216.131	1077915.78	1407.956
BV103	BV	657217.498	1077917.302	1408.178
BV104	BV	657219.208	1077919.008	1408.386
BV105	BV	657220.65	1077920.793	1408.544
BV106	BV	657222.16	1077923.606	1408.672
BV107	BV	657223.53	1077926.361	1408.868
BV108	BV	657224.008	1077927.799	1408.801
BV109	BV	657224.221	1077928.682	1408.931
BV110	BV	657224.816	1077930.442	1408.965
BV111	BV	657225.889	1077932.948	1409.134
BV112	BV	657226.641	1077934.581	1409.204
BV113	BV	657227.06	1077936.417	1409.288
BV114	BV	657227.805	1077938.523	1409.499
BV115	BV	657228.335	1077940.737	1409.641
BV116	BV	657228.988	1077942.914	1409.793
BV117	BV	657229.909	1077945.348	1410.047
BV118	BV	657230.559	1077947.143	1410.322
BV119	BV	657231.44	1077949.798	1410.566

BV120	BV	657232.452	1077952.478	1410.592
BV121	BV	657233.753	1077955.592	1410.731
BV122	BV	657234.546	1077958.104	1410.891
BV123	BV	657235.27	1077960.551	1411.117
BV124	BV	657235.763	1077962.688	1411.003
BV125	BV	657236.136	1077965.21	1411.088
BV126	BV	657237.212	1077967.179	1411.455
BV127	BV	657238.311	1077969.701	1411.877
BV128	BV	657239.563	1077970.462	1412.021
BV129	BV	657235.824	1077972.179	1411.973
BV130	BV	657235.595	1077971.047	1411.888
BV131	BV	657234.932	1077969.643	1411.822
BV132	BV	657234.262	1077967.708	1411.355
BV133	BV	657233.993	1077966.025	1411.088
BV134	BV	657233.216	1077964.159	1410.893
BV135	BV	657232.678	1077962.408	1410.852
BV136	BV	657232.529	1077960.261	1410.838
BV137	BV	657232.039	1077958.311	1410.67
BV138	BV	657231.382	1077956.517	1410.6
BV139	BV	657230.604	1077954.324	1410.437
BV140	BV	657230.002	1077952.408	1410.32
BV141	BV	657229.464	1077950.632	1410.264
BV142	BV	657228.825	1077948.699	1410.132
BV143	BV	657228.162	1077946.615	1409.968
BV144	BV	657227.328	1077944.231	1409.696
BV145	BV	657226.66	1077942.123	1409.542
BV146	BV	657225.978	1077940.095	1409.399
BV147	BV	657225.331	1077938.029	1409.28
BV148	BV	657224.596	1077936.011	1409.136
BV149	BV	657223.872	1077934.212	1409.072
BV150	BV	657223.027	1077931.786	1408.933
BV151	BV	657222.112	1077929.648	1408.806
BV152	BV	657221.234	1077927.627	1408.611
BV153	BV	657219.95	1077925.388	1408.459
BV154	BV	657218.9	1077923.2	1408.261
BV155	BV	657217.727	1077921.33	1408.098
BV156	BV	657216.292	1077919.647	1408.044
BV157	BV	657214.748	1077917.938	1407.936
BV158	BV	657213.282	1077916.615	1407.834
BV159	BV	657211.931	1077915.271	1407.658
BV160	BV	657210.804	1077913.536	1407.487
BV161	BV	657209.637	1077911.896	1407.312
BV162	BV	657208.874	1077910.338	1407.201

BV163	BV	657208.313	1077908.861	1407.174
BV164	BV	657207.453	1077906.678	1407.162
BV165	BV	657206.414	1077903.724	1407.123
BV166	BV	657205.719	1077901.989	1407.14
BV167	BV	657205.201	1077899.788	1407.137
BV168	BV	657204.74	1077897.843	1407.217
BV169	BV	657204.204	1077895.413	1407.234
BV170	BV	657203.635	1077893.75	1407.267
BV171	BV	657203.082	1077892.327	1407.182
BV172	BV	657202.145	1077890.78	1407.229
BV173	BV	657200.703	1077891.344	1407.21
BV174	BV	657198.402	1077892.418	1407.166
BV175	BV	657196.611	1077893.217	1407.031
BV176	BV	657193.642	1077894.255	1406.866
BV177	BV	657191.525	1077895.074	1406.692
BV178	BV	657189.097	1077896.162	1406.471
BV179	BV	657187.402	1077893.562	1406.457
BV180	BV	657188.992	1077893.042	1406.575
BV181	BV	657190.997	1077892.329	1406.649
BV182	BV	657193.126	1077891.003	1406.828
BV183	BV	657195.63	1077890.098	1406.985
BV184	BV	657198.867	1077889.674	1407.262
BV185	BV	657200.164	1077888.036	1407.261
BV186	BV	657200.684	1077886.672	1407.275
BV187	BV	657200.953	1077884.033	1407.128
BV188	BV	657199.504	1077881.665	1406.836
BV189	BV	657198.461	1077878.936	1406.518
BV190	BV	657197.414	1077875.873	1406.459
BV191	BV	657196.737	1077873.07	1406.441
BV192	BV	657196.271	1077870.542	1406.453
BV193	BV	657195.228	1077868.059	1406.488
BV194	BV	657194.254	1077865.769	1406.096
BV195	BV	657193.427	1077862.843	1405.94
BV196	BV	657192.458	1077859.633	1405.777
BV197	BV	657191.659	1077856.97	1405.651
BV198	BV	657190.757	1077854.788	1405.507
BV199	BV	657190.169	1077853.204	1405.421
BV200	BV	657189.553	1077851.203	1405.114
BV201	BV	657189.127	1077849.167	1404.942
BV202	BV	657188.637	1077847.158	1404.879
BV203	BV	657188.211	1077845.406	1404.835
BV204	BV	657187.554	1077843.8	1404.611
BV205	BV	657186.719	1077841.676	1404.409

BV206	BV	657185.791	1077839.518	1404.29
BV207	BV	657184.841	1077837.119	1404.058
BV208	BV	657184.254	1077834.999	1403.891
BV209	BV	657183.469	1077833.291	1403.721
BV210	BV	657182.373	1077831.757	1403.696
BV211	BV	657181.874	1077829.86	1403.443
BV212	BV	657181.341	1077828.349	1403.075
BV213	BV	657190.7	1077825.494	1403.551
BV214	BV	657189.083	1077825.987	1403.406
BV215	BV	657188.075	1077826.358	1403.187
BV216	BV	657186.979	1077832.407	1403.884
BV217	BV	657186.533	1077834.675	1404.219
BV218	BV	657186.951	1077836.669	1404.274
BV219	BV	657188.106	1077839.403	1404.411
BV220	BV	657189.065	1077841.553	1404.533
BV221	BV	657189.77	1077843.933	1404.656
BV222	BV	657190.397	1077845.737	1404.854
BV223	BV	657191.224	1077848.424	1404.985
BV224	BV	657192.081	1077850.753	1405.24
BV225	BV	657192.496	1077853.044	1405.385
BV226	BV	657193.078	1077854.407	1405.478
BV227	BV	657193.638	1077856.018	1405.569
BV228	BV	657194.176	1077857.84	1405.665
BV229	BV	657194.633	1077859.526	1405.754
BV230	BV	657195.245	1077861.354	1405.844
BV231	BV	657195.813	1077862.972	1405.946
BV232	BV	657196.643	1077865.275	1406.183
BV233	BV	657197.447	1077867.091	1406.476
BV234	BV	657198.036	1077868.994	1406.512
BV235	BV	657198.352	1077870.555	1406.428
BV236	BV	657198.866	1077871.841	1406.48
BV237	BV	657199.61	1077873.363	1406.545
BV238	BV	657200.409	1077875.396	1406.555
BV239	BV	657201.109	1077877.187	1406.577
BV240	BV	657201.402	1077878.342	1406.617
BV241	BV	657201.886	1077879.264	1406.656
BV242	BV	657202.254	1077880.712	1406.76
BV243	BV	657202.923	1077882.284	1406.986
BV244	BV	657203.893	1077883.407	1407.181
BV245	BV	657205.493	1077883.799	1407.342
PT1	PT	657200.015	1077870.457	1406.302
PT2	PT	657200.325	1077871.444	1406.369
PT3	PT	657200.774	1077872.66	1406.424

PT4	PT	657201.04	1077873.327	1406.349
PT5	PT	657201.393	1077874.504	1406.434
PT6	PT	657201.645	1077875.575	1406.371
PT7	PT	657201.969	1077876.556	1406.439
PT8	PT	657202.182	1077877.448	1406.505
PT9	PT	657202.455	1077878.682	1406.488
PT10	PT	657202.903	1077880.003	1406.759
PT11	PT	657203.381	1077881.435	1406.996
PT12	PT	657216.497	1077916.092	1408.009
PT13	PT	657215.59	1077914.991	1407.927
PT14	PT	657214.679	1077913.806	1407.833
PT15	PT	657214.314	1077912.43	1407.782
PT16	PT	657214.818	1077912.107	1407.926
PT17	PT	657214.63	1077911.522	1407.797
PT18	PT	657214.344	1077910.969	1407.694
PT19	PT	657213.935	1077910.312	1407.641
PT20	PT	657213.341	1077909.789	1407.544
PT21	PT	657212.995	1077908.962	1407.44
PT22	PT	657212.713	1077907.874	1407.393
PT23	PT	657212.234	1077907.326	1407.252
PT24	PT	657211.772	1077906.785	1407.281
PT25	PT	657211.536	1077906.027	1407.252
PT26	PT	657211.162	1077905.156	1407.213
PT27	PT	657210.688	1077904.145	1407.241
PT28	PT	657210.301	1077903.219	1407.277
PT29	PT	657209.849	1077902.027	1407.302
PT30	PT	657209.778	1077900.554	1407.348
PT31	PT	657209.487	1077899.581	1407.338
PT32	PT	657208.595	1077898.924	1407.238
PT33	PT	657208.327	1077897.752	1407.32
PT34	PT	657208.13	1077896.561	1407.38
PT35	PT	657207.807	1077895.243	1407.406
PT36	PT	657207.758	1077893.897	1407.51
PT37	PT	657208.008	1077892.734	1407.47
PT38	PT	657208.36	1077891.074	1407.316
PT39	PT	657209.252	1077889.675	1407.302
PT40	PT	657210.589	1077888.696	1407.393
PT41	PT	657212.378	1077887.73	1407.483
PT42	PT	657214.43	1077886.759	1407.544
PT43	PT	657216.229	1077886.516	1407.646
PT44	PT	657217.803	1077885.866	1407.678
PT45	PT	657219.295	1077885.79	1407.763
PT46	PT	657220.543	1077885.394	1407.745

PT47	PT	657221.907	1077884.911	1407.815
PT48	PT	657223.276	1077884.411	1407.733
PT49	PT	657224.597	1077883.869	1407.755
PT50	PT	657225.756	1077883.53	1407.808
PT51	PT	657235.993	1077975.422	1411.528
PT52	PT	657235.645	1077974.04	1411.44
PT53	PT	657235.293	1077971.354	1411.401
PT54	PT	657234.648	1077969.933	1411.29
PT55	PT	657234.191	1077969.165	1411.19
PT56	PT	657280.885	1077864.564	1406.244
PT57	PT	657282.117	1077864.03	1406.332
PT58	PT	657283.693	1077863.494	1406.252
PT59	PT	657285.742	1077862.684	1406.017
PT60	PT	657287.769	1077861.919	1405.829
PT61	PT	657289.525	1077861.616	1405.535
PT62	PT	657290.964	1077861.004	1405.598
PT63	PT	657292.402	1077860.68	1405.555
PT64	PT	657294.405	1077860.314	1405.367
PT65	PT	657295.951	1077860.394	1405.159
CT1	CT	657295.411	1077861.076	1405.747
CT2	CT	657294.288	1077861.079	1406.507
CT3	CT	657292.98	1077861.284	1406.61
CT4	CT	657291.369	1077862.012	1406.525
CT5	CT	657289.88	1077862.399	1406.723
CT6	CT	657288.109	1077862.864	1406.769
CT7	CT	657286.563	1077863.359	1406.815
CT8	CT	657284.855	1077863.88	1406.823
CT9	CT	657283.207	1077864.601	1406.964
CT10	CT	657281.456	1077864.988	1406.995
CT11	CT	657279.753	1077865.325	1406.867
CT12	CT	657225.493	1077883.961	1408.05
CT13	CT	657224.48	1077884.337	1408.064
CT14	CT	657223.21	1077884.787	1408.04
CT15	CT	657221.814	1077885.323	1408.017
CT16	CT	657220.498	1077885.866	1408.088
CT17	CT	657218.952	1077886.515	1408.095
CT18	CT	657217.404	1077886.68	1407.972
CT19	CT	657215.803	1077887.309	1407.86
CT20	CT	657213.944	1077887.769	1407.854
CT21	CT	657212.476	1077888.53	1407.827
CT22	CT	657211.163	1077889.25	1407.822
CT23	CT	657209.972	1077889.537	1407.711
CT24	CT	657209.117	1077890.368	1407.73

CT25	CT	657208.879	1077891.406	1407.622
CT26	CT	657208.624	1077892.833	1407.836
CT27	CT	657208.125	1077894.45	1407.939
CT28	CT	657208.396	1077895.798	1407.851
CT29	CT	657209.036	1077897.47	1407.788
CT30	CT	657209.501	1077898.878	1407.679
CT31	CT	657209.955	1077900.448	1407.647
CT32	CT	657210.107	1077900.777	1407.83
CT33	CT	657210.683	1077902.04	1407.795
CT34	CT	657210.923	1077903.297	1407.876
CT35	CT	657211.545	1077904.698	1407.936
CT36	CT	657211.766	1077905.889	1407.868
CT37	CT	657212.259	1077906.866	1408.006
CT38	CT	657213.17	1077907.66	1408.021
CT39	CT	657213.355	1077908.734	1408.052
CT40	CT	657214.372	1077909.872	1408.292
CT41	CT	657215.057	1077911.592	1408.219
CT42	CT	657215.037	1077913.291	1408.507
CT43	CT	657215.654	1077914.711	1408.18
CT44	CT	657216.712	1077915.998	1408.221
CT45	CT	657236.595	1077975.889	1412.238
CT46	CT	657236.512	1077974.948	1412.223
CT47	CT	657236.082	1077973.826	1412.115
CT48	CT	657235.656	1077972.526	1412.022
CT49	CT	657235.663	1077971.398	1411.946
CT50	CT	657235.11	1077970.209	1411.883
CT51	CT	657234.592	1077969.033	1411.579
CT52	CT	657200.572	1077870.595	1406.745
CT53	CT	657200.969	1077872.374	1406.846
CT54	CT	657201.375	1077873.605	1406.956
CT55	CT	657201.839	1077874.755	1407.17
CT56	CT	657202.162	1077875.794	1407.427
CT57	CT	657202.424	1077876.945	1407.557
CT58	CT	657202.797	1077877.931	1407.457
CT59	CT	657203.039	1077879.125	1407.349
CT60	CT	657203.448	1077880.614	1407.4
CT61	CT	657204.229	1077882.032	1407.367
FL1	FL	657293.889	1077863.383	1406.747
FL2	FL	657294.035	1077863.68	1406.658
FL3	FL	657280.302	1077867.922	1407.065
FL4	FL	657274.629	1077870.033	1407.186
FL5	FL	657273.9	1077869.855	1407.185
FL6	FL	657266.472	1077872.719	1407.283

FL7	FL	657264.026	1077873.535	1407.476
FL8	FL	657256.841	1077876.092	1407.386
FL9	FL	657250.726	1077878.516	1407.62
FL10	FL	657249.757	1077877.499	1407.677
FL11	FL	657240.608	1077880.589	1407.692
FL12	FL	657238.065	1077883.395	1408.026
FL13	FL	657228.826	1077886.101	1408.169
FL14	FL	657228.194	1077884.324	1408.087
FL15	FL	657221.492	1077886.382	1408.022
FL16	FL	657221.683	1077887.559	1407.997
FL17	FL	657211.293	1077890.851	1407.771
FL18	FL	657217.185	1077906.741	1408.306
FL19	FL	657217.194	1077909.505	1408.192
FL20	FL	657219.821	1077916.306	1408.386
FL21	FL	657220.177	1077916.192	1408.416
FL22	FL	657221.919	1077921.118	1408.607
FL23	FL	657223.767	1077925.884	1408.85
FL24	FL	657226.278	1077932.278	1409.032
FL25	FL	657228.541	1077939.379	1409.418
FL26	FL	657233.452	1077953.428	1410.66
FL27	FL	657236.939	1077962.139	1411.421
FL28	FL	657238.707	1077966.445	1411.629
FL29	FL	657239.624	1077968.281	1411.611
FL30	FL	657240.514	1077968.056	1411.722
FL31	FL	657229.262	1077971.857	1409.922
FL32	FL	657226.585	1077964.892	1409.793
FL33	FL	657222.122	1077950.689	1409.165
FL34	FL	657218.889	1077941.3	1408.6
FL35	FL	657215.599	1077931.936	1408.121
FL36	FL	657212.387	1077922.493	1407.502
FL37	FL	657209.129	1077912.661	1407.141
FL38	FL	657206.699	1077905.584	1407.117
FL39	FL	657205.488	1077905.092	1407.072
FL40	FL	657203.578	1077898.656	1407.122
FL41	FL	657204.159	1077898.346	1407.143
FL42	FL	657202.032	1077892.081	1407.203
FL43	FL	657199.89	1077892.49	1407.11
FL44	FL	657196.603	1077880.271	1406.533
FL45	FL	657198.197	1077879.784	1406.483
FL46	FL	657194.681	1077869.3	1406.371
FL47	FL	657190.748	1077859.929	1405.344
FL48	FL	657187.814	1077851.177	1404.699
FL49	FL	657185.019	1077841.011	1404.275

FL50	FL	657183.035	1077834.234	1403.756
FL51	FL	657180.348	1077826.583	1402.813
FL52	FL	657182.748	1077834.329	1403.69
PST1	PST	657286.435	1077864.093	1406.976
PST2	PST	657264.421	1077873.071	1407.514
PST3	PST	657237.245	1077882.42	1408.112
PST4	PST	657202.97	1077892.684	1407.307
PST5	PST	657212.791	1077922.146	1407.641
PST6	PST	657219.275	1077941.045	1408.634
PST7	PST	657229.739	1077972.152	1409.99
PST8	PST	657238.111	1077968.453	1411.832
TI1	TI	657233.06	1077966.287	1411.102
TRR1	TRR	657239.323	1077969.637	1411.754
TRR2	TRR	657234.477	1077975.198	1411.191
TRR3	TRR	657233.449	1077975.081	1410.732
TRR4	TRR	657233.689	1077973.476	1410.831
TRR5	TRR	657233.478	1077971.329	1411.013
TRR6	TRR	657232.212	1077972.193	1410.31
TRR7	TRR	657232.276	1077973.797	1410.423
TRR8	TRR	657231.196	1077969.41	1410.457
TRR9	TRR	657229.41	1077968.846	1410.022
TRR10	TRR	657229.002	1077966.931	1410.024
TRR11	TRR	657228.112	1077964.75	1410.044
TRR12	TRR	657231.04	1077964.527	1410.55
TRR13	TRR	657227.425	1077962.492	1410.076
TRR14	TRR	657225.584	1077960.133	1409.816
TRR15	TRR	657228.688	1077958.589	1410.332
TRR16	TRR	657228.914	1077955.237	1410.232
TRR17	TRR	657226.021	1077953.937	1409.759
TRR18	TRR	657227.62	1077950.773	1409.772
TRR19	TRR	657224.816	1077951.195	1409.529
TRR20	TRR	657225.932	1077947.728	1409.454
TRR21	TRR	657223.068	1077947.998	1409.072
TRR22	TRR	657222.045	1077945.172	1408.925
TRR23	TRR	657224.082	1077943.404	1409.059
TRR24	TRR	657223.754	1077940.339	1408.934
TRR25	TRR	657221.239	1077939.797	1408.748
TRR26	TRR	657222.137	1077936.279	1409.371
TRR27	TRR	657220.419	1077935.641	1409.377
TRR28	TRR	657218.991	1077935.385	1408.548
TRR29	TRR	657218.858	1077932.844	1409.032
TRR30	TRR	657220.857	1077931.964	1408.691
TRR31	TRR	657219.798	1077929.278	1408.455

TRR32	TRR	657217.784	1077929.308	1408.257
TRR33	TRR	657216.094	1077926.604	1407.94
TRR34	TRR	657217.601	1077924.884	1408.088
TRR35	TRR	657215.79	1077922.228	1407.963
TRR36	TRR	657214.322	1077921.942	1407.859
TRR37	TRR	657213.116	1077919.788	1407.67
TRR38	TRR	657210.801	1077918.257	1407.499
TRR39	TRR	657209.549	1077915.422	1407.744
TRR40	TRR	657216.368	1077913.159	1408.347
TRR41	TRR	657215.421	1077909.034	1408.438
TRR42	TRR	657214.299	1077904.992	1408.231
TRR43	TRR	657213.265	1077902.222	1408.076
TRR44	TRR	657212.166	1077898.664	1408.055
TRR45	TRR	657211.127	1077895.853	1408.122
TRR46	TRR	657209.957	1077894.561	1408.154
TRR47	TRR	657210.239	1077892.106	1407.872
TRR48	TRR	657212.013	1077889.744	1407.811
TRR49	TRR	657213.751	1077888.988	1407.851
TRR50	TRR	657215.6	1077888.715	1407.93
TRR51	TRR	657217.454	1077887.998	1407.997
TRR52	TRR	657219.24	1077887.442	1407.96
TRR53	TRR	657220.706	1077886.73	1408.055
TRR54	TRR	657229.366	1077882.606	1408.109
TRR55	TRR	657230.688	1077882.249	1408.068
TRR56	TRR	657232.053	1077881.784	1408.015
TRR57	TRR	657234.513	1077881.977	1407.845
TRR58	TRR	657236.349	1077881.067	1407.829
TRR59	TRR	657239.297	1077881.616	1407.599
TRR60	TRR	657249.266	1077875.382	1407.54
TRR61	TRR	657252.906	1077875.439	1407.466
TRR62	TRR	657255.943	1077874.276	1407.403
TRR63	TRR	657259.066	1077873.125	1407.314
TRR64	TRR	657262.277	1077872.198	1407.355
TRR65	TRR	657265.51	1077871.399	1407.225
TRR66	TRR	657269.569	1077869.118	1407.16
TRR67	TRR	657273.158	1077867.963	1406.992
TRR68	TRR	657275.204	1077866.844	1407.221
TRR69	TRR	657277.489	1077867.341	1407.144
TRR70	TRR	657277.779	1077865.672	1406.948
TRR71	TRR	657280.658	1077866.647	1407.006
TRR72	TRR	657281.89	1077865.627	1407.056
TRR73	TRR	657284.216	1077865.185	1406.964
TRR74	TRR	657286.874	1077864.844	1406.756

TRR75	TRR	657289.714	1077863.998	1406.715
TRR76	TRR	657291.558	1077862.772	1406.477
TRR77	TRR	657293.363	1077863.336	1406.7
TRR78	TRR	657292.578	1077853.811	1405.361
TRR79	TRR	657291.673	1077853.563	1405.223
TRR80	TRR	657291.711	1077852.13	1405.789
TRR81	TRR	657290.47	1077852.091	1406.163
TRR82	TRR	657289.378	1077852.871	1406.119
TRR83	TRR	657288.589	1077854.069	1405.987
TRR84	TRR	657289.845	1077854.081	1405.442
TRR85	TRR	657289.383	1077855.584	1405.593
TRR86	TRR	657287.342	1077856.469	1405.749
TRR87	TRR	657287.277	1077855.541	1405.615
TRR88	TRR	657286.03	1077854.498	1406.11
TRR89	TRR	657284.968	1077855.609	1406.306
TRR90	TRR	657284.728	1077856.849	1405.743
TRR91	TRR	657283.546	1077858.056	1406.197
TRR92	TRR	657281.492	1077858.696	1406.377
TRR93	TRR	657280.59	1077858.003	1406.091
TRR94	TRR	657281.466	1077856.612	1406.704
TRR95	TRR	657279.165	1077857.185	1406.862
TRR96	TRR	657278.677	1077858.705	1406.191
TRR97	TRR	657277.628	1077859.961	1406.536
TRR98	TRR	657276.313	1077859.615	1406.33
TRR99	TRR	657275.266	1077858.188	1407.138
TRR100	TRR	657273.685	1077858.606	1407.357
TRR101	TRR	657272.855	1077858.611	1407.895
TRR102	TRR	657272.846	1077860.118	1407.099
TRR103	TRR	657272.651	1077861.147	1406.649
TRR104	TRR	657271.066	1077862.262	1406.873
TRR105	TRR	657270.431	1077860.688	1407.059
TRR106	TRR	657268.954	1077860.306	1407.797
TRR107	TRR	657268.222	1077861.783	1407.434
TRR108	TRR	657268.461	1077862.845	1407.011
TRR109	TRR	657266.877	1077863.233	1407.152
TRR110	TRR	657265.897	1077862.663	1406.944
TRR111	TRR	657266.706	1077861.091	1407.475
TRR112	TRR	657264.268	1077861.255	1407.041
TRR113	TRR	657263.842	1077863.232	1406.928
TRR114	TRR	657262.085	1077862.053	1407.027
TRR115	TRR	657261.594	1077863.708	1407.156
TRR116	TRR	657260.1	1077864.817	1406.935
TRR117	TRR	657258.827	1077863.417	1407.114

TRR118	TRR	657256.881	1077863.689	1407.293
TRR119	TRR	657257.045	1077864.988	1407.23
TRR120	TRR	657256.031	1077866.924	1407.11
TRR121	TRR	657254.269	1077866.171	1407.232
TRR122	TRR	657252.081	1077865.994	1407.326
TRR123	TRR	657251.504	1077867.669	1407.137
TRR124	TRR	657250.728	1077869.409	1407.231
TRR125	TRR	657248.801	1077868.375	1407.353
TRR126	TRR	657246.776	1077868.097	1407.463
TRR127	TRR	657245.927	1077869.689	1407.435
TRR128	TRR	657245.302	1077871.526	1407.302
TRR129	TRR	657243.657	1077870.916	1407.571
TRR130	TRR	657242.146	1077870.633	1407.709
TRR131	TRR	657241.25	1077871.869	1407.56
TRR132	TRR	657240.581	1077873.48	1407.381
TRR133	TRR	657239.485	1077873.132	1407.971
TRR134	TRR	657239.279	1077871.866	1408.201
TRR135	TRR	657238.653	1077872.705	1408.3
TRR136	TRR	657238.137	1077873.868	1407.838
TRR137	TRR	657237.584	1077875.046	1407.621
TRR138	TRR	657236.759	1077874.274	1408.052
TRR139	TRR	657235.557	1077873.808	1407.545
TRR140	TRR	657234.654	1077875.355	1407.55
TRR141	TRR	657233.606	1077876.761	1407.536
TRR142	TRR	657232.455	1077875.601	1407.518
TRR143	TRR	657230.707	1077874.598	1407.593
TRR144	TRR	657229.178	1077876.456	1407.58
TRR145	TRR	657227.806	1077878.531	1407.656
TRR146	TRR	657225.658	1077877.67	1407.743
TRR147	TRR	657222.874	1077876.839	1407.818
TRR148	TRR	657221.64	1077878.754	1407.681
TRR149	TRR	657220.242	1077880.355	1407.652
TRR150	TRR	657218.226	1077878.136	1407.718
TRR151	TRR	657217.328	1077880.005	1407.671
TRR152	TRR	657215.842	1077881.4	1407.615
TRR153	TRR	657216.539	1077880.273	1407.905
TRR154	TRR	657217.051	1077878.829	1408.08
TRR155	TRR	657216.191	1077877.956	1408.568
TRR156	TRR	657215.465	1077879.244	1408.319
TRR157	TRR	657214.563	1077880.054	1408.272
TRR158	TRR	657213.226	1077878.717	1408.545
TRR159	TRR	657213.27	1077880.853	1407.795
TRR160	TRR	657213.036	1077882.111	1407.502

TRR161	TRR	657210.666	1077881.406	1407.561
TRR162	TRR	657209.471	1077879.905	1407.593
TRR163	TRR	657208.31	1077881.952	1407.521
TRR164	TRR	657204.807	1077880.226	1407.577
TRR165	TRR	657204.925	1077878.268	1407.758
TRR166	TRR	657203.732	1077878.97	1407.624
TRR167	TRR	657203.283	1077874.524	1407.913
TRR168	TRR	657202.83	1077875.965	1407.66
TRR169	TRR	657204.628	1077871.736	1407.674
TRR170	TRR	657203.879	1077871.053	1407.679
TRR171	TRR	657202.47	1077870.862	1407.406
TRR172	TRR	657201.037	1077870.688	1406.816
TRR173	TRR	657201.51	1077869.365	1406.93
TRR174	TRR	657202.057	1077868.469	1407.118
TRR175	TRR	657201.499	1077866.923	1406.941
TRR176	TRR	657200.162	1077867.13	1406.75
TRR177	TRR	657200.092	1077868.448	1406.721
TRR178	TRR	657200.305	1077874.1	1406.551
TRR179	TRR	657199.553	1077872.432	1406.487
TRR180	TRR	657198.934	1077870.649	1406.429
TRR181	TRR	657198.377	1077868.96	1406.432
TRR182	TRR	657199.592	1077866.555	1406.443
TRR183	TRR	657200.474	1077866.884	1406.854
TRR184	TRR	657201.174	1077865.82	1406.76
TRR185	TRR	657199.985	1077865.101	1406.328
TRR186	TRR	657198.546	1077864.498	1406.196
TRR187	TRR	657196.884	1077863.367	1406.038
TRR188	TRR	657197.804	1077861.742	1406.295
TRR189	TRR	657198.134	1077860.464	1406.365
TRR190	TRR	657197.601	1077860.621	1406.179
TRR191	TRR	657196.103	1077862.29	1405.895
TRR192	TRR	657196.546	1077861.565	1405.956
TRR193	TRR	657195.328	1077859.883	1405.801
TRR194	TRR	657195.871	1077858.662	1405.818
TRR195	TRR	657194.666	1077857.456	1405.721
TRR196	TRR	657195.269	1077855.518	1405.516
TRR197	TRR	657195.461	1077853.481	1405.364
TRR198	TRR	657193.976	1077853.243	1405.29
TRR199	TRR	657193.219	1077851.167	1405.142
TRR200	TRR	657192.493	1077849.463	1405.086
TRR201	TRR	657194.018	1077848.053	1404.938
TRR202	TRR	657193.925	1077846.072	1404.932
TRR203	TRR	657192.265	1077846.339	1404.943

TRR204	TRR	657191.356	1077844.343	1404.725
TRR205	TRR	657190.44	1077841.684	1404.479
TRR206	TRR	657189.492	1077838.92	1404.361
TRR207	TRR	657191.278	1077838.911	1404.367
TRR208	TRR	657189.172	1077836.92	1404.213
TRR209	TRR	657188.616	1077835.273	1404.1
TRR210	TRR	657187.768	1077832.846	1403.859
TRR211	TRR	657186.55	1077831.465	1403.861
TRR212	TRR	657186.126	1077829.251	1403.473
TRR213	TRR	657187.384	1077828.423	1403.425
TRR214	TRR	657188.947	1077827.935	1403.495
TRR215	TRR	657188.524	1077829.585	1403.692
TRR216	TRR	657188.439	1077830.991	1403.787
TRR217	TRR	657189.113	1077832.677	1403.877
TRR218	TRR	657189.552	1077835.24	1404.127
TRR219	TRR	657190.422	1077837.617	1404.254
TRR220	TRR	657191.732	1077839.813	1404.359
TRR221	TRR	657191.645	1077841.833	1404.491
TRR222	TRR	657192.312	1077844.056	1404.703
TRR223	TRR	657193.024	1077846.476	1404.876
TRR224	TRR	657185.654	1077842.537	1404.251
TRR225	TRR	657184.792	1077843.414	1404.192
TRR226	TRR	657186.745	1077844.264	1404.429
TRR227	TRR	657186.026	1077845.459	1404.473
TRR228	TRR	657187.548	1077846.302	1404.643
TRR229	TRR	657186.792	1077847.719	1404.639
TRR230	TRR	657188.28	1077848.375	1404.753
TRR231	TRR	657187.272	1077849.973	1404.674
TRR232	TRR	657188.793	1077850.904	1404.913
TRR233	TRR	657189.185	1077852.187	1404.912
TRR234	TRR	657189.025	1077852.972	1404.95
TRR235	TRR	657190.013	1077853.737	1405.24
TRR236	TRR	657190.223	1077854.852	1405.223
TRR237	TRR	657189.82	1077855.346	1405.227
TRR238	TRR	657190.826	1077856.583	1405.493
TRR239	TRR	657190.153	1077857.168	1405.377
TRR240	TRR	657191.471	1077858.046	1405.493
TRR241	TRR	657190.666	1077859.287	1405.344
TRR242	TRR	657191.994	1077860.127	1405.453
TRR243	TRR	657191.191	1077861.497	1405.667
TRR244	TRR	657192.832	1077862.844	1405.654
TRR245	TRR	657192.673	1077864.403	1405.997
TRR246	TRR	657193.887	1077865.569	1405.921

TRR247	TRR	657193.481	1077866.977	1406.136
TRR248	TRR	657194.612	1077868.243	1406.416
TRR249	TRR	657195.084	1077869.885	1406.344
TRR250	TRR	657195.917	1077871.083	1406.368
APQ1	APQ	657236.831	1077879.138	1407.907
APQ2	APQ	657190.906	1077846.71	1405.272
APQ3	APQ	657225.399	1077944.54	1409.671

**DETERMINACIÓN DE CONTENIDO DE HUMEDAD EN MUESTRAS DE SUELO.
INV E 122**

OBRA :	TRABAJO DE GRADO SAN JUAN DE VILLALOBOS
SONDEO:	1
FECHA:	15/03/2023

# MUESTRA	PROFUNDIDAD (m)	#TARA	W TARA	W INICIAL	W FINAL	% HUMEDAD
1	0.92	18	15.666	47.077	25.478	220.1
2	1.1	D	12.354	51.446	28.719	138.9
3	1.42	17	12.573	55.408	33.685	102.9
4	1.7	1	12.597	63.051	39.281	89.1

OBRA :	TRABAJO DE GRADO SAN JUAN DE VILLALOBOS
SONDEO:	2
FECHA:	15/03/2023

# MUESTRA	PROFUNDIDAD (m)	#TARA	W TARA	W INICIAL	W FINAL	% HUMEDAD
1	0.87	12	12.800	66.756	33.007	167.0
2	1.37	12F	13.115	62.510	39.832	84.9
3	1.85	17	11.822	82.992	54.419	67.1

OBRA :	TRABAJO DE GRADO SAN JUAN DE VILLALOBOS
SONDEO:	3
FECHA:	15/03/2023

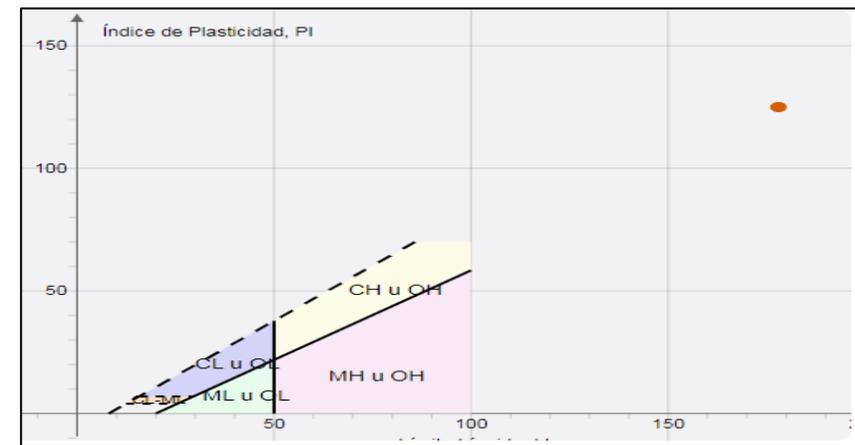
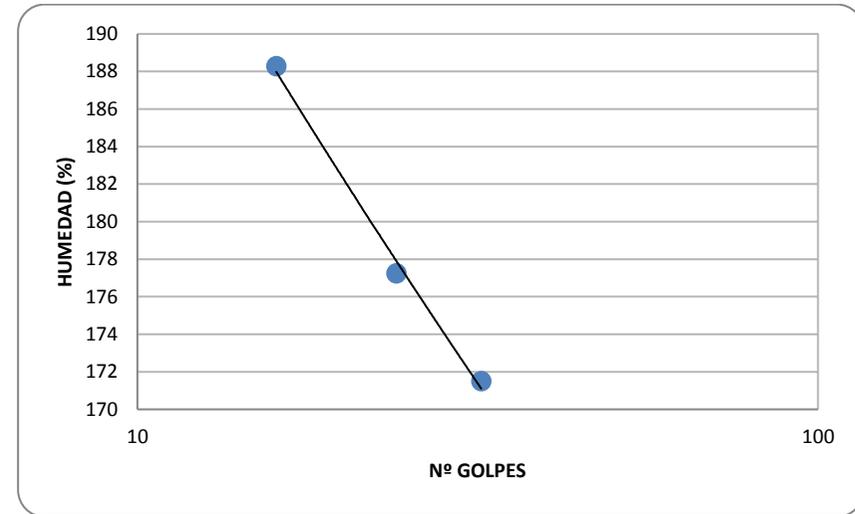
# MUESTRA	PROFUNDIDAD (m)	#TARA	W TARA	W INICIAL	W FINAL	% HUMEDAD
1	0.75	F	11.784	53.232	26.613	179.5
2	1.2	14	14.854	69.026	41.727	101.6
3	1.38	17T	12.094	83.494	61.22	45.3

ENSAYO LIMITES DE ATTERBERG INV E 125 - 126			
FECHA	15/03/2023		
OBRA	SAN JUAN DE VILLALOBOS		
SONDEO	2	MUESTRA	1
PROFUNDIDAD (m)	0.87		

RESULTADOS DE LIMITES	
Limite liquido	178
Limite plástico	53
Índice de plasticidad	125
Clasificación	CH

LIMITE LIQUIDO			
Numero de golpes	32	24	16
W Cap. + Suelo Húmedo	23.789	23.74	23.73
W Cap. + Suelo seco	16.895	17.808	18.831
Peso Capsula	12.875	14.461	16.229
Peso del Agua	6.894	5.932	4.899
Peso Suelo Seco	4.02	3.347	2.602
Humedad	171	177	188

LIMITE PLASTICO		
W Cap. + Suelo Húmedo	21.985	24.952
W Cap. + Suelo seco	18.47	20.577
Peso Capsula	11.785	12.32
Peso del Agua	3.515	4.375
Peso Suelo Seco	6.685	8.257
Humedad	53	53
Promedio LP	53	

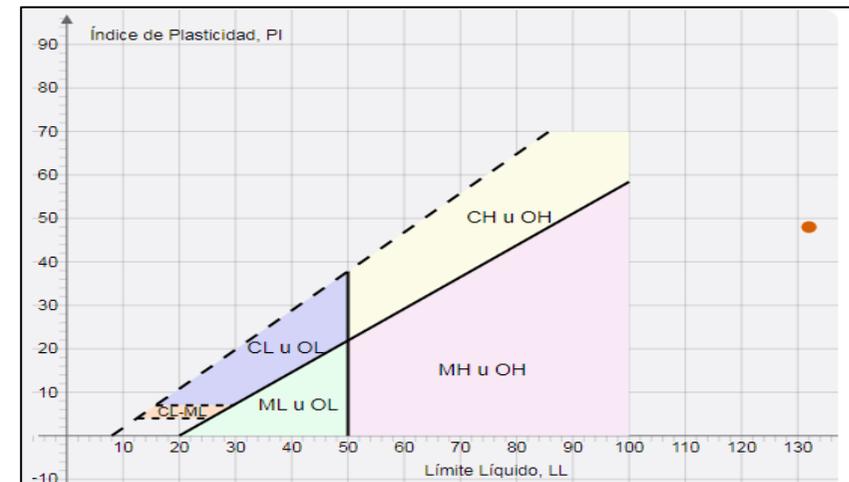
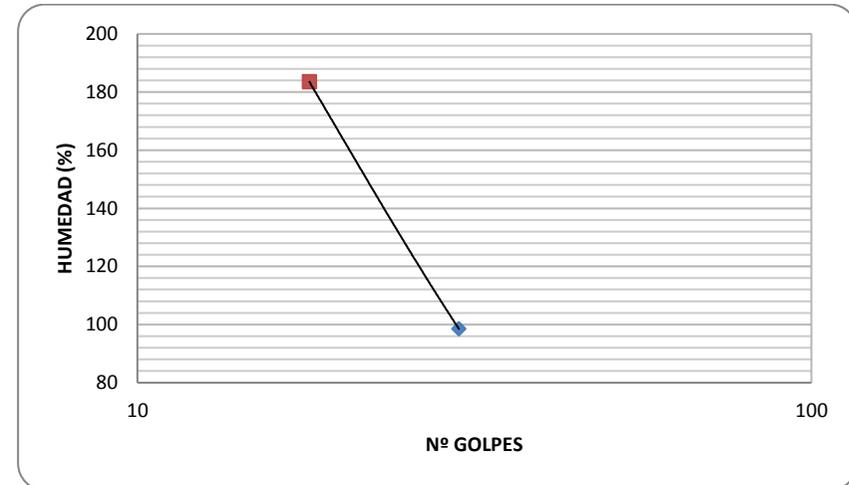


ENSAYO LIMITES DE ATTERBERG INV E 125 - 126			
FECHA	15/03/2023		
OBRA	SAN JUAN DE VILLALOBOS		
SONDEO	2	MUESTRA	2
PROFUNDIDAD (m)	1.37		

RESULTADOS DE LIMITES	
Limite liquido	132
Limite plástico	84
Índice de plasticidad	48
Clasificación	MH

LIMITE LIQUIDO			
Numero de golpes	30		18
W Cap. + Suelo Húmedo	23.129		26.127
W Cap. + Suelo seco	19.242		21.796
Peso Capsula	15.295		19.436
Peso del Agua	3.887		4.331
Peso Suelo Seco	3.947		2.36
Humedad	98		184

LIMITE PLASTICO			
W Cap. + Suelo Húmedo	25.658	24.09	
W Cap. + Suelo seco	21.049	19.534	
Peso Capsula	15.576	14.112	
Peso del Agua	4.609	4.556	
Peso Suelo Seco	5.473	5.422	
Humedad	84	84	
Promedio LP	84		

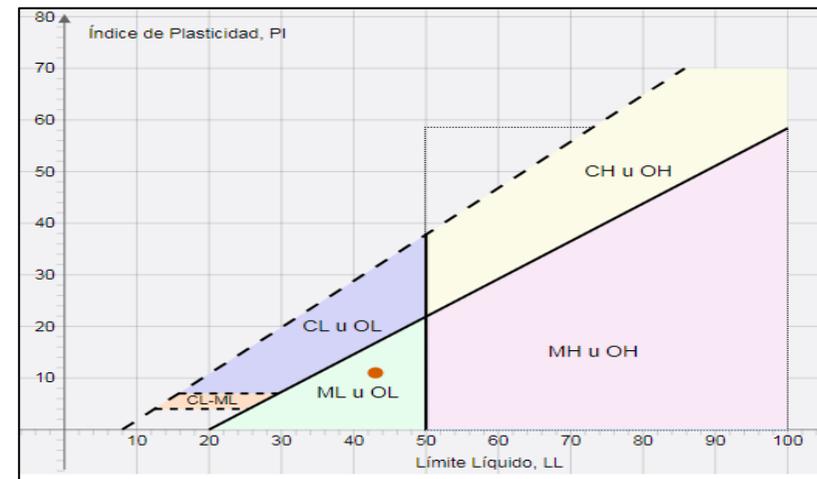
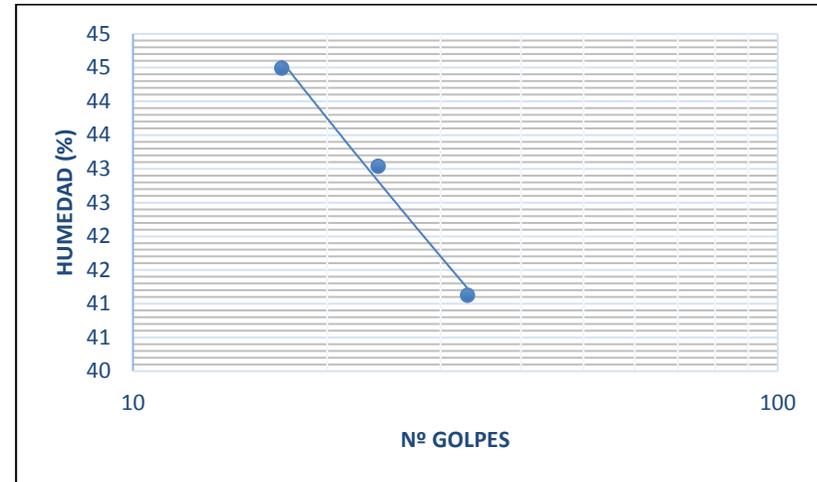


ENSAYO LIMITES DE ATTERBERG INV E 125 - 126			
FECHA	15/03/2023		
OBRA	SAN JUAN DE VILLALOBOS		
SONDEO	2	MUESTRA	3
PROFUNDIDAD (m)	1.85		

RESULTADOS DE LIMITES	
Límite líquido	43
Límite plástico	32
Índice de plasticidad	11
Clasificación	ML

LIMITE LIQUIDO			
Numero de golpes	33	24	17
W Cap. + Suelo Húmedo	28.633	29.503	23.306
W Cap. + Suelo seco	25	25.505	19.761
Peso Capsula	15.682	16.215	11.793
Peso del Agua	4	3.998	3.545
Peso Suelo Seco	9	9.29	7.968
Humedad	41	43	44

LIMITE PLASTICO		
W Cap. + Suelo Húmedo	39.826	35.804
W Cap. + Suelo seco	34.042	30.385
Peso Capsula	15.8	13.096
Peso del Agua	5.784	5.419
Peso Suelo Seco	18.242	17.289
Humedad	32	31
Promedio LP	32	



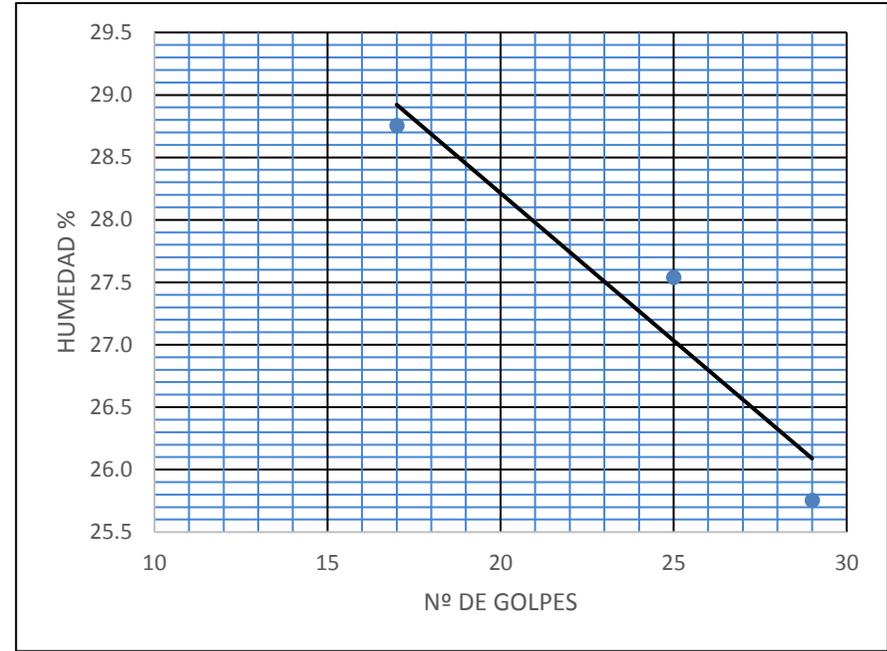
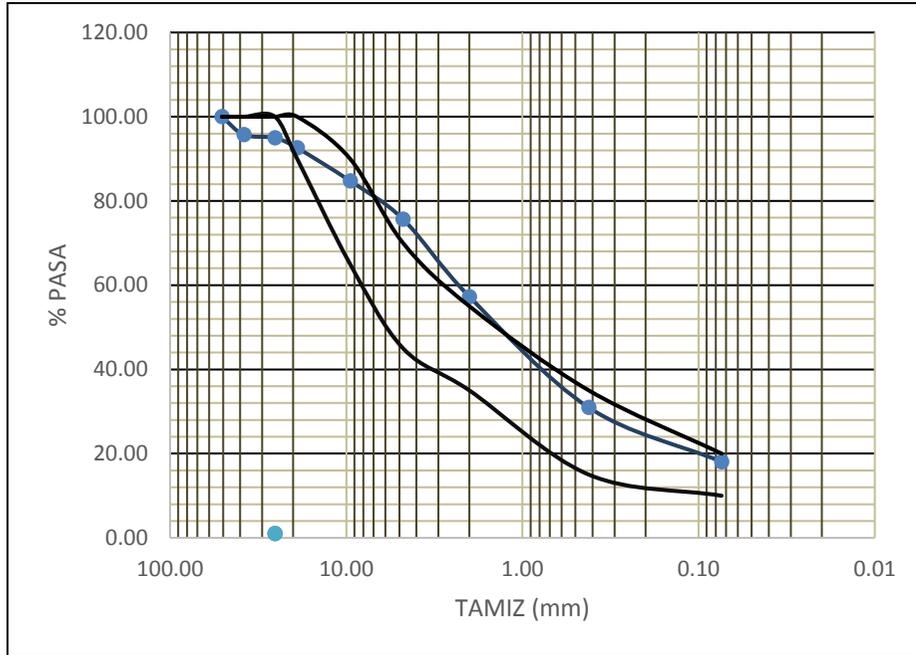
ANÁLISIS GRANULOMETRICO DE SUELOS POR TAMIZADO INV E 123 -13	
FECHA	25/03/2023
OBRA	SAN JUAN DE VILLALOBOS
MUESTRA	2
DESCRIPCION	SUELO COLOR AMARILLO

Peso Muestra total húmeda antes de lavado (gr)	5285.00
Peso Muestra seca antes de lavar (gr)	4785.0
Muestra total seca después de lavar (gr)	4295.00

TAMIZ		PESO		PORCENTAJE			ESPECIFICACIÓN ARTICULO: 311 - 13	
PULGADA	mm	RET	RET %	RET. ACUM.	PASA			
2"	50.80	0.00	0.00	0.00	100.00	100.00	100.00	
1 ½"	38.10	205.00	4.28	4.28	95.72	100.00	100.00	
1"	25.40	35.00	0.73	5.02	94.98	100.00	100.00	
¾"	19.00	115.00	2.40	7.42	92.58	90.00	100.00	
3/8"	9.51	375.00	7.84	15.26	84.74	65.00	90.00	
No. 4	4.76	435.00	9.09	24.35	75.65	45.00	70.00	
No.10	2.00	880.00	18.39	42.74	57.26	35.00	55.00	
No. 40	0.42	1260.00	26.33	69.07	30.93	15.00	35.00	
No. 200	0.074	615.00	12.85	81.92	18.08	10.00	20.00	
P/200	P/0,074	375.00	18.08	100.00	0.0			
pasa 200 al lavar		490.00						

LIMITES DE ATTERBERG INV E 125, 126 – 13			
LIMITE LIQUIDO			
Numero de golpes	29	25	17
W Cap. + Suelo Húmedo	28.195	31.02	30.133
W Cap. + Suelo seco	25.028	27.357	26.320
Peso Capsula	12.73	14.056	13.059
Peso del Agua	3.167	3.663	3.813
Peso Suelo Seco	12.298	13.301	13.261
Humedad	26	28	29

LIMITE PLASTICO		
W Cap. + Suelo Húmedo	21.653	21.997
W Cap. + Suelo seco	20.555	20.755
Peso Capsula	14.056	13.086
Peso del Agua	1.098	1.242
Peso Suelo Seco	6.499	7.669
Humedad	17	16
Promedio LP	17	



RESULTADOS

GRAVAS %	24.3469
ARENA %	57.5758
FINO %	18.0773

RESULTADOS DE LIMITES	
Limite liquido	28
Limite plástico	17
Índice de plasticidad	11
Clasificación	CL

CLASIFICACION

D60	2.4
D30	0.37
D10	0
Cu	0
Cc.	0

 S.U.C.S SC

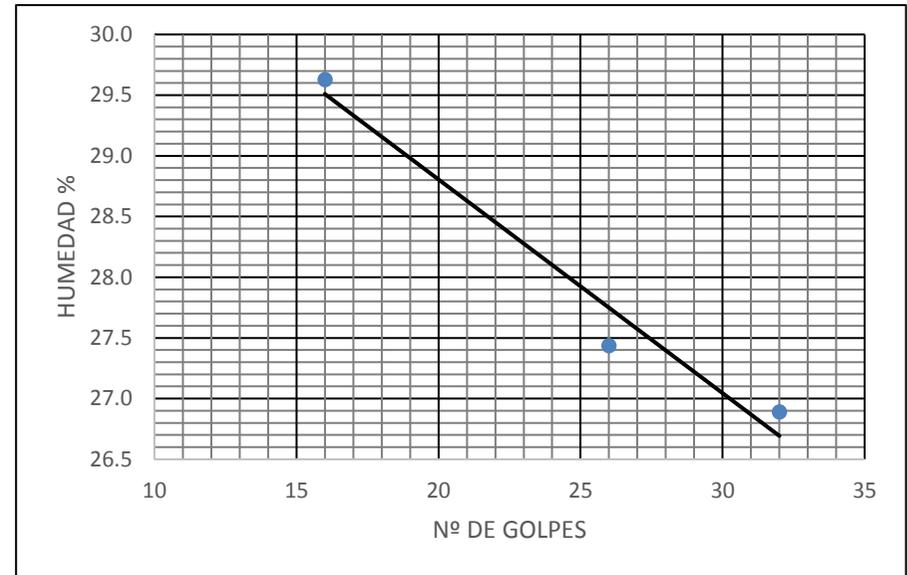
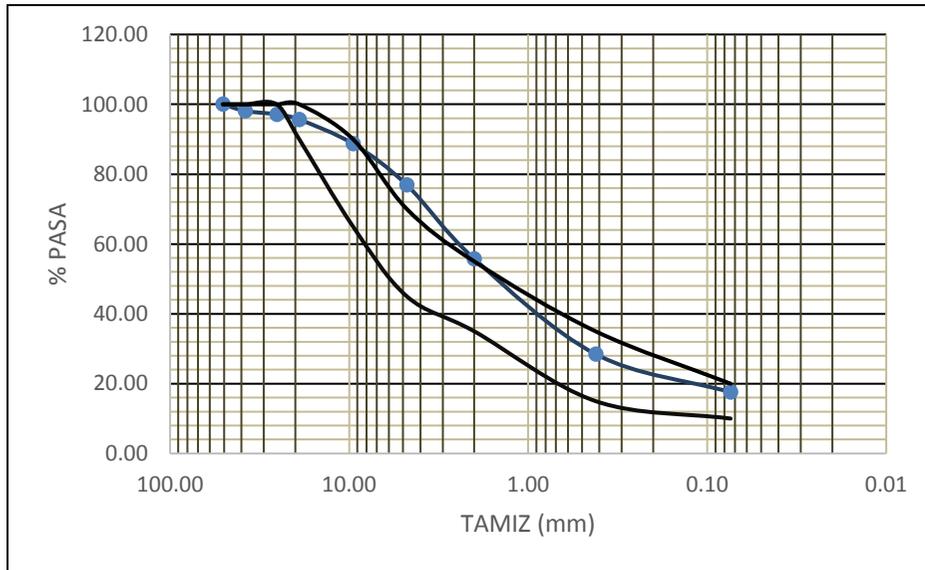
ANÁLISIS GRANULOMETRICO DE SUELOS POR TAMIZADO INV E 123 -13	
FECHA	25/03/2023
OBRA	SAN JUAN DE VILLALOBOS
MUESTRA	1
DESCRIPCION	SUELO COLOR ROJIZO

Peso Muestra total húmeda antes de lavado (gr)	5375.00
Peso Muestra seca antes de lavar (gr)	5040.00
Muestra total seca después de lavar (gr)	4225.00

TAMIZ		PESO	PORCENTAJE			ESPECIFICACIÓN ARTICULO: 311 - 13	
PULGADA	mm	RET	RET %	RET. ACUM.	PASA		
2"	50.80	0.00	0.00	0.00	100.00	100.00	100.00
1 ½"	38.10	95.00	1.88	1.88	98.12	100.00	100.00
1"	25.40	50.00	0.99	2.88	97.12	100.00	100.00
¾"	19.00	75.00	1.49	4.37	95.63	90.00	100.00
3/8"	9.51	350.00	6.94	11.31	88.69	65.00	90.00
No. 4	4.76	595.00	11.81	23.12	76.88	45.00	70.00
No.10	2.00	1065.00	21.13	44.25	55.75	35.00	55.00
No. 40	0.42	1375.00	27.28	71.53	28.47	15.00	35.00
No. 200	0.074	550.00	10.91	82.44	17.56	10.00	20.00
P/200	P/0,074	70.00	17.56	100.00	0.0		
pasa 200 al lavar		815.00					

LIMITES DE ATTERBERG INV E 125, 126 – 13			
LIMITE LIQUIDO			
Numero de golpes	32	26	16
W Cap. + Suelo Húmedo	28.001	31.565	32.378
W Cap. + Suelo seco	24.945	28.333	28.460
Peso Capsula	13.580	16.552	15.236
Peso del Agua	3.056	3.232	3.918
Peso Suelo Seco	11.365	11.781	13.224
Humedad	27	27	30

LIMITE PLASTICO		
W Cap. + Suelo Húmedo	21.653	21.997
W Cap. + Suelo seco	20.555	20.755
Peso Capsula	14.056	13.086
Peso del Agua	1.098	1.242
Peso Suelo Seco	6.499	7.669
Humedad	17	16
Promedio LP	17	



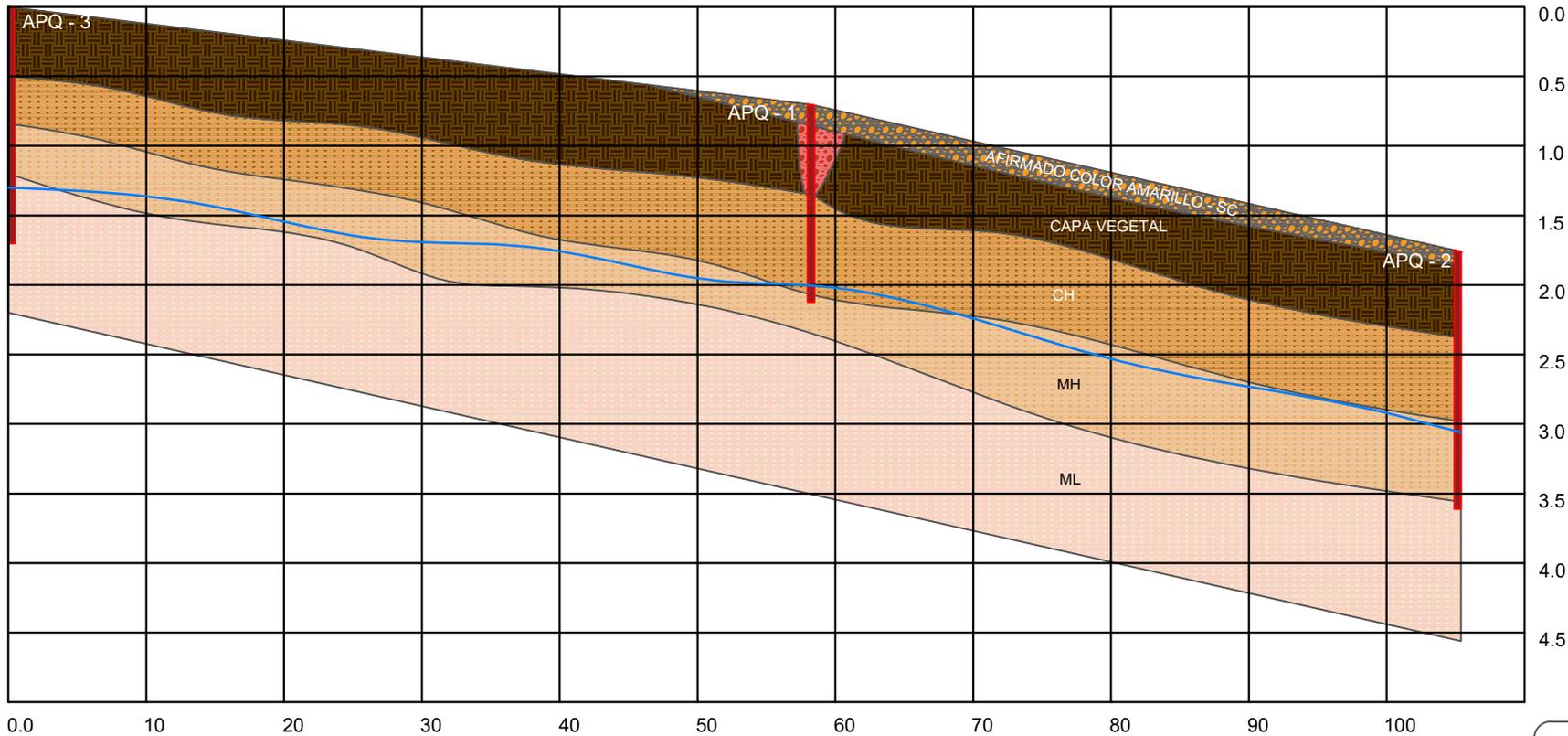
GRAVAS %	23.115
ARENA %	59.325
FINO %	17.560

RESULTADOS DE LIMITES	
Limite liquido	27.9
Limite plástico	17
Índice de plasticidad	11
Clasificación	CL

CLASIFICACION

D60	2.4
D30	1.66
D10	0
Cu	0
Cc	0

S.U.C.S SC



MUESTRAS ALTERADAS DE SUELO		
SONDEO	MUESTRA	PROFUNDIDAD (m)
1	1	0.92
	2	1.10
	3	1.42
2	1	0.87
	2	1.37
	3	1.85
3	1	0.75
	2	1.20
	3	1.38
	4	1.70

COORDENADAS PLANAS CARTESIANAS DE LOS APIQUES

APQ-1	NORTE: 657236.831
	ESTE: 1077879.138
APQ-2	NORTE: 657190.906
	ESTE: 1077846.710
APQ-3	NORTE: 657225.399
	ESTE: 1077944.540

PROFUNDIDAD A LA QUE SE TOMÓ MUESTRA CBR

APQ-1	0.67 m
APQ-2	0.62 m
APQ-3	0.50 m

CONVENCIONES:

	AFIRMADO COLOR AMARILLO - SC		MH		SONDEOS
	CAPA VEGETAL		ML		AFIRMADO COLOR ROJIZO - SC
	CH				

LOCALIZACIÓN GENERAL



UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

DISEÑADOR:
JERSON STEVE GUEVARA RUALES
DARVIN SEBASTIAN RAMIREZ HOYOS

CONTIENE:
Perfil estratigráfico realizado a partir de la evaluación visual y de laboratorio de las muestras de suelo tomadas para el trabajo de grado "DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO PARA LA CARRERA OCTAVA ENTRE CALLE PRIMERA Y SEGUNDA, Y LA CALLE PRIMERA ENTRE LA CARRERA SÉPTIMA Y NOVENA DEL CORREGIMIENTO DE SAN JUAN DE VILLOBOS."

EQUIPO UTILIZADO:
Ensayos de Campo y de Laboratorio

FECHA:
27 MARZO 2023

PLANO No.
1-1

ESCALA:
HORIZONTAL 1:500
VERTICAL 1:50



Obra : Trabajo de grado SJV

Descripción : _____

Fecha : 06-03-23

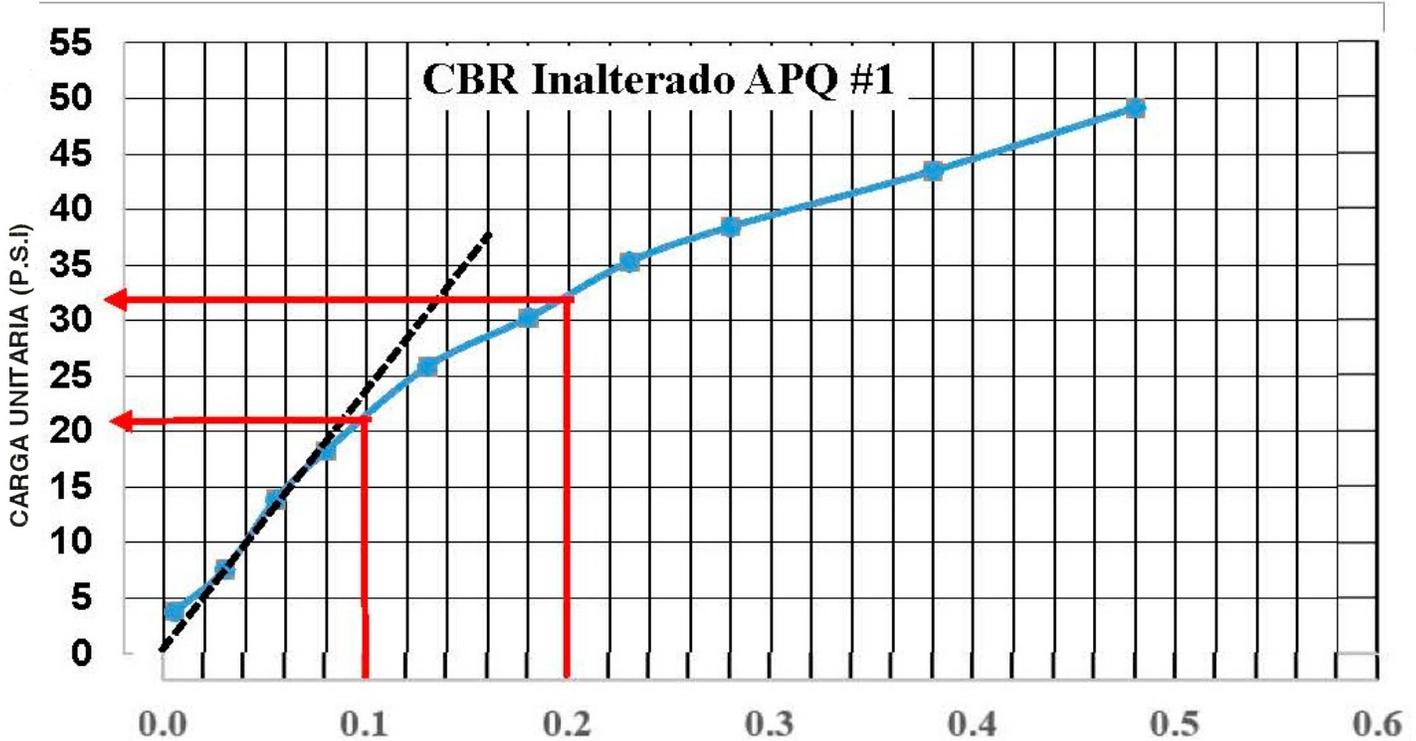
Localización : San Juan de Villalobos

Apique N° : 2

ENSAYO DE CBR

Molde N°		12
Peso muestra húmeda más molde (g.)		8060
Peso molde (g.)		4070
Peso muestra húmeda (g.)		3990
Humedad de horno (%)		165,5
Peso muestra seca (g.)		1502,8
Volumen del molde (cm³)		3243
Densidad muestra seca (g/cm³)		0,463

Molde N°	12		
Días inmersión			
Expansión (%)			
PENETRACION	LECT.	PRESION	CBR
0,025 Pg.	6	3,78	
0,050 Pg.	12	7,56	
0,075 Pg.	22	13,86	
0,100 Pg.	29	18,27	1,83
0,150 Pg.	41	25,83	1,72
0,200 Pg.	48	30,24	2,02
0,250 Pg.	56	35,28	
0,300 Pg.	61	38,43	
0,400 Pg.	69	43,47	
0,500 Pg.	78	49,74	
% W PENETRACION			
CONSTANTE DEL ANILLO:	0,63	PSI	



CBR a 0,1" = $\frac{\text{Carga unitaria leída a 0,1}}{1000}$

CBR a 0,2" = $\frac{\text{Carga unitaria leída a 0,2}}{1500}$

Ingeniero _____

Geotecnólogo _____



Obra : Trabajo de Grado SJU

Descripción :

Fecha : 06/03/23

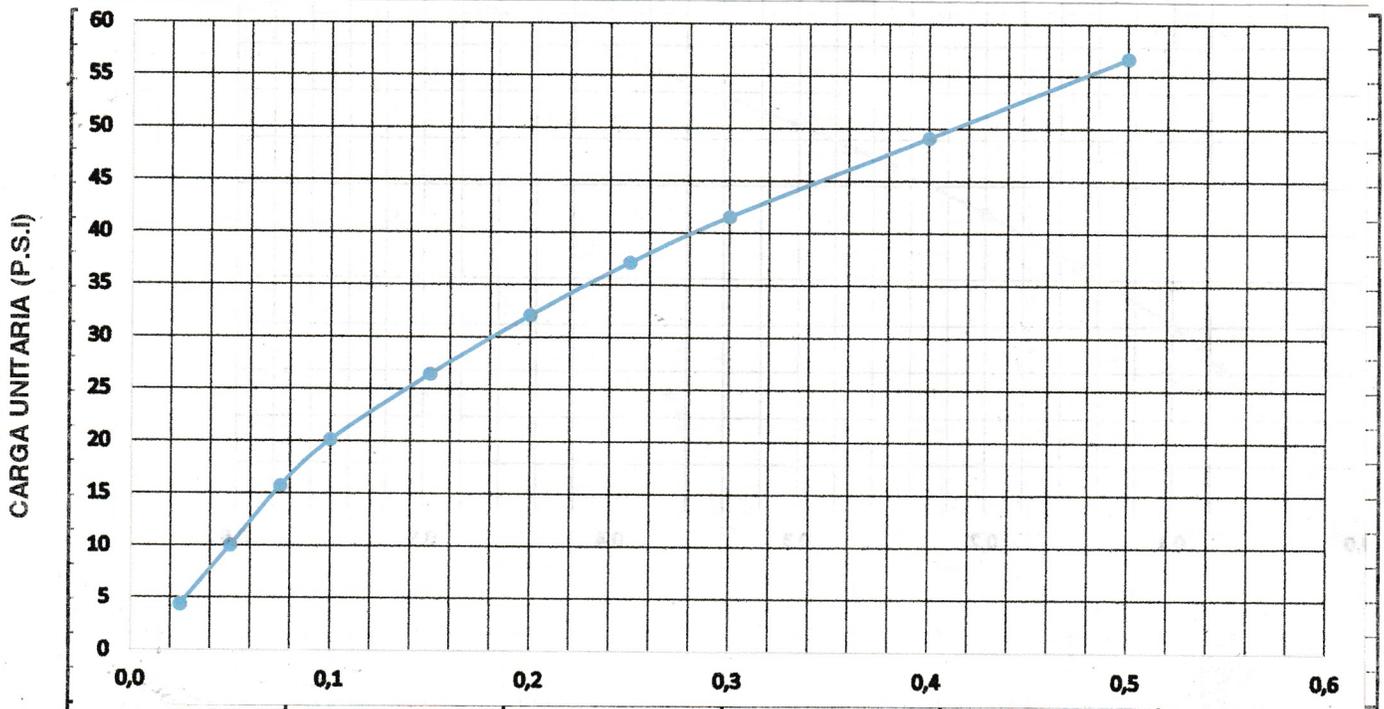
Localización : San Juan de Villalobos

Apique N° : 2

ENSAYO DE CBR

Molde N°		13
Peso muestra húmeda más molde (g.)		8265
Peso molde (g.)		4050
Peso muestra húmeda (g.)		4215
Humedad de horno (%)		149,5
Peso muestra seca (g.)		1689,37
Volumen del molde (cm ³)		3243
Densidad muestra seca (g/cm ³)		0,521

Molde N°	13		
Días inmersión			
Expansión (%)			
PENETRACION	LECT.	PRESION	CBR
0,025 Pg.	7	4,47	
0,050 Pg.	16	10,08	
0,075 Pg.	25	15,75	
0,100 Pg.	32	20,16	2,02
0,150 Pg.	42	26,46	2,74
0,200 Pg.	51	32,73	
0,250 Pg.	59	37,77	
0,300 Pg.	66	47,58	
0,400 Pg.	78	49,74	
0,500 Pg.	90	56,7	
% W PENETRACION			
CONSTANTE DEL ANILLO: 0.63			PSI



CBR a 0,1" = $\frac{\text{Carga unitaria leída a 0,1}}{1000}$

CBR a 0,2" = $\frac{\text{Carga unitaria leída a 0,2}}{1500}$

Ingeniero _____

Geotecnólogo _____



Obra : Trabajo de Grado Sju

Descripción :

Fecha : 06/03/23

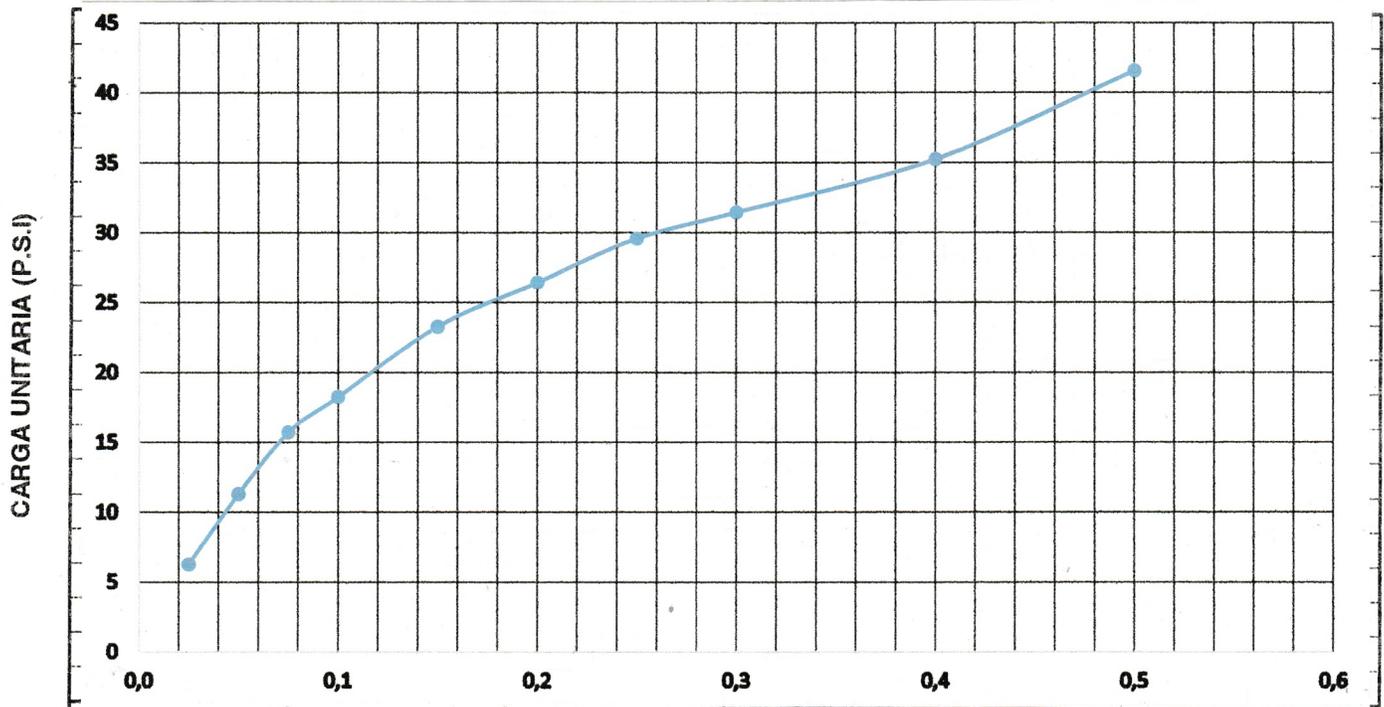
Localización : San Juan de Villalobos

Apique N° : 3

ENSAYO DE CBR

Molde N°		18
Peso muestra húmeda más molde (g.)		8025
Peso molde (g.)		4085
Peso muestra húmeda (g.)		3940
Humedad de horno (%)		151,7
Peso muestra seca (g.)		1565,4
Volumen del molde (cm ³)		3243
Densidad muestra seca (g/cm ³)		0,483

Molde N°	18		
Dias inmersión			
Expansión (%)			
PENETRACION	LECT.	PRESION	CBR
0,025 Pg.	10	6,3	
0,050 Pg.	18	77,34	
0,075 Pg.	25	75,75	
0,100 Pg.	29	78,27	7,83
0,150 Pg.	37	23,37	
0,200 Pg.	42	26,46	7,76
0,250 Pg.	47	29,67	
0,300 Pg.	50	37,5	
0,400 Pg.	56	35,28	
0,500 Pg.	66	47,58	
% W PENETRACION			
CONSTANTE DEL ANILLO:	0.63	PSI	



CBR a 0,1" = $\frac{\text{Carga unitaria leída a 0,1}}{1000}$

CBR a 0,2" = $\frac{\text{Carga unitaria leída a 0,2}}{1500}$

Ingeniero _____

Geotecnólogo _____

ANEXO 8. ESTUDIO DE TRÁNSITO

DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO PARA LA CARRERA OCTAVA ENTRE CALLE PRIMERA Y SEGUNDA, Y LA CALLE PRIMERA ENTRE LA CARRERA SÉPTIMA Y NOVENA DEL CORREGIMIENTO DE SAN JUAN DE VILLALOBOS.

JERSON STEVE GUEVARA RUALES Cd. 100418010094

DARVIN SEBASTIAN RAMIREZ HOYOS Cd. 100418011246



Universidad
del Cauca

ESTUDIO DE TRÁNSITO

AFORADOR	Jerson Steve Guevara Ruales
FECHA	28 de febrero de 2023
UBICACIÓN	San Juan de Villalobos
CLIMA	Lluvioso
REVISOR	Darvin Sebastian Ramirez Hoyos

RANGO HORA	AUTOS	BUSES	MOTOS	CAMIONES			
				C2	C3 Y C4	C5	>C5
7-8 am	3	0	5	0	0	0	0
8-9 am	0	0	2	0	0	0	0
9-10 am	1	0	0	0	0	0	0
10-11 am	1	0	1	0	0	0	0
11-12 pm	0	0	3	0	0	0	0
12-1 pm	0	0	2	0	0	0	0
1-2 pm	0	0	5	0	0	0	0
2-3 pm	2	0	1	0	0	0	0
3-4 pm	2	0	1	0	0	0	0
4-5 pm	0	0	3	0	0	0	0
5-6 pm	3	0	4	0	0	0	0
SUMATORIA	12	0	27	0	0	0	0

AFORADOR	Jerson Steve Guevara Ruales
FECHA	01/03/2023
UBICACIÓN	San Juan de Villalobos
CLIMA	Nublado
REVISOR	Darvin Sebastian Ramirez Hoyos

RANGO HORA	AUTOS	BUSES	MOTOS	CAMIONES			
				C2	C3 Y C4	C5	>C5
7-8 am	2	0	7	0	0	0	0
8-9 am	1	0	3	0	0	0	0
9-10 am	0	0	1	0	0	0	0
10-11 am	0	0	0	0	0	0	0
11-12 pm	1	0	4	0	0	0	0
12-1 pm	0	0	3	0	0	0	0
1-2 pm	1	0	2	0	0	0	0
2-3 pm	1	0	0	0	0	0	0
3-4 pm	0	0	1	0	0	0	0
4-5 pm	2	0	5	0	0	0	0
5-6 pm	2	0	3	0	0	0	0
SUMATORIA	10	0	29	0	0	0	0

AFORADOR	Jerson Steve Guevara Ruales
FECHA	02/03/2023
UBICACIÓN	San Juan de Villalobos
CLIMA	Soleado
REVISOR	Darvin Sebastian Ramirez Hoyos

RANGO HORA	AUTOS	BUSES	MOTOS	CAMIONES			
				C2	C3 Y C4	C5	>C5
7-8 am	1	0	3	0	0	0	0
8-9 am	2	0	5	0	0	0	0
9-10 am	0	0	4	0	0	0	0
10-11 am	0	0	2	0	0	0	0
11-12 pm	0	0	1	0	0	0	0
12-1 pm	1	0	4	0	0	0	0
1-2 pm	2	0	1	0	0	0	0
2-3 pm	0	0	0	0	0	0	0
3-4 pm	1	0	2	0	0	0	0
4-5 pm	2	0	6	0	0	0	0
5-6 pm	3	0	2	0	0	0	0
SUMATORIA	12	0	30	0	0	0	0

AFORADOR	Jerson Steve Guevara Ruales
FECHA	03/03/2023
UBICACIÓN	San Juan de Villalobos
CLIMA	Nublado
REVISOR	Darvin Sebastian Ramirez Hoyos

RANGO HORA	AUTOS	BUSES	MOTOS	CAMIONES			
				C2	C3 Y C4	C5	>C5
7-8 am	2	0	3	0	0	0	0
8-9 am	2	0	5	0	0	0	0
9-10 am	1	0	1	0	0	0	0
10-11 am	3	0	0	0	0	0	0
11-12 pm	0	0	0	0	0	0	0
12-1 pm	1	0	4	0	0	0	0
1-2 pm	0	0	2	0	0	0	0
2-3 pm	0	0	0	0	0	0	0
3-4 pm	1	0	1	0	0	0	0
4-5 pm	1	0	6	0	0	0	0
5-6 pm	3	0	1	0	0	0	0
SUMATORIA	14	0	23	0	0	0	0

AFORADOR	Darvin Sebastian Ramirez Hoyos
FECHA	04/03/2023
UBICACIÓN	San Juan de Villalobos
CLIMA	Nublado
REVISOR	Jerson Steve Guevara Ruales

RANGO HORA	AUTOS	BUSES	MOTOS	CAMIONES			
				C2	C3 Y C4	C5	>C5
7-8 am	3	0	3	0	0	0	0
8-9 am	1	0	5	0	0	0	0
9-10 am	1	0	3	0	0	0	0
10-11 am	0	0	1	0	0	0	0
11-12 pm	1	0	0	0	0	0	0
12-1 pm	0	0	3	0	0	0	0
1-2 pm	2	0	2	0	0	0	0
2-3 pm	1	0	1	0	0	0	0
3-4 pm	0	0	1	0	0	0	0
4-5 pm	1	0	7	0	0	0	0
5-6 pm	2	0	1	0	0	0	0
SUMATORIA	12	0	27	0	0	0	0

AFORADOR	Darvin Sebastian Ramirez Hoyos
FECHA	05/03/2023
UBICACIÓN	San Juan de Villalobos
CLIMA	Lluvioso
REVISOR	Jerson Steve Guevara Ruales

RANGO HORA	AUTOS	BUSES	MOTOS	CAMIONES			
				C2	C3 Y C4	C5	>C5
7-8 am	4	0	2	0	0	0	0
8-9 am	1	0	2	0	0	0	0
9-10 am	2	0	1	0	0	0	0
10-11 am	0	0	3	0	0	0	0
11-12 pm	0	0	4	0	0	0	0
12-1 pm	1	0	2	0	0	0	0
1-2 pm	1	0	0	0	0	0	0
2-3 pm	2	0	1	0	0	0	0
3-4 pm	1	0	2	0	0	0	0
4-5 pm	1	0	1	0	0	0	0
5-6 pm	3	0	4	0	0	0	0
SUMATORIA	16	0	22	0	0	0	0

TRÁNSITO POR CONSTRUCCIÓN

Excavación de material

espesor promedio según perfil estratigráfico de capa vegetal	0.5
Retiro de material de subrasante [m]	0.15

Estructura de pavimento supuesta:

Losa de concreto [m]	0.15
Subbase granular [m]	0.15
Mejoramiento de subrasante [m]	0.35

Longitud de vías

Carrera 8 entre Calle 1 y 2 [m]	90
Calle 1 entre carrera 8 y 9 [m]	75
Calle 1 entre carrera 7 y 8 [m]	75

Ancho de vía según EOT

Ancho de dos (2) carriles [m]	6.5
-------------------------------	-----

Cantidad de material a transportar

Excavación material orgánico y de subrasante [m ³]	634
Agregados pétreos y concreto [m ³]	809.25
TOTAL [m³]	1443

Capacidad de vehículo supuesto C2 volqueta convencional [m ³]	8
---	---

Número de repeticiones	181
-------------------------------	------------

TRANSITO DEDUCIDO

Tipo de vehículo	Tránsito anual
C3	72
C5	72
>C5	72

TRANSITO DE DISEÑO

Periodo de diseño n [años]	20
Factor carril Fc	1
Factor dirección Fd	0.5
Tasa de crecimiento r [%]	1.85
Confiabilidad 80%, Zr=0.841	
N: Número de repeticiones en el periodo de diseño	

TRÁNSITO POR CONSTRUCCIÓN

EJE	CARGA [Ton]	N	Zr	Nesperado
SIMPLE RUEDA SIMPLE	6	181	0.841	200
SIMPLE RUEDA DOBLE	11	181	0.841	200

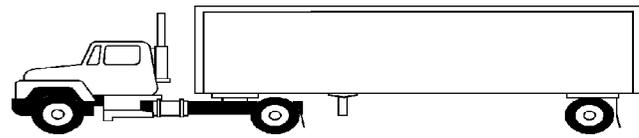
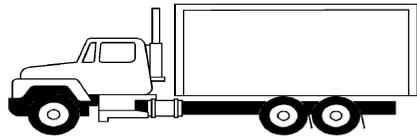
TRÁNSITO DEDUCIDO

EJE	CARGA [Ton]	Tránsito anual	N	Zr	Nesperado
SIMPLE RUEDA SIMPLE	6	216	2586	0.841	2849
TANDEM	22	144	1724	0.841	1900
	21	72	862	0.841	950
TRIDEM	24	72	862	0.841	950

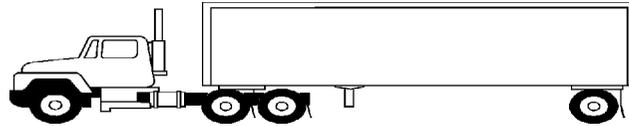
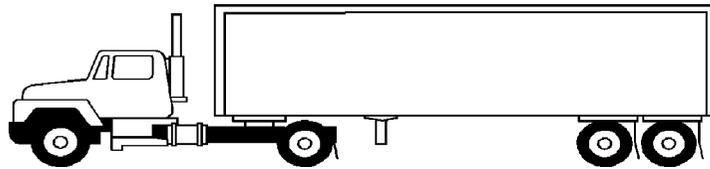
TRÁNSITO DE DISEÑO

EJE	CARGA [Ton]	Nesperado
SIMPLE RUEDA SIMPLE	6	3049
SIMPLE RUEDA DOBLE	11	200
TANDEM	22	1900
	21	950
TRIDEM	24	950

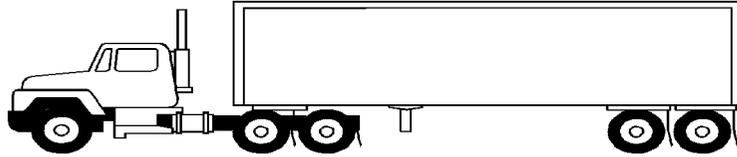
C3



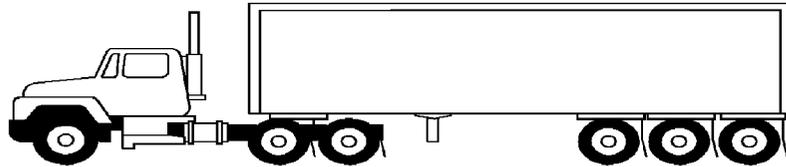
C4



C5



>C5



ANEXO 9. TASA DE CRECIMIENTO

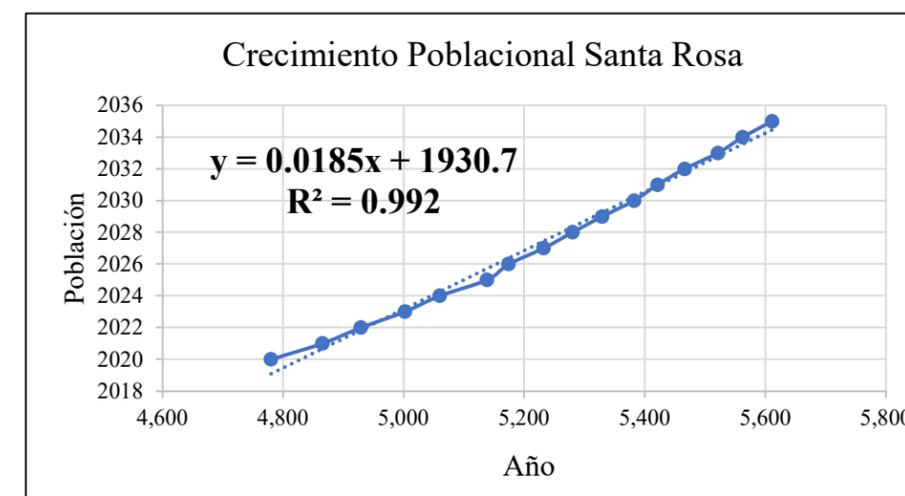
DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO PARA LA CARRERA OCTAVA ENTRE CALLE PRIMERA Y SEGUNDA, Y LA CALLE PRIMERA ENTRE LA CARRERA SÉPTIMA Y NOVENA DEL CORREGIMIENTO DE SAN JUAN DE VILLALOBOS.

JERSON STEVE GUEVARA RUALES Cd. 100418010094

DARVIN SEBASTIAN RAMIREZ HOYOS Cd. 100418011246



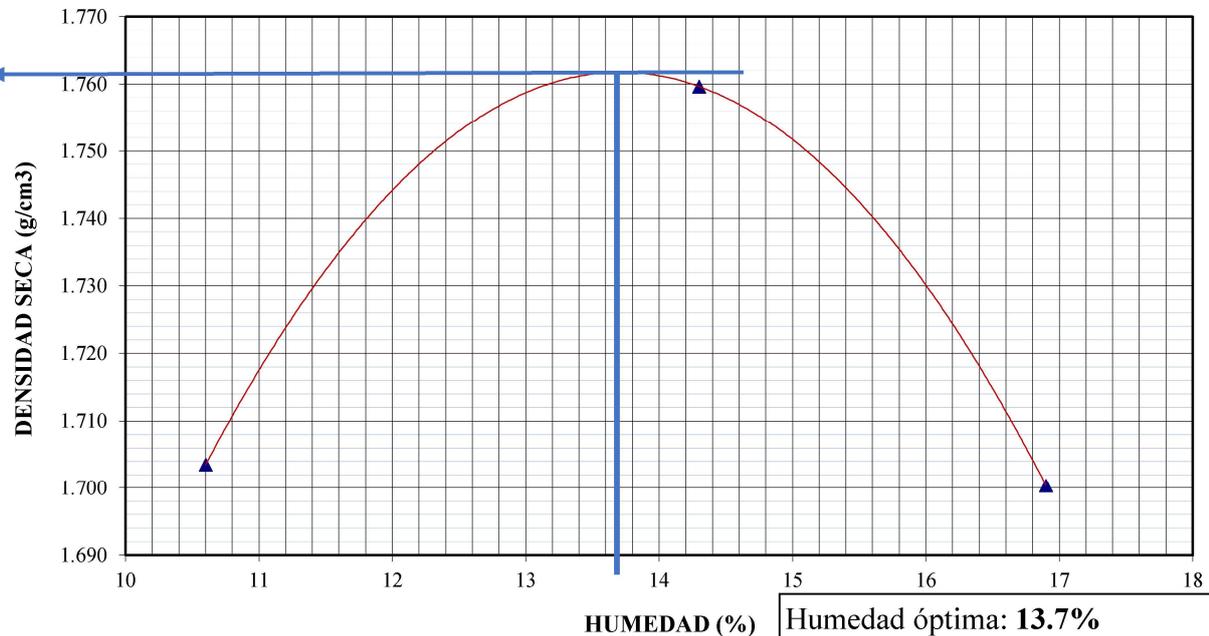
DP	DPNOM	MPIO	DPMP	AÑO	ÁREA GEOGRÁFICA	Total
19	Cauca	19701	Santa Rosa	2020	Centros Poblados y Rural Disperso	4,780
19	Cauca	19701	Santa Rosa	2021	Centros Poblados y Rural Disperso	4,865
19	Cauca	19701	Santa Rosa	2022	Centros Poblados y Rural Disperso	4,929
19	Cauca	19701	Santa Rosa	2023	Centros Poblados y Rural Disperso	5,002
19	Cauca	19701	Santa Rosa	2024	Centros Poblados y Rural Disperso	5,060
19	Cauca	19701	Santa Rosa	2025	Centros Poblados y Rural Disperso	5,138
19	Cauca	19701	Santa Rosa	2026	Centros Poblados y Rural Disperso	5,174
19	Cauca	19701	Santa Rosa	2027	Centros Poblados y Rural Disperso	5,232
19	Cauca	19701	Santa Rosa	2028	Centros Poblados y Rural Disperso	5,280
19	Cauca	19701	Santa Rosa	2029	Centros Poblados y Rural Disperso	5,329
19	Cauca	19701	Santa Rosa	2030	Centros Poblados y Rural Disperso	5,382
19	Cauca	19701	Santa Rosa	2031	Centros Poblados y Rural Disperso	5,421
19	Cauca	19701	Santa Rosa	2032	Centros Poblados y Rural Disperso	5,466
19	Cauca	19701	Santa Rosa	2033	Centros Poblados y Rural Disperso	5,521
19	Cauca	19701	Santa Rosa	2034	Centros Poblados y Rural Disperso	5,562
19	Cauca	19701	Santa Rosa	2035	Centros Poblados y Rural Disperso	5,611



ENSAYO DE COMPACTACION

Obra : Trabajo de Grado San Juan de Villalobos Fecha : Mayo 2023
 Descripcion : Suelo fino color amarillo Muestra : _____
 Fuente : _____ Metodo : Proctor Modificado

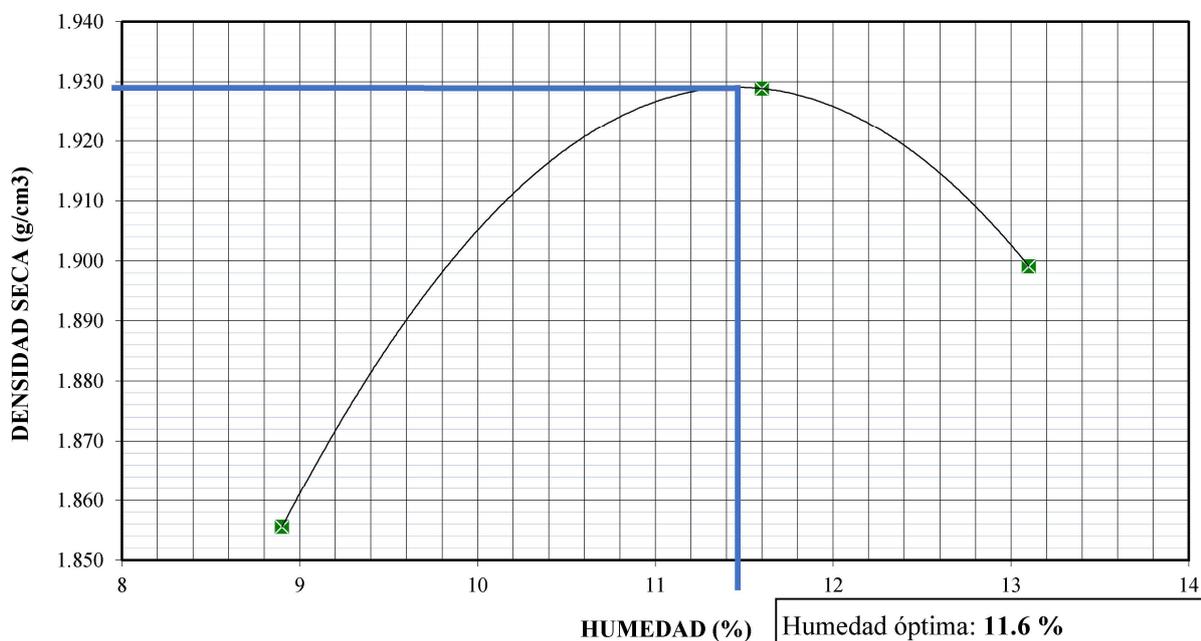
Prueba N°		1	2	3	
N° de golpes		10	10	10	
Humedad deseada (%)		13.0	16.0	19.0	
Humedad Inicial de la muestra (%)		3.0	3.0	3.0	
Humedad adicional (%)		10.0	13.0	16.0	
Peso muestra humeda (g)		4700	4700	4700	
Peso muestra seca (g)		4563	4563	4563	
Agua adicional (cm ³)		456	593	730	
Molde N°		23	38	30	
Peso muestra humeda mas molde (g)		9020	8885	9185	
Peso molde (g)		5020	4615	4965	
Peso muestra humeda (g)		4000	4270	4220	
Humedad de horno (%)		10.6	14.3	16.9	
Peso muestra seca (g)		3617	3736	3610	
Volumen del molde (cm ³)		2123	2123	2123	
Densidad muestra seca (g/cm ³)		1.704	1.760	1.700	
C	Expansion primer dia. 0,001"	0.002	0	0	
	Expansion segundo dia. 0,001"	0.003	0.002	0.002	
B	Expansion tercer dia. 0,001"				
R	Expansion cuarto dia. 0,001"	0.012	0.003	0.004	
	Expansion (%)	0.26	0.07	0.09	



ENSAYO DE COMPACTACION

Obra : Trabajo de Grado San Juan de Villalobos Fecha : Mayo 2023
 Descripcion : Suelo fino color amarillo Muestra : _____
 Fuente : _____ Metodo : Proctor Modificado

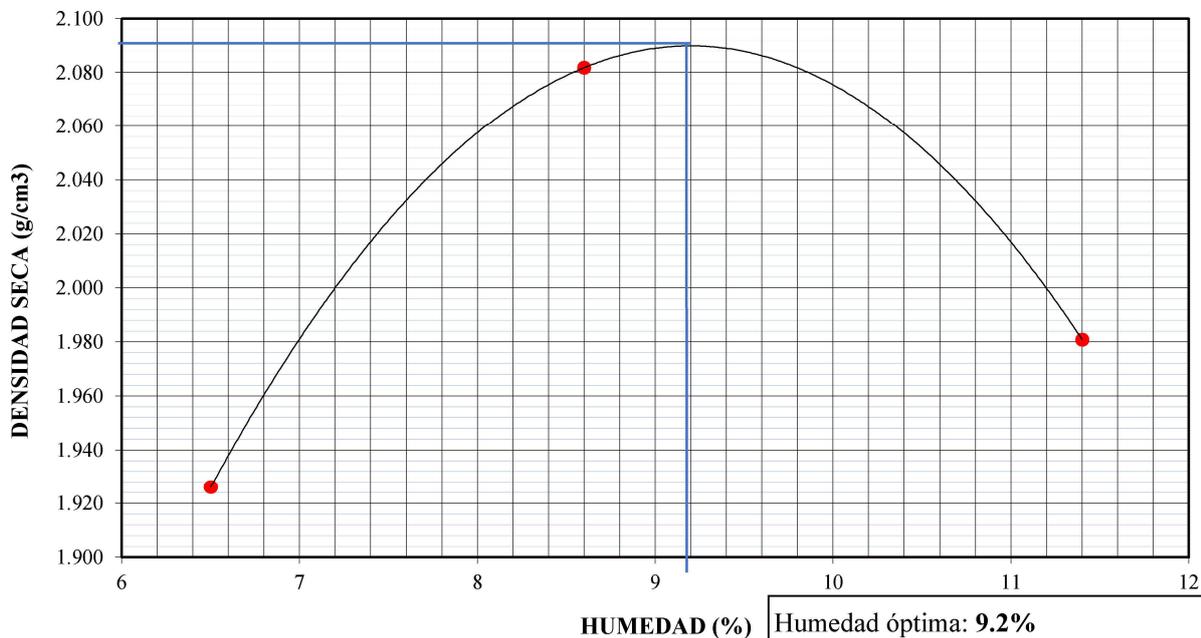
Prueba N°		1	2	3	
N° de golpes		25	25	25	
Humedad deseada (%)		10.0	13.0	16.0	
Humedad Inicial de la muestra (%)		3.0	3.0	3.0	
Humedad adicional (%)		7.0	10.0	13.0	
Peso muestra humeda (g)		4700	4700	4700	
Peso muestra seca (g)		4563	4563	4563	
Agua adicional (cm ³)		319	456	593	
Molde N°		24	42	21	
Peso muestra humeda mas molde (g)		9290	9255	9265	
Peso molde (g)		5000	4685	4705	
Peso muestra humeda (g)		4290	4570	4560	
Humedad de horno (%)		8.9	11.6	13.1	
Peso muestra seca (g)		3939	4095	4032	
Volumen del molde (cm ³)		2123	2123	2123	
Densidad muestra seca (g/cm ³)		1.856	1.929	1.899	
C	Expansion primer dia. 0,001"	0.012	0.003	0.000	
	Expansion segundo dia. 0,001"	0.017	0.006	0.001	
B	Expansion tercer dia. 0,001"				
R	Expansion cuarto dia. 0,001"	0.019	0.009	0.003	
	Expansion (%)	0.42	0.20	0.07	



ENSAYO DE COMPACTACION

Obra : Trabajo de Grado San Juan de Villalobos Fecha : Mayo 2023
 Descripcion : Suelo fino color amarillo Muestra : _____
 Fuente : _____ Metodo : Proctor Modificado

Prueba N°		1	2	3	
N° de golpes		56	56	56	
Humedad deseada (%)		7.0	10.0	13.0	
Humedad Inicial de la muestra (%)		3.0	3.0	3.0	
Humedad adicional (%)		4.0	7.0	10.0	
Peso muestra humeda (g)		4700	4700	4700	
Peso muestra seca (g)		4563	4563	4563	
Agua adicional (cm ³)		183	319	456	
Molde N°		28	34	27	
Peso muestra humeda mas molde (g)		8980	9635	9745	
Peso molde (g)		4625	4835	5060	
Peso muestra humeda (g)		4355	4800	4685	
Humedad de horno (%)		6.5	8.6	11.4	
Peso muestra seca (g)		4089	4420	4206	
Volumen del molde (cm ³)		2123	2123	2123	
Densidad muestra seca (g/cm ³)		1.926	2.082	1.981	
C	Expansion primer dia. 0,001"	0.007	0.005	0.034	
	Expansion segundo dia. 0,001"	0.010	0.010	0.039	
B	Expansion tercer dia. 0,001"				
R	Expansion cuarto dia. 0,001"	0.011	0.011	0.042	
	Expansion (%)	0.24	0.24	0.93	

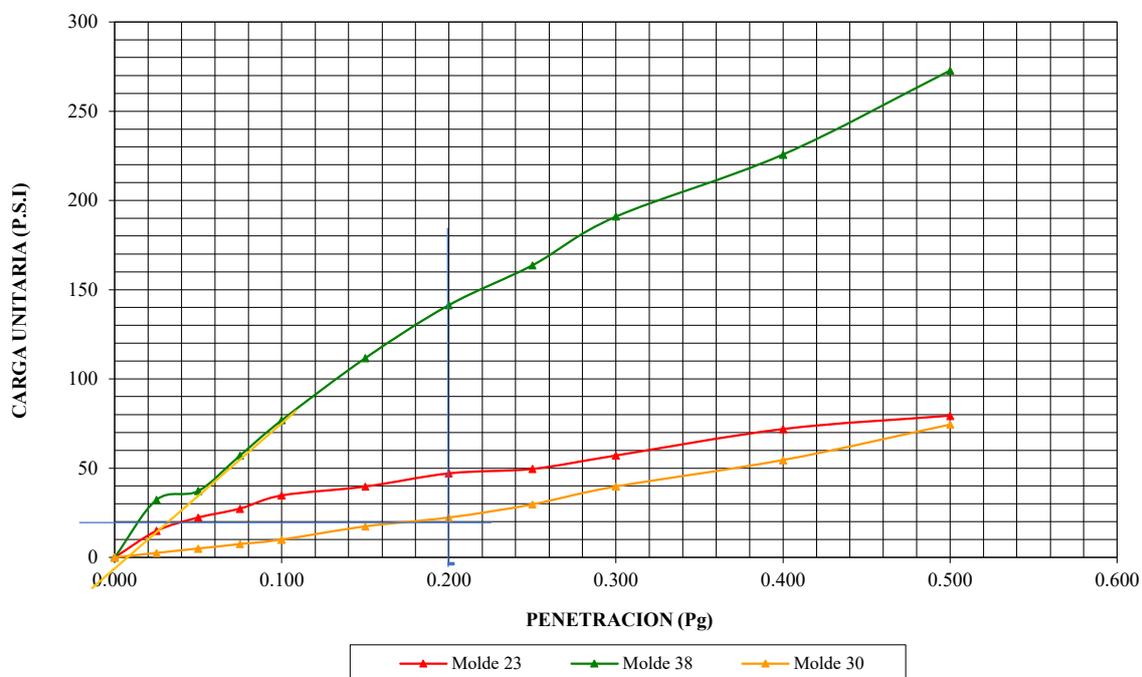


ENSAYO DE CBR

Obra : Trabajo de Grado San Juan de Villalobos Fecha : Mayo 2023
 Descripción : Suelo fino color amarillo Muestra : _____
 Fuente : _____ Metodo : CBR suelo fino

Molde N°	23			38			30					
N° Golpes	10			10			10					
Días Inmersión	4			4			4					
Expansion (Pg)	0.26			0.07			0.09					
PENETRACIÓN (Pg)	LECT.	PRESION	CBR									
0.000	0	0		0	0		0	0				
0.025	6	14.9		13	32.24		1	2.48				
0.050	9	22.3		15	37.2		2	4.96				
0.075	11	27.3		23	57.04		3	7.44				
0.100	14	34.7	3.5	31	76.88	7.7	4	9.92	1.0			
0.150	16	39.7		45	111.6		7	17.36				
0.200	19	47.1	3.1	57	141.36	9.4	9	22.32	1.5			
0.250	20	49.6		66	163.68		12	29.76				
0.300	23	57.0		77	190.96		16	39.68				
0.400	29	71.9		91	225.68		22	54.56				
0.500	32	79.4		110	272.8		30	74.4				
% w PENETRACION	13.3			14.6			18.1					

CONSTANTE DEL ANILLO [PSI]: 2.48

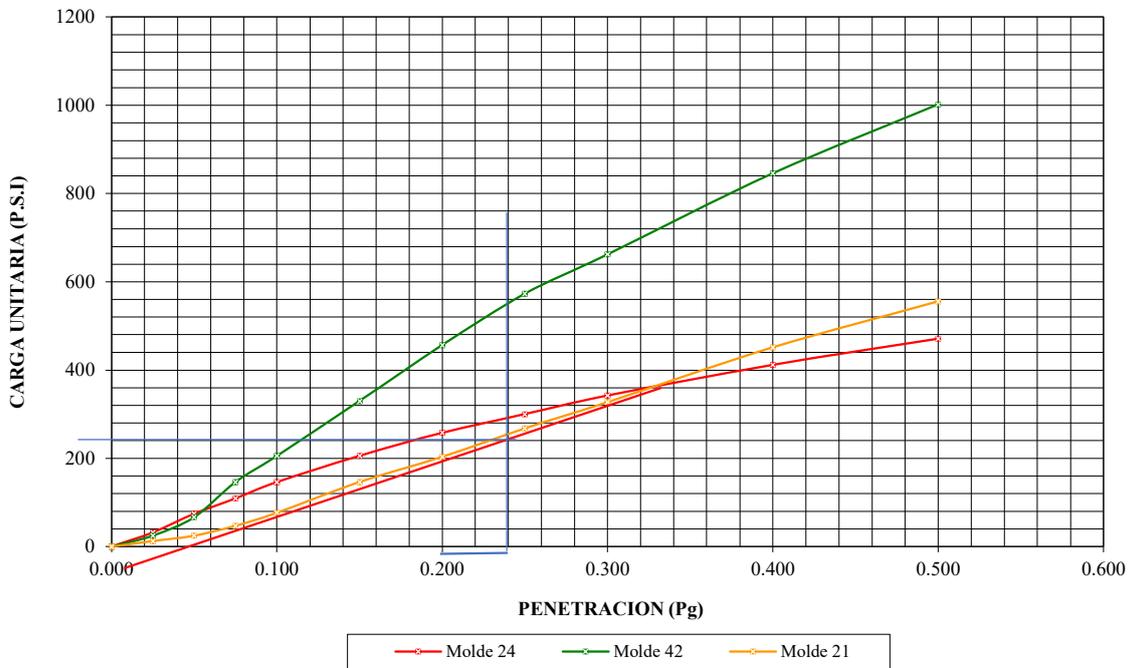


ENSAYO DE CBR

Obra : Trabajo de Grado San Juan de Villalobos Fecha : Mayo 2023
 Descripción : Suelo fino color amarillo Muestra : _____
 Fuente : _____ Metodo : CBR suelo fino

Molde N°	24			42			21					
N° Golpes	25			25			25					
Días Inmersión	4			4			4					
Expansion (Pg)	0.42			0.20			0.07					
PENETRACIÓN (Pg)	LECT.	PRESION	CBR	LECT.	PRESION	CBR	LECT.	PRESION	CBR	LECT.	PRESION	CBR
0.000	0	0		0	0		0	0				
0.025	13	32.24		10	24.8		5	12.4				
0.050	30	74.4		27	66.96		10	24.8				
0.075	44	109.12		59	146.32		19	47.12				
0.100	59	146.32	14.6	83	205.84	20.6	31	76.88	7.7			
0.150	83	205.84		133	329.84		59	146.32				
0.200	104	257.92	17.2	184	456.32	30.4	82	203.36	13.6			
0.250	121	300.08		231	572.88		108	267.84				
0.300	138	342.24		267	662.16		132	327.36				
0.400	166	411.68		341	845.68		182	451.36				
0.500	190	471.2		404	1001.92		224	555.52				
% w PENETRACION	14.0			11.7			13.8					

CONSTANTE DEL ANILLO [PSI]: 2.48



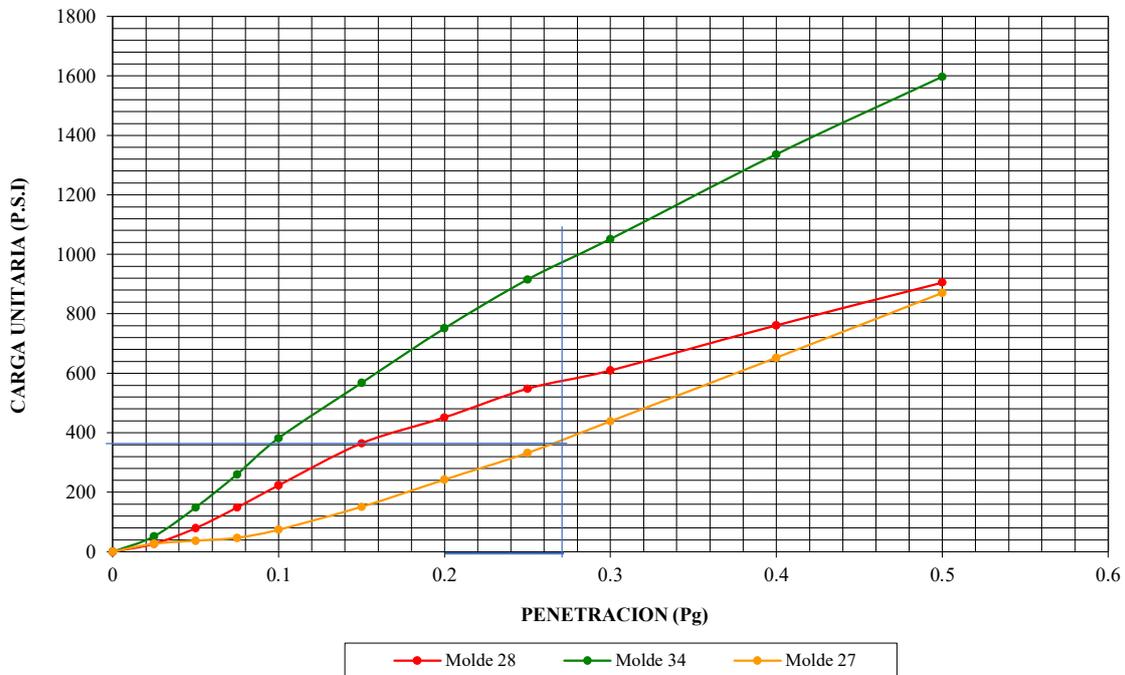
ENSAYO DE CBR

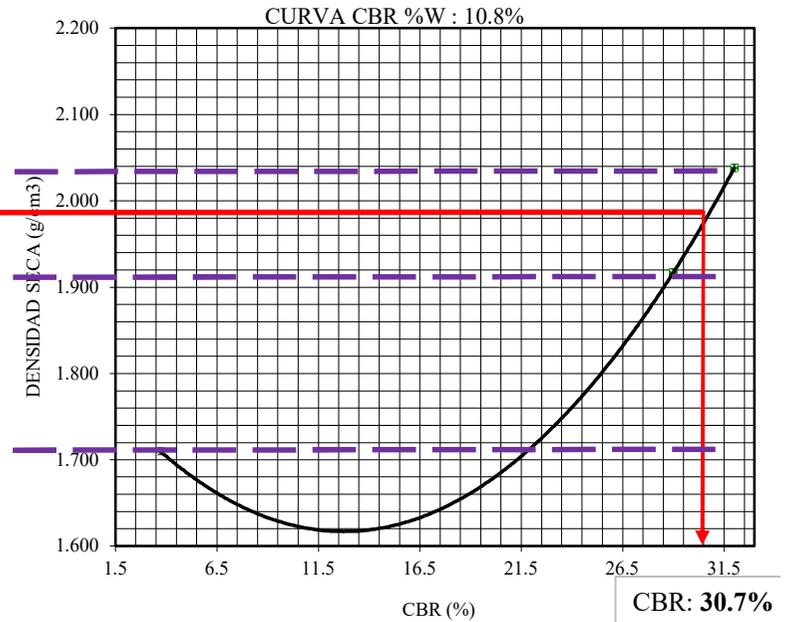
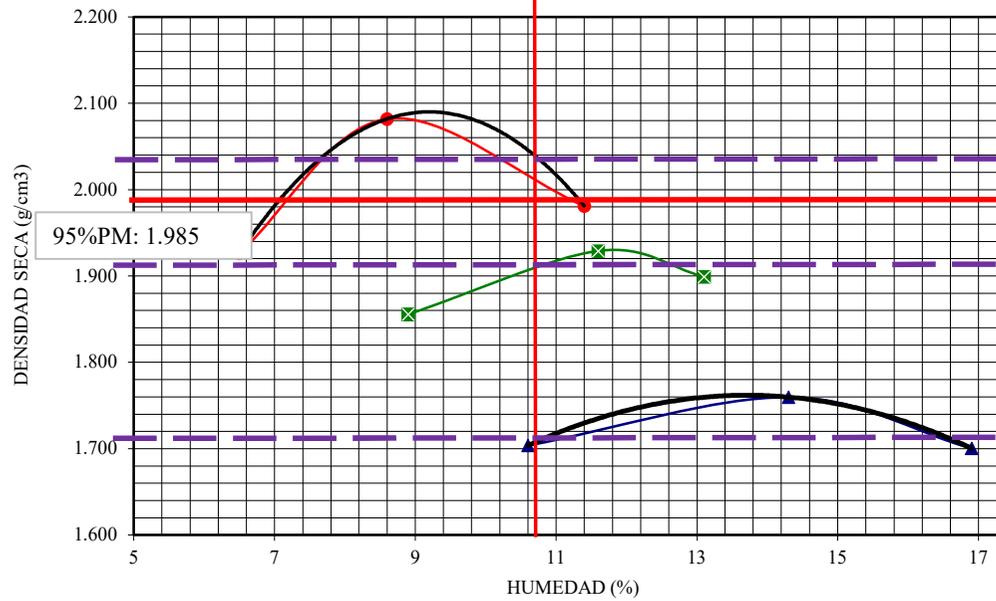
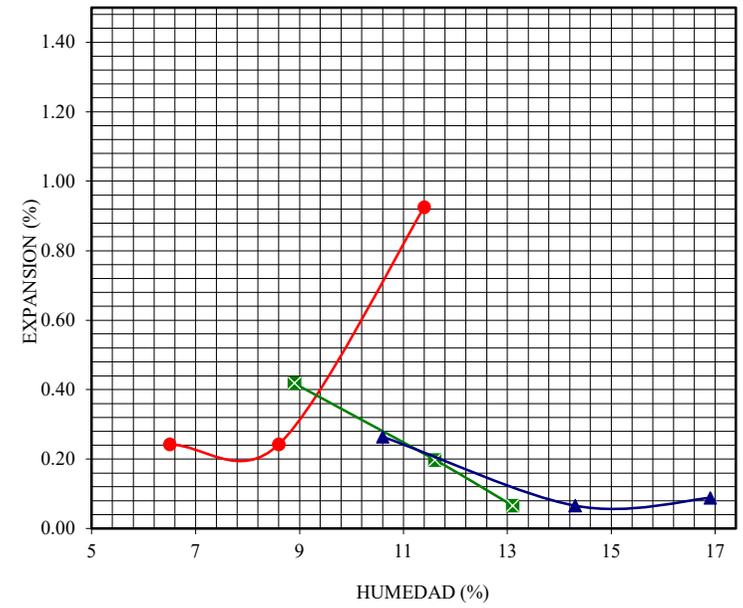
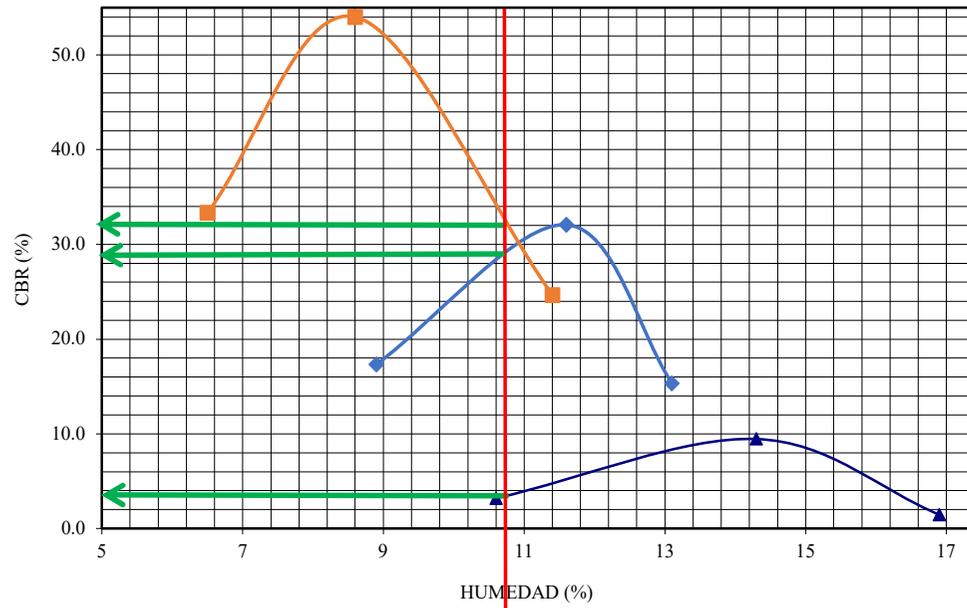
Obra : Trabajo de Grado San Juan de Villalobos
 Descripción : Suelo fino color amarillo
 Fuente : _____

Fecha : Mayo 2023
 Muestra : _____
 Metodo : CBR suelo fino

Molde N°	28			34			27					
N° Golpes	56			56			56					
Días Inmersión	4			4			4					
Expansion (Pg)	0.24			0.24			0.93					
PENETRACIÓN (Pg)	LECT.	PRESION	CBR	LECT.	PRESION	CBR	LECT.	PRESION	CBR	LECT.	PRESION	CBR
0	0	0		0	0		0	0				
0.025	11	27.28		21	52.08		11	27.28				
0.050	32	79.36		60	148.8		15	37.2				
0.075	60	148.8		105	260.4		19	47.12				
0.100	90	223.2	22.3	154	381.92	38.2	30	74.4	7.4			
0.150	147	364.56		229	567.92		61	151.28				
0.200	182	451.36	30.1	303	751.44	50.1	98	243.04	16.2			
0.250	221	548.08		369	915.12		134	332.32				
0.300	246	610.08		424	1051.52		177	438.96				
0.400	307	761.36		539	1336.72		263	652.24				
0.500	365	905.2		644	1597.12		351	870.48				
% w PENETRACION	13.0			11.4			10.4					

CONSTANTE DEL ANILLO [PSI]: 2.48





RESUMEN DE ENSAYO COMPACTACION						
N° de PRUEBA	ENERGIA DE COMPACTACION					
	PROCTOR ESTANDAR		ENERGIA INTERMEDIA		PROCTOR MODIFICADO	
	10		25		56	
	%w	Densidad seca [g/cm ³]	%w	Densidad seca [g/cm ³]	%w	Densidad seca [g/cm ³]
1	10.6	1.704	8.9	1.856	6.5	1.926
2	14.3	1.760	11.6	1.929	8.6	2.082
3	16.9	1.700	13.1	1.899	11.4	1.981
RESULTADOS	%w _{óptima}	Densidad seca máxima [g/cm ³]	%w _{óptima}	Densidad seca máxima [g/cm ³]	%w _{óptima}	Densidad seca máxima [g/cm ³]
	13.7	1.762	11.6	1.929	9.2	2.089

RESUMEN DE ENSAYO CBR SUELO FINO									
N° de PRUEBA	ENERGIA DE COMPACTACION								
	PROCTOR ESTANDAR			ENERGIA INTERMEDIA			PROCTOR MODIFICADO		
	10			25			56		
	%w	Lectura gráfica	CBR [%] 0.2"	%w	Lectura gráfica	CBR [%] 0.2"	%w	Lectura gráfica	CBR [%] 0.2"
1	10.6	48	3.2	8.9	260	17.3	6.5	500	33.3
2	14.3	142	9.5	11.6	481	32.1	8.6	810	54.0
3	16.9	22	1.5	13.1	230	15.3	11.4	370	24.7

CURVA CBR Para HUMEDAD (%W) 10.8% y DENSIDAD 95%PM		
Densidad máxima seca [g/cm ³] PM	2.089	
95%PM	1.985	
CURVA CBR		
PUNTO	CBR [%]	Densidad seca [g/cm ³]
1	3.7	1.710
2	29.0	1.917
3	32	2.038
95%PM	1.985	30.7

ANEXO 11. DISEÑO DEL PAVIMENTO CARRERA 8 Y CALLE 1

DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO PARA LA CARRERA OCTAVA ENTRE CALLE PRIMERA Y SEGUNDA, Y LA CALLE PRIMERA ENTRE LA CARRERA SÉPTIMA Y NOVENA DEL CORREGIMIENTO DE SAN JUAN DE VILLALOBOS.

JERSON STEVE GUEVARA RUALES Cd. 100418010094

DARVIN SEBASTIAN RAMIREZ HOYOS Cd. 100418011246



DISEÑO DE PAVIMENTO RIGIDO MÉTODO PCA (1984)

1. Mejoramiento de subrasante

Datos de subrasante natural	
Clasificación (SUCS)	CH
LL [%]	151
LP [%]	79
IP [%]	73
Wnat [%]	167
CBR [%]	2.02
Datos de suelo de mejoramiento	
Clasificación (SUCS)	SC
LL [%]	28
LP [%]	17
IP [%]	11
Wnat [%]	3
CBR [%]	12

Teoría de ponderación de CBR para suelo natural con capa de suelo de mejoramiento



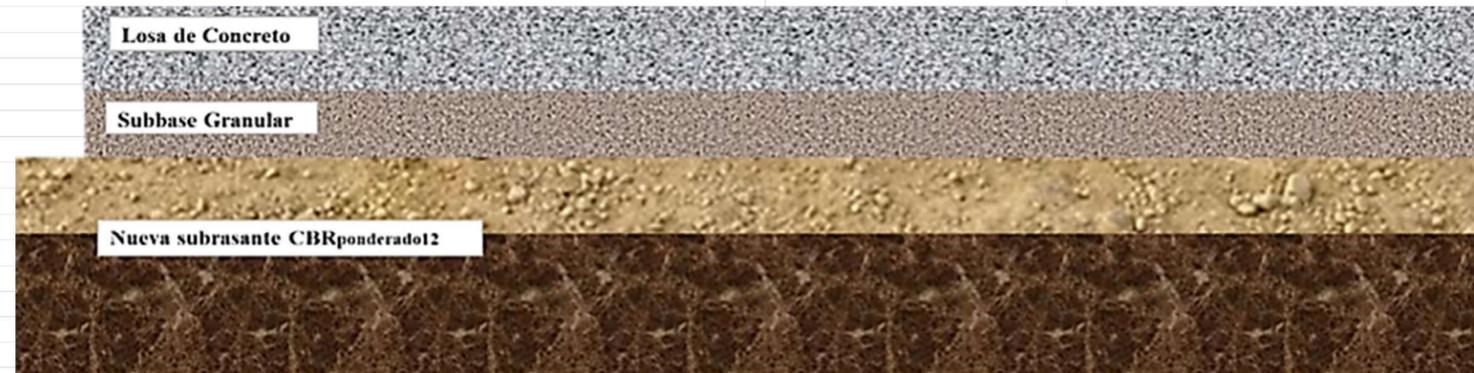
$$R = \frac{R_1 * D_1^3 + R_2 * D_2^3}{D_1^3 + D_2^3}$$

R: Resistencia ponderada de la nueva subrasante
 R1: Resistencia del suelo 1
 D1: Espesor del suelo 1
 R2: Resistencia del suelo 2
 D2: Espesor del suelo 2

Fuente: Ingeniería de Pavimentos, Materiales y Variables de Diseño, 4ta edición, página 76. Jose Rafael Menendez Acurio

2. Propuesta de diseño para la estructura de pavimento

Datos de la estructura de pavimento



LOSA DE CONCRETO SIMPLE	
Módulo de Rotura [MPa]	3.80
Espesor losa de concreto [cm]	15
SUBBASE GRANULAR CLASE C	
Espesor de capa Subbase granular [cm]	15
Adicional	SB natural (sin estabilización con cal o cemento)
SUBRASANTE MEJORADA	
Ponderación CBR	
R1 [%]	2.02
D1 [m]	0.65
R2 [%]	12
D2 [m]	0.35
CBR con mejoramiento [%]	3.37

3. Datos de tránsito (TRÁNSITO DE DISEÑO)

Eje	Carga [Ton]	Repeticiones Esperadas
SIMPLE RUEDA SIMPLE Y DOBLE	11	200
	6	3049
TANDEM	22	1900
	21	950
TRIDEM	24	950

4. Datos Adicionales

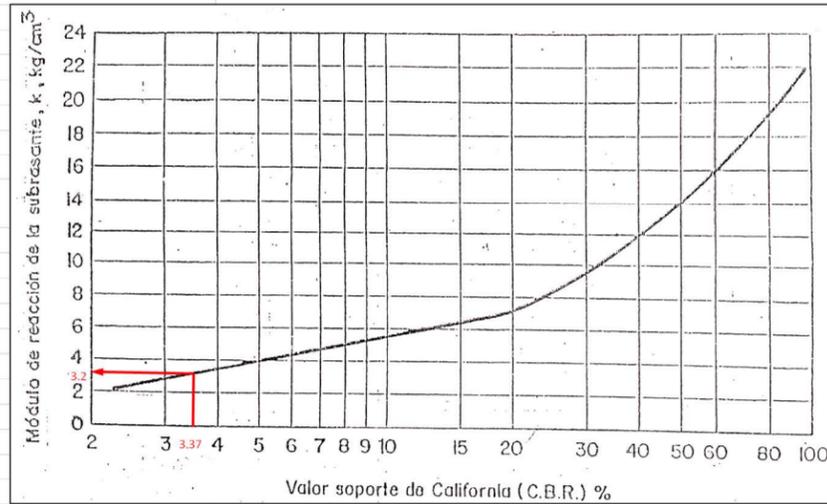
Datos Adicionales
Calles residenciales, vías con bajo tránsito de camiones
Losa Con Dovelas y Con bermas
Periodo de diseño: 20años

ANÁLISIS DE FATIGA

1. Con bermas

2. Determinar esfuerzos equivalentes (σ_{eq})

2.1 K (Módulo de reacción) de la subrasante por medio de correlación con CBR



Ksubrasante [kgf/cm²]

3.2

Ksubrasante [Mpa/m]

32

NOTA: Ksubrasante de kg/cm² a Mpa/m para entrar a la tabla de K de conjunto (conjunto es Subbase y subrasante)

NOTA: Para este paso se utiliza la **Figura 7**

2.2 K (Módulo de reacción) del conjunto

Valor de k para subrasante		Valor de k para subbase							
		100 mm		150 mm		225 mm		300 mm	
MPa/m	Lb/pulg³	MPa/m	Lb/pulg³	MPa/m	Lb/pulg³	MPa/m	Lb/pulg³	MPa/m	Lb/pulg³
20	3	23	85	26	96	32	117	38	140
40	147	45	165	35.2	180	57	210	66	245
60	220	64	235	66	245	76	280	90	330
80	295	87	320	90	330	100	370	117	430

1 MPa/m = 0,1 kgf/cm².

Tabla 31. Efecto de la subbase granular sobre los valores de k.

Kconjunto [Mpa/m]

35.2

NOTA: Para este ejercicio se utiliza la **Tabla 31** ya que se tiene una Subbase No tratada, es decir, natural

NOTA: Interpolar en la tabla de ser necesario

2.3 Relación de esfuerzos para cada tipo de eje

Datos para utilizar las tablas:

Espesor de la losa [mm]

150

Kconjunto [Mpa/m]

35.2

Tipos de ejes

Simple, Tandem, Tridem

NOTA: Con base en el paso 1, se define el tipo de tablas a utilizar en este paso, es decir, las tablas que consideran o no las bermas

NOTA: Interpolar en las tablas de ser necesario

Eje simple

(Eje sencillo)						
Espesor de losa (mm)	k del conjunto Subrasante/Subbase					
	20	35.2	40	60	80	140
100	4.18	3.65	3.37	3.19	2.85	2.72
110	3.68	3.23	2.99	2.83	2.55	2.43
120	3.28	2.88	2.67	2.54	2.29	2.19
130	2.95	2.60	2.41	2.29	2.07	1.99
140	2.68	2.36	2.19	2.08	1.89	1.81
150	2.44	2.15	2.00	1.90	1.73	1.65
160	2.24	1.97	1.84	1.75	1.59	1.52
170	2.06	1.82	1.70	1.62	1.48	1.42
180	1.91	1.69	1.57	1.50	1.37	1.32
190	1.77	1.57	1.46	1.40	1.28	1.23
200	1.65	1.46	1.37	1.30	1.19	1.15
210	1.55	1.37	1.28	1.22	1.12	1.08
220	1.45	1.29	1.20	1.15	1.05	1.01
230	1.37	1.21	1.13	1.08	0.99	0.96
240	1.29	1.15	1.07	1.02	0.94	0.90
250	1.22	1.08	1.01	0.97	0.89	0.85
260	1.16	1.03	0.96	0.92	0.84	0.81
270	1.10	0.98	0.91	0.87	0.80	0.77
280	1.05	0.93	0.87	0.83	0.76	0.74
290	1.00	0.89	0.83	0.79	0.73	0.70
300	0.95	0.85	0.79	0.76	0.70	0.67
310	0.91	0.81	0.76	0.72	0.67	0.64
320	0.87	0.78	0.73	0.69	0.64	0.62
330	0.84	0.74	0.70	0.67	0.61	0.59
340	0.80	0.71	0.67	0.64	0.59	0.57
350	0.77	0.69	0.64	0.61	0.57	0.55

Esfuerzo equivalente eje simple (oeq)

2.22

NOTA: Para este ejercicio se utiliza la Tabla 38. Esfuerzo equivalente eje sencillo y tandem

Eje tandem

(Eje tandem)						
Espesor de losa (mm)	k del conjunto Subrasante/Subbase					
	20	35.2	40	60	80	140
100	3.48	3.10	2.94	2.85	2.74	2.72
110	3.07	2.71	2.56	2.47	2.35	2.32
120	2.75	2.41	2.26	2.17	2.05	2.02
130	2.49	2.17	2.02	1.94	1.82	1.78
140	2.27	1.97	1.83	1.75	1.63	1.59
150	2.08	1.80	1.67	1.59	1.48	1.44
160	1.93	1.66	1.53	1.46	1.35	1.31
170	1.79	1.54	1.42	1.35	1.24	1.20
180	1.67	1.43	1.32	1.25	1.15	1.11
190	1.57	1.34	1.23	1.17	1.07	1.03
200	1.48	1.26	1.16	1.10	1.00	0.96
210	1.40	1.19	1.09	1.03	0.93	0.90
220	1.32	1.12	1.03	0.97	0.88	0.85
230	1.26	1.07	0.98	0.92	0.83	0.80
240	1.20	1.01	0.93	0.87	0.79	0.76
250	1.14	0.97	0.88	0.83	0.75	0.72
260	1.09	0.92	0.84	0.79	0.71	0.68
270	1.04	0.88	0.81	0.76	0.68	0.65
280	1.00	0.85	0.77	0.73	0.65	0.62
290	0.96	0.81	0.74	0.70	0.62	0.60
300	0.93	0.78	0.71	0.67	0.60	0.57
310	0.89	0.75	0.69	0.64	0.58	0.55
320	0.86	0.73	0.66	0.62	0.55	0.53
330	0.83	0.70	0.64	0.60	0.53	0.51
340	0.80	0.68	0.62	0.58	0.52	0.49
350	0.78	0.66	0.60	0.56	0.50	0.47

Esfuerzo equivalente eje tandem (oeq)

1.87

NOTA: Para este ejercicio se utiliza la Tabla 38. Esfuerzo equivalente eje sencillo y tandem

Tabla 38. Esfuerzo equivalente pavimento con berma de concreto (eje sencillo y tandem).

Eje tridem (tomar el denominador que significa "con berma")

TABLA C1. ESFUERZO EQUIVALENTE - TRIDEMS
(sin berma de concreto/con berma de concreto)

ESPESOR DE LOSA (mm)	K Combinado (MPa/m)					
	20	35.2	40	60	80	140
100	3.36/2.87	3.10/2.67	3.02/2.60	2.98/2.57	2.94/2.56	2.93/2.57
110	2.92/2.50	2.64/2.29	2.55/2.22	2.50/2.18	2.45/2.16	2.44/2.16
120	2.60/2.20	2.30/2.00	2.20/1.93	2.14/1.89	2.09/1.85	2.07/1.85
130	2.35/1.97	2.04/1.78	1.93/1.70	1.87/1.66	1.80/1.61	1.78/1.61
140	2.15/1.78	1.83/1.59	1.72/1.52	1.65/1.48	1.59/1.43	1.55/1.42
150	1.99/1.62	1.67/1.44	1.55/1.37	1.48/1.33	1.40/1.27	1.37/1.26

Esfuerzo equivalente eje tridem (oeq)

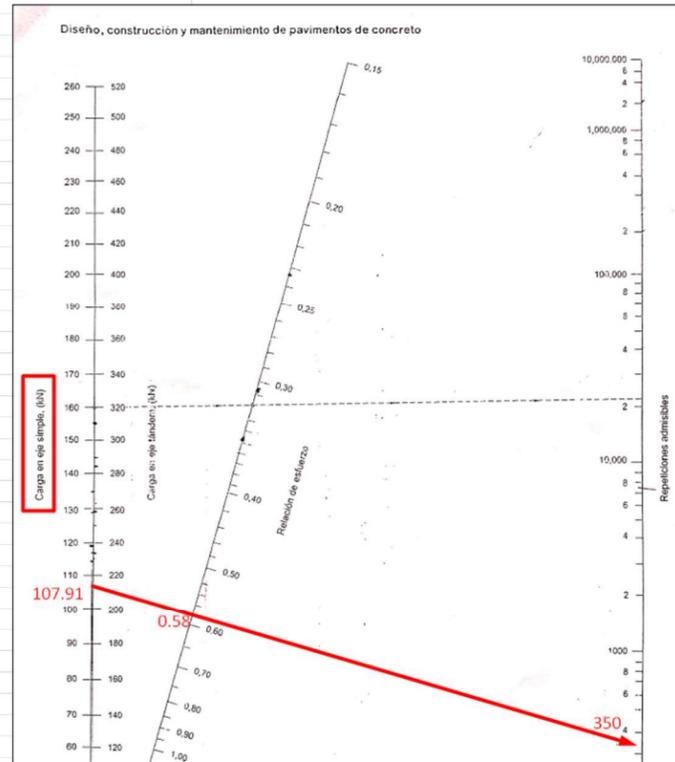
1.48

3. Calcular factores de relación de esfuerzos ($F_{r\sigma}$)			
	Eje Simple Rueda Simple y Doble	Eje Tandem	Eje Tridem
Esfuerzos equivalentes (σ_{eq})	2.22	1.87	1.48
Factor de relación de esfuerzos ($F_{r\sigma}$): σ_{eq}/M_r	0.58	0.49	0.39

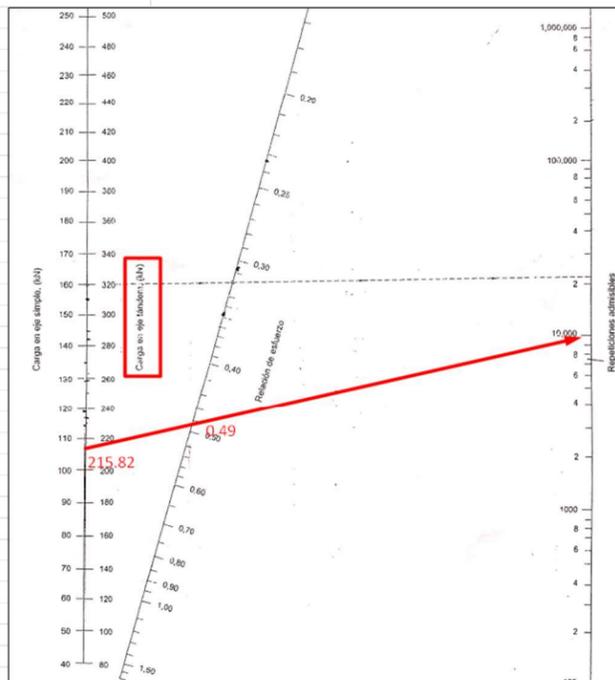
4. Número de repeticiones admisibles (N_{ra}) en función de $F_{r\sigma}$

NOTA: Este paso se realiza para cada carga de cada tipo de eje
 NOTA: Las cargas que se están utilizando en los ejemplos se calculan en el siguiente paso, ya que tienen un factor de seguridad y además están en kN.

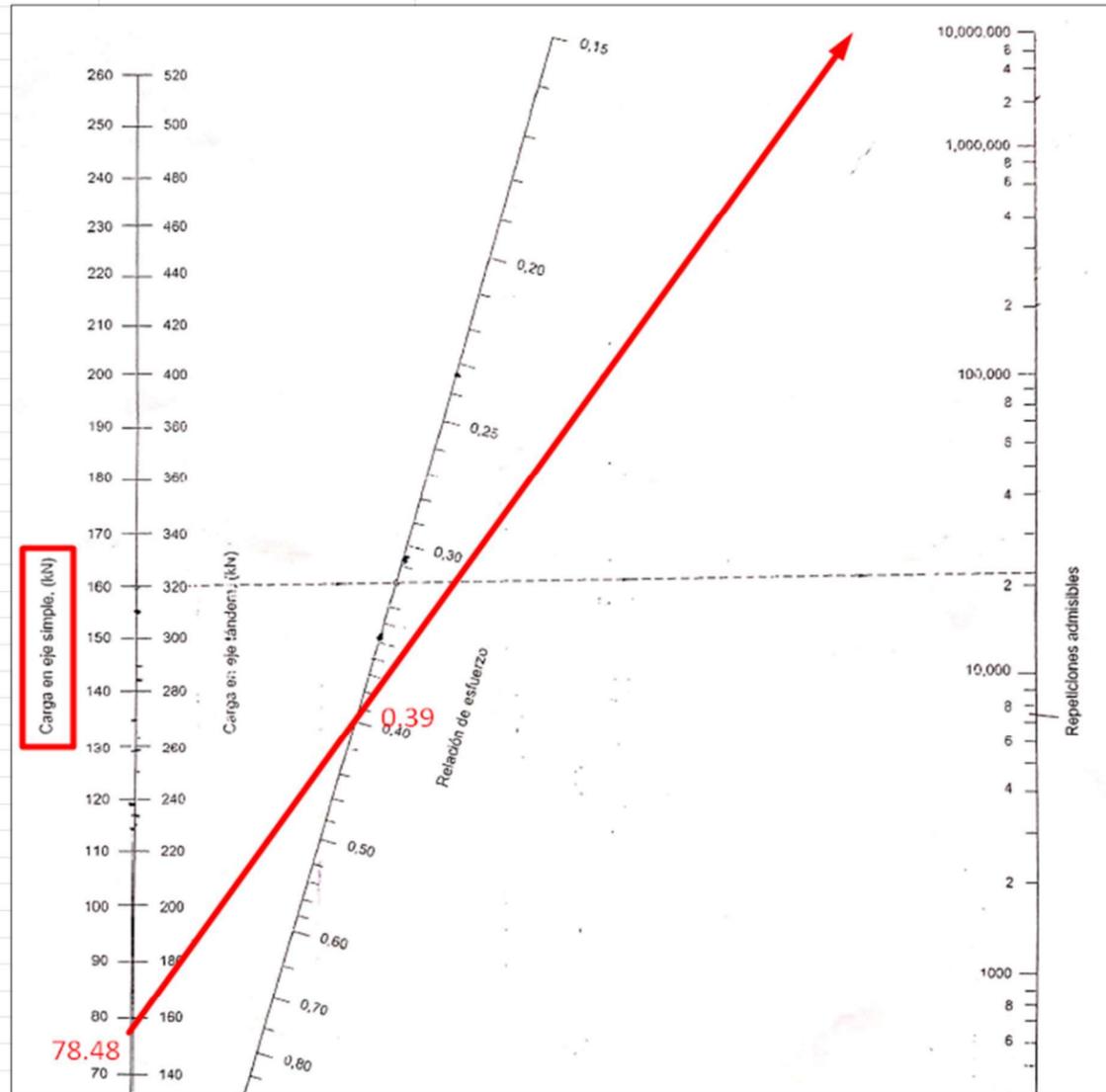
4.1 Ejemplo para una carga del tipo de eje simple



4.2 Ejemplo para una carga del tipo de eje tandem



4.3 Ejemplo para una carga del tipo de eje tridem



NOTA: Como el eje tridem no está en la gráfica, se debe pasar de eje tridem a eje simple, dividiendo el valor de la carga entre 3

Carga eje tridem [kN]	235.44
Carga eje simple [kN]	78.48

ANÁLISIS DE EROSIÓN

1. Con dovelas o pasadores y con bermas

2. Determinar el Factor de erosión

2.1 Factor de erosión para cada tipo de eje

Datos para utilizar las tablas:	Espesor de la losa [mm]	150
	Kconjunto [Mpa/m]	35.2
	Tipos de ejes	Simple, Tandem, Tridem

NOTA: No es necesario volver a hallar Kconjunto porque ya se halló en el análisis por fatiga
 NOTA: Con base en el paso 1, se define el tipo de tablas a utilizar en este paso, es decir, las tablas que consideran o no las bermas
 NOTA: Interpolarse en las tablas de ser necesario

Eje simple

(Eje sencillo)							
Espesor de losa (mm)	k del conjunto Subrasante/Subbase						
	20	35.2	40	60	80	140	180
100	3.27	3.24	3.22	3.21	3.17	3.15	3.15
110	3.16	3.12	3.10	3.09	3.05	3.03	3.03
120	3.05	3.01	2.99	2.98	2.94	2.92	2.92
130	2.96	2.92	2.89	2.88	2.84	2.82	2.82
140	2.87	2.82	2.80	2.78	2.75	2.73	2.73
150	2.78	2.74	2.72	2.70	2.67	2.65	2.65
160	2.71	2.66	2.64	2.62	2.59	2.57	2.57
170	2.64	2.59	2.57	2.55	2.51	2.49	2.49
180	2.57	2.52	2.50	2.48	2.44	2.42	2.42
190	2.51	2.46	2.43	2.41	2.38	2.36	2.36
200	2.45	2.40	2.37	2.35	2.31	2.30	2.30
210	2.39	2.34	2.31	2.29	2.26	2.24	2.24
220	2.34	2.29	2.26	2.24	2.20	2.18	2.18
230	2.29	2.23	2.21	2.19	2.15	2.13	2.13
240	2.24	2.18	2.16	2.13	2.10	2.08	2.08
250	2.19	2.14	2.11	2.09	2.05	2.03	2.03
260	2.15	2.09	2.06	2.04	2.00	1.98	1.98
270	2.10	2.05	2.02	2.00	1.96	1.94	1.94
280	2.06	2.01	1.98	1.95	1.91	1.89	1.89
290	2.02	1.97	1.93	1.91	1.87	1.85	1.85
300	1.98	1.93	1.90	1.87	1.83	1.81	1.81
310	1.95	1.89	1.86	1.84	1.79	1.77	1.77
320	1.91	1.85	1.82	1.80	1.76	1.74	1.74
330	1.87	1.82	1.78	1.76	1.72	1.70	1.70
340	1.84	1.78	1.75	1.73	1.69	1.67	1.67
350	1.81	1.75	1.72	1.69	1.65	1.63	1.63

Factor de erosión eje simple	2.78
NOTA: Para este ejercicio se utiliza la Tabla 41. Factor de erosión para ejes sencillos y tandem	

Eje tandem

(Eje tandem)							
Espesor de losa (mm)	k del conjunto Subrasante/Subbase						
	20	35.2	40	60	80	140	180
100	3.25	3.17	3.14	3.12	3.11	3.11	3.11
110	3.16	3.07	3.03	3.00	2.98	2.97	2.97
120	3.08	2.98	2.93	2.90	2.86	2.84	2.84
130	3.01	2.90	2.85	2.81	2.76	2.74	2.74
140	2.94	2.83	2.77	2.74	2.67	2.65	2.65
150	2.88	2.77	2.71	2.67	2.60	2.57	2.57
160	2.82	2.71	2.65	2.60	2.53	2.50	2.50
170	2.77	2.65	2.59	2.55	2.46	2.43	2.43
180	2.72	2.60	2.54	2.49	2.41	2.37	2.37
190	2.67	2.56	2.49	2.44	2.35	2.32	2.32
200	2.63	2.51	2.44	2.40	2.31	2.27	2.27
210	2.58	2.47	2.40	2.35	2.26	2.22	2.22
220	2.54	2.43	2.36	2.31	2.22	2.18	2.18
230	2.50	2.39	2.32	2.27	2.18	2.13	2.13
240	2.46	2.35	2.28	2.23	2.14	2.10	2.10
250	2.43	2.31	2.24	2.20	2.10	2.06	2.06
260	2.39	2.28	2.21	2.16	2.07	2.02	2.02
270	2.36	2.24	2.18	2.13	2.03	1.99	1.99
280	2.32	2.21	2.14	2.10	2.00	1.96	1.96
290	2.29	2.18	2.11	2.06	1.97	1.93	1.93
300	2.26	2.15	2.08	2.03	1.94	1.90	1.90
310	2.23	2.12	2.05	2.01	1.91	1.87	1.87
320	2.20	2.09	2.03	1.98	1.88	1.84	1.84
330	2.17	2.06	2.00	1.95	1.86	1.81	1.81
340	2.15	2.04	1.97	1.92	1.83	1.79	1.79
350	2.12	2.01	1.95	1.90	1.80	1.76	1.76

Factor de erosión eje tandem	2.8
NOTA: Para este ejercicio se utiliza la Tabla 41. Factor de erosión para ejes sencillos y tandem	

Tabla 41. Factor de erosión para ejes sencillos y tandem. Pavimentos de concreto con dovelas y con bermas de concreto.

Eje tridem (tomar el denominador que significa "con berma")

TABLA C2. FACTORES DE EROSIÓN-TRIDEMS-JUNTAS CON PASADORES
(sin berma de concreto/con berma de concreto)

ESPESOR DE LOSA (mm)	K Combinado (MPa/m)						
	20	35.2	40	60	80	140	190
100	3.86/3.27	3.80/3.17	3.75/3.13	3.71/3.12	3.62/3.07	3.56/3.03	
110	3.76/3.19	3.69/3.07	3.65/3.02	3.62/3.00	3.53/2.95	3.48/2.92	
120	3.68/3.12	3.60/2.99	3.56/2.93	3.52/2.90	3.45/2.85	3.40/2.82	
130	3.60/3.06	3.51/2.92	3.47/2.85	3.44/2.81	3.37/2.76	3.33/2.73	
140	3.53/3.00	3.43/2.85	3.39/2.78	3.36/2.74	3.29/2.67	3.26/2.64	
150	3.47/2.95	3.36/2.80	3.31/2.73	3.29/2.67	3.22/2.59	3.19/2.56	

Factor de erosión eje tridem 2.84

NOTA: Para este ejercicio se utiliza la Tabla que considera las Juntas con pasadores

Eje Simple Rueda Simple

Eje Tandem

Eje Tridem

Factor de erosión

2.78

2.8

2.84

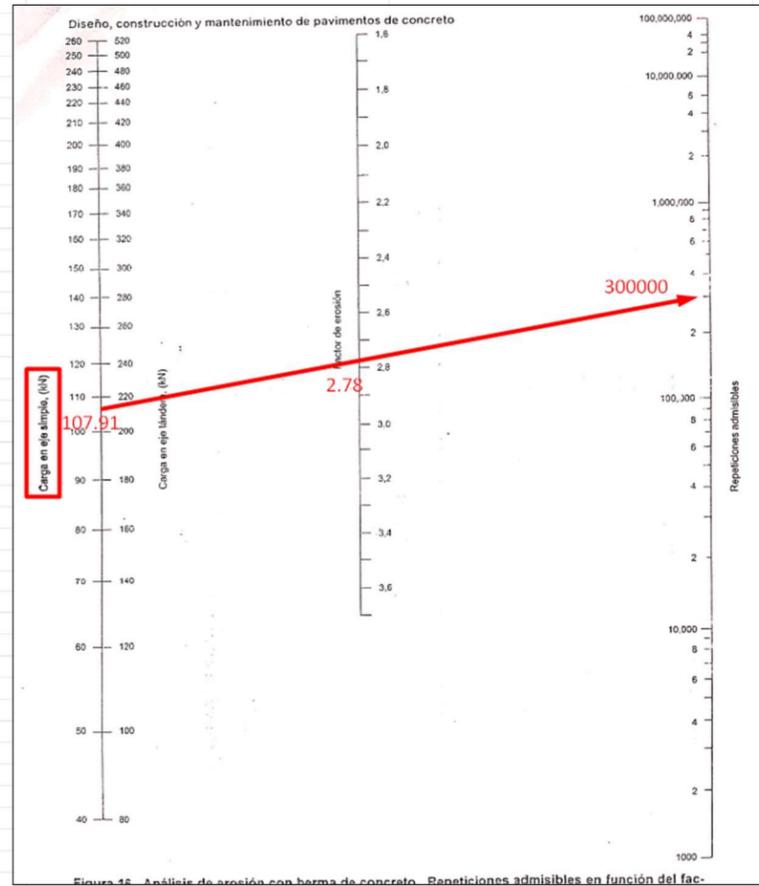
3. Número de repeticiones admisibles (Nra) en función de Factor de erosión

NOTA: Este paso se realiza para cada carga de cada tipo de eje

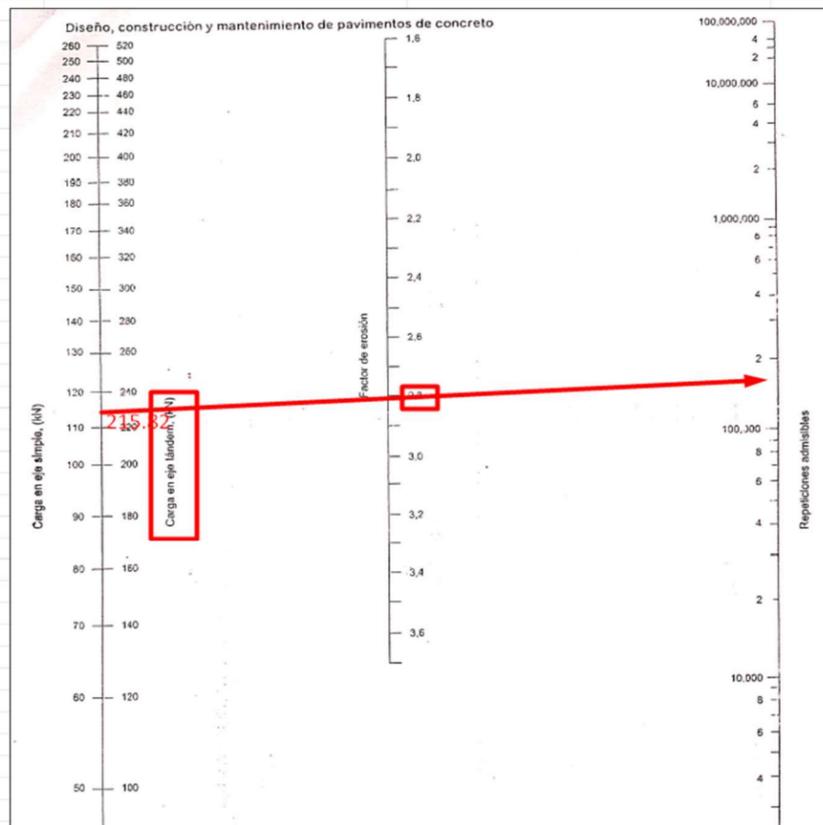
NOTA: Las cargas que se están utilizando en los ejemplos se calculan en el siguiente paso, ya que tienen un factor de seguridad y además están en kN.

NOTA: El nomograma (gráfica) que se utiliza en este paso, depende del *paso 1*, donde se define si hay o no bermas de concreto. Para este ejemplo se utilizó el nomograma "con bermas de concreto"

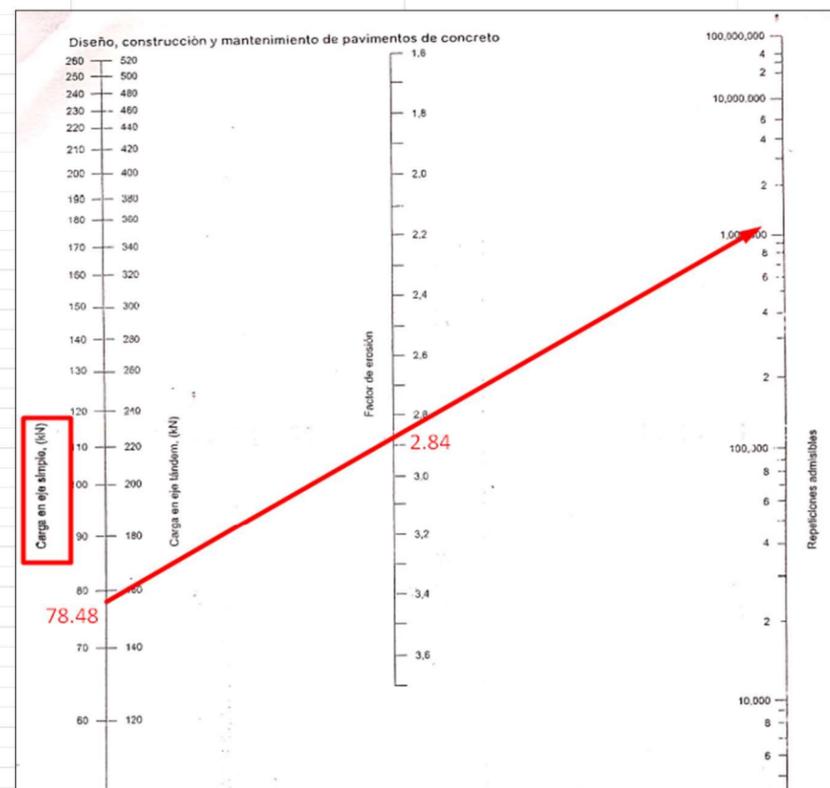
3.1 Ejemplo para una carga del tipo de eje simple



3.2 Ejemplo para una carga del tipo de eje tandem



3.3 Ejemplo para una carga del tipo de eje tridem



NOTA: Como el eje tridem no está en la gráfica, se debe pasar de eje tridem a eje simple, dividiendo el valor de la carga entre 3

Carga eje tridem	235.44
Carga eje simple	78.48

5. Calcular consumo de fatiga parcial (Cfp) para cada carga		Cfp=(Nre/Nra)*100%					
6. Calcular consumo total de fatiga y compararlo con el valor admisible (<100%)		Factor de seguridad de carga (Fsc)		Valor de Fsc			
		Para calles residenciales, vías con bajo tránsito de camiones		1			
		Para carreteras y vías urbanas arterias con tránsito moderado de vehículos pesados		1.1			
		Para vías de carriles múltiples, tránsito interrumpido, alto volumen de tránsito pesado		1.2			
				ANÁLISIS DE FATIGA		ANÁLISIS DE EROSIÓN	
Carga [Ton]	Carga Eje [kN]	Carga*Fsc [kN]	Número de repeticiones esperadas (Nre)	Número de repeticiones admisibles (Nra)	% de Consumo por fatiga parcial (Cfp)	Número de repeticiones admisibles (Nra)	% de Consumo por erosión parcial (Cep)
Eje Simple Rueda Simple y Doble	g utilizada=9.81m/s ²	Esta columna se mete en la gráfica del <i>paso 4</i> para hallar Nra		Ilimitado: No representa daño al pavimento		Ilimitado: No representa daño al pavimento	
11	107.91	107.91	200	350	57.14	300000	0.07
6	58.86	58.86	3049	ilimitado	0.00	ilimitado	0.00
Eje Tandem							
22	215.82	215.82	1900	10000	19.00	180000	1.06
21	206.01	206.01	950	16000	5.94	300000	0.32
Eje Tridem							
24	235.44	235.44	950	ilimitado	0.00	1100000	0.09
				Consumo de fatiga total Cft=ΣCfp [%]	82.08	Consumo de erosión total Cet=ΣCep [%]	1.53
				¿CUMPLE POR FATIGA?	OK	¿CUMPLE POR EROSIÓN?	OK
CONCLUSIÓN				Cumple, la estructura propuesta con espesores mínimos (según recomendaciones de los docentes) de Subbase y Losa de concreto está en capacidad de soportar la demanda de tránsito en cuanto a fatiga y erosión			

resistencia a la flexión son los factores que se deberán considerar en el diseño del pavimento.

El presente método utiliza la resistencia a la flexión, medida por ensayos de módulo de rotura sobre vigas de 150 x 150 x 750 mm, cargándolas en los tercios de la luz, para un periodo de curado de 28 días, por considerar que habrá pocas repeticiones de carga durante dicho lapso, en comparación con la gran cantidad que el pavimento deberá soportar posteriormente,

El método de diseño toma en consideración, además, las variaciones que la resistencia del concreto puede presentar de un punto a otro, y el incremento de resistencia que el concreto logra con el tiempo (Figura 12). El diseñador, sin embargo, no aplica directamente estos efectos, sino que simplemente usa como dato de entrada, la resistencia promedio a los 28 días.

4.3.2.2 Capacidad de soporte de la subrasante y la subbase

La capacidad de soporte se mide en términos del módulo de reacción (k), determinado por pruebas de placa directa, ver numeral 2.5. Debido a que estas pruebas son complejas y costosas, el valor de k se estima generalmente por correlación con pruebas más sencillas como el CBR o el ensayo del estabilómetro de Hveem.

Este procedimiento es válido, por cuanto no es indispensable la determinación exacta del módulo k, ya que variaciones no muy grandes de él, prácticamente no afectan los espesores necesarios de

pavimento. Las relaciones que se muestran en la Figura 2 se consideran satisfactorias para efectos del diseño de un pavimento por este método.

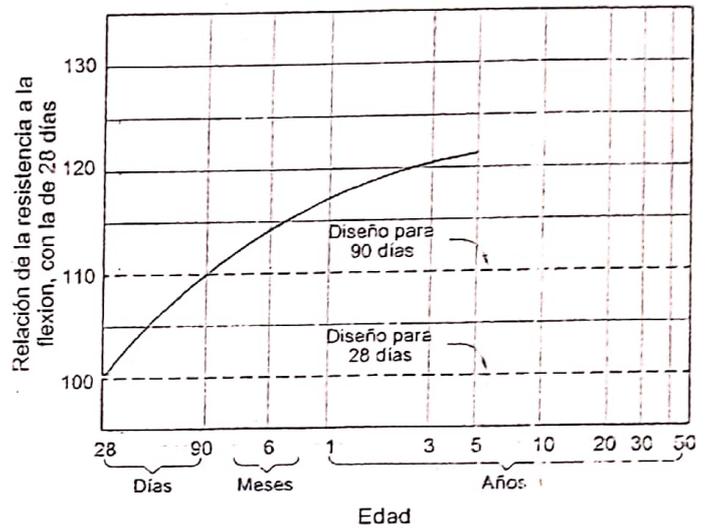


Figura 12. Evolución de la resistencia a la flexión y la edad.

Las subbases se recomiendan con el objeto de prevenir el fenómeno del bombeo, sin embargo, su presencia tiene como consecuencia un incremento en la capacidad de soporte del pavimento que se puede aprovechar para efectos de diseño porque puede disminuir en algo el espesor de la losa. En la Tabla 31 se muestra el incremento que es de esperar en el módulo si se coloca una subbase granular y en la Tabla 32 el que se logra con una subbase tratada con cemento.

Valor de k para subrasante		Valor de k para subbase							
		100 mm		150 mm		225 mm		300 mm	
MPa/m	Lb/pulg ³	MPa/m	Lb/pulg ³	MPa/m	Lb/pulg ³	MPa/m	Lb/pulg ³	MPa/m	Lb/pulg ³
20	73	23	85	26	96	32	117	38	140
40	147	45	165	49	180	57	210	66	245
60	220	64	235	66	245	76	280	90	330
80	295	87	320	90	330	100	370	117	430

1 MPa/m = 0,1 kgf/cm³.

Tabla 31. Efecto de la subbase granular sobre los valores de k.

Valor de k para subrasante		Valor de k para subbase							
		100 mm		150 mm		200 mm		250 mm	
MPa/m	Lb/pulg ³	MPa/m	Lb/pulg ³	MPa/m	Lb/pulg ³	MPa/m	Lb/pulg ³	MPa/m	Lb/pulg ³
20	73	60	220	80	300	105	400	135	500
40	147	100	370	130	500	185	680	230	850
60	220	140	520	190	700	245	900	---	---

1 MPa/m = 0,1 kgf/cm³.

Tabla 32. Efecto de la subbase tratada con cemento sobre los valores de k.

En los últimos años se ha incrementado el uso de las subbases de concreto pobre. El diseño de un pavimento sobre este tipo de subbase rígida representa un caso especial, el cual se considera en el numeral 4.5 Apéndice B.

4.3.2.3 Período de diseño

El término "período de diseño" se considera frecuentemente como sinónimo del término "período de análisis de tránsito". Puesto que es difícil predecir el tránsito con suficiente aproximación para un tiempo largo, comúnmente se toma un lapso de 20 años como período para el diseño de un pavimento rígido sin olvidar que en determinados casos, puede resultar económicamente justificado el empleo de períodos menores o mayores.

El período de diseño que se elija afecta el diseño de espesores, puesto que determina cuántos años y consecuentemente, cuántos vehículos comerciales podrán circular sobre el pavimento, en ese tiempo. La selección definitiva del período de diseño para un proyecto específico, debe basarse tanto en el juicio ingenieril, como en un análisis económico de los costos del pavimento y el servicio que éste proporcione a lo largo de todo el período.

4.3.3 TRÁNSITO

4.3.3.1 Factores asociados al tránsito

Los principales factores de tránsito que inciden en el diseño de un pavimento rígido, son el número y la magnitud de las cargas por eje más pesadas, que se esperan durante el período de diseño. Estos valores se obtienen a partir de estimativos de:

- TPD (tránsito promedio diario en ambas direcciones).

- TPD-C (tránsito promedio diario de vehículos comerciales en ambas direcciones).
- Cargas por eje de los vehículos comerciales.

En Colombia, los datos sobre TPD son suministrados, para la red nacional, por: la Subdirección de Conservación del Instituto Nacional de Vías - INVIAS, y por el Ministerio de Transporte.

4.3.3.2 Proyección del tránsito

Un método para obtener el dato necesario de tránsito para el diseño, consiste en el empleo de tasas de crecimiento anual y factores de proyección. La Tabla 33 muestra las relaciones entre las tasas anuales de crecimiento y los factores de proyecciones para períodos de 20 y 40 años, de acuerdo con las recomendaciones de la PCA.

En un caso de diseño, el factor de proyección se multiplica por el TPD presente para obtener el TPD de diseño, representativo del valor promedio para el período de diseño, valor que en algunos procedimientos se denomina TPDA (tránsito promedio diario anual).

Algunos autores sugieren que se utilicen tasas de crecimiento de interés simple en lugar de la tasa de interés compuesto, la cual cuando se usa en un período de diseño largo, puede predecir tránsitos pesados comerciales futuros poco reales.

4.3.3.3 Capacidad

Otro método para estimar el TPD de diseño se basa en el criterio de capacidad, es decir en el máximo número de vehículos que pueden utilizar el pavimento sin demoras injustificadas. Debe verificarse la capacidad de la vía para proyectos específicos en los cuales el volumen de tránsito proyectado es elevado.

(Eje sencillo)						
Espesor de losa (mm)	k del conjunto Subrasante/Subbase					
	20	40	60	80	140	180
100	5.42	4.75	4.38	4.13	3.66	3.45
110	4.74	4.16	3.85	3.63	3.23	3.06
120	4.19	3.69	3.41	3.23	2.88	2.73
130	3.75	3.30	3.06	2.89	2.59	2.46
140	3.37	2.97	2.76	2.61	2.34	2.23
150	3.06	2.70	2.51	2.37	2.13	2.03
160	2.79	2.47	2.29	2.17	1.95	1.86
170	2.56	2.26	2.10	1.99	1.80	1.71
180	2.37	2.09	1.94	1.84	1.66	1.58
190	2.19	1.94	1.80	1.71	1.54	1.47
200	2.04	1.80	1.67	1.59	1.43	1.37
210	1.91	1.68	1.56	1.48	1.34	1.28
220	1.79	1.57	1.46	1.39	1.26	1.20
230	1.68	1.48	1.38	1.31	1.18	1.13
240	1.58	1.39	1.30	1.23	1.11	1.06
250	1.49	1.32	1.22	1.16	1.05	1.00
260	1.41	1.25	1.16	1.10	0.99	0.95
270	1.34	1.18	1.10	1.04	0.94	0.90
280	1.28	1.12	1.04	0.99	0.89	0.86
290	1.22	1.07	0.99	0.94	0.85	0.81
300	1.16	1.02	0.95	0.90	0.81	0.78
310	1.11	0.97	0.90	0.86	0.77	0.74
320	1.06	0.93	0.86	0.82	0.74	0.71
330	1.02	0.89	0.83	0.78	0.71	0.68
340	0.98	0.85	0.79	0.75	0.68	0.65
350	0.94	0.82	0.76	0.72	0.65	0.62

(Eje tándem)						
Espesor de losa (mm)	k del conjunto Subrasante/Subbase					
	20	40	60	80	140	180
100	4.39	3.83	3.59	3.41	3.22	3.15
110	3.88	3.35	3.12	2.97	2.76	2.68
120	3.47	2.98	2.75	2.62	2.40	2.33
130	3.14	2.68	2.46	2.33	2.13	2.05
140	2.87	2.43	2.23	2.10	1.90	1.83
150	2.64	2.23	2.04	1.92	1.72	1.65
160	2.45	2.06	1.87	1.76	1.57	1.50
170	2.28	1.91	1.74	1.63	1.45	1.38
180	2.14	1.79	1.62	1.51	1.34	1.27
190	2.01	1.67	1.51	1.41	1.25	1.18
200	1.90	1.58	1.42	1.33	1.17	1.11
210	1.79	1.49	1.34	1.25	1.10	1.04
220	1.70	1.41	1.27	1.18	1.03	0.98
230	1.62	1.34	1.21	1.12	0.98	0.92
240	1.55	1.28	1.15	1.06	0.93	0.87
250	1.48	1.22	1.09	1.01	0.88	0.83
260	1.41	1.17	1.05	0.97	0.84	0.79
270	1.36	1.12	1.00	0.93	0.80	0.75
280	1.30	1.07	0.96	0.89	0.77	0.72
290	1.25	1.03	0.92	0.85	0.74	0.69
300	1.21	0.99	0.89	0.82	0.71	0.66
310	1.16	0.96	0.86	0.79	0.68	0.64
320	1.12	0.92	0.83	0.76	0.66	0.62
330	1.09	0.89	0.80	0.74	0.63	0.59
340	1.05	0.86	0.77	0.71	0.61	0.57
350	1.02	0.84	0.75	0.69	0.59	0.55

Tabla 37. Esfuerzo equivalente pavimento sin berma de concreto (eje sencillo y tándem)

(Eje sencillo)						
Espesor de losa (mm)	k del conjunto Subrasante/Subbase					
	20	40	60	80	140	180
100	4,18	3,65	3,37	3,19	2,85	2,72
110	3,68	3,23	2,99	2,83	2,55	2,43
120	3,28	2,88	2,67	2,54	2,29	2,19
130	2,95	2,60	2,41	2,29	2,07	1,99
140	2,68	2,36	2,19	2,08	1,89	1,81
150	2,44	2,15	2,00	1,90	1,73	1,66
160	2,24	1,97	1,84	1,75	1,59	1,53
170	2,06	1,82	1,70	1,62	1,48	1,42
180	1,91	1,69	1,57	1,50	1,37	1,32
190	1,77	1,57	1,46	1,40	1,28	1,23
200	1,65	1,46	1,37	1,30	1,19	1,15
210	1,55	1,37	1,28	1,22	1,12	1,08
220	1,45	1,29	1,20	1,15	1,05	1,01
230	1,37	1,21	1,13	1,08	0,99	0,96
240	1,29	1,15	1,07	1,02	0,94	0,90
250	1,22	1,08	1,01	0,97	0,89	0,86
260	1,16	1,03	0,96	0,92	0,84	0,81
270	1,10	0,98	0,91	0,87	0,80	0,77
280	1,05	0,93	0,87	0,83	0,76	0,74
290	1,00	0,89	0,83	0,79	0,73	0,70
300	0,95	0,85	0,79	0,76	0,70	0,67
310	0,91	0,81	0,76	0,72	0,67	0,64
320	0,87	0,78	0,73	0,69	0,64	0,62
330	0,84	0,74	0,70	0,67	0,61	0,59
340	0,80	0,71	0,67	0,64	0,59	0,57
350	0,77	0,69	0,64	0,61	0,57	0,55

(Eje tándem)						
Espesor de losa (mm)	k del conjunto Subrasante/Subbase					
	20	40	60	80	140	180
100	3,48	3,10	2,94	2,85	2,74	2,72
110	3,07	2,71	2,56	2,47	2,35	2,32
120	2,75	2,41	2,26	2,17	2,05	2,02
130	2,49	2,17	2,02	1,94	1,82	1,78
140	2,27	1,97	1,83	1,75	1,63	1,59
150	2,08	1,80	1,67	1,59	1,48	1,44
160	1,93	1,66	1,53	1,46	1,35	1,31
170	1,79	1,54	1,42	1,35	1,24	1,20
180	1,67	1,43	1,32	1,25	1,15	1,11
190	1,57	1,34	1,23	1,17	1,07	1,03
200	1,48	1,26	1,16	1,10	1,00	0,96
210	1,40	1,19	1,09	1,03	0,93	0,90
220	1,32	1,12	1,03	0,97	0,88	0,85
230	1,26	1,07	0,98	0,92	0,83	0,80
240	1,20	1,01	0,93	0,87	0,79	0,76
250	1,14	0,97	0,88	0,83	0,75	0,72
260	1,09	0,92	0,84	0,79	0,71	0,68
270	1,04	0,88	0,81	0,76	0,68	0,65
280	1,00	0,85	0,77	0,73	0,65	0,62
290	0,96	0,81	0,74	0,70	0,62	0,60
300	0,93	0,78	0,71	0,67	0,60	0,57
310	0,89	0,75	0,69	0,64	0,58	0,55
320	0,86	0,73	0,66	0,62	0,55	0,53
330	0,83	0,70	0,64	0,60	0,53	0,51
340	0,80	0,68	0,62	0,58	0,52	0,49
350	0,78	0,66	0,60	0,56	0,50	0,47

Tabla 38. Esfuerzo equivalente pavimento con berma de concreto (eje sencillo y tándem).

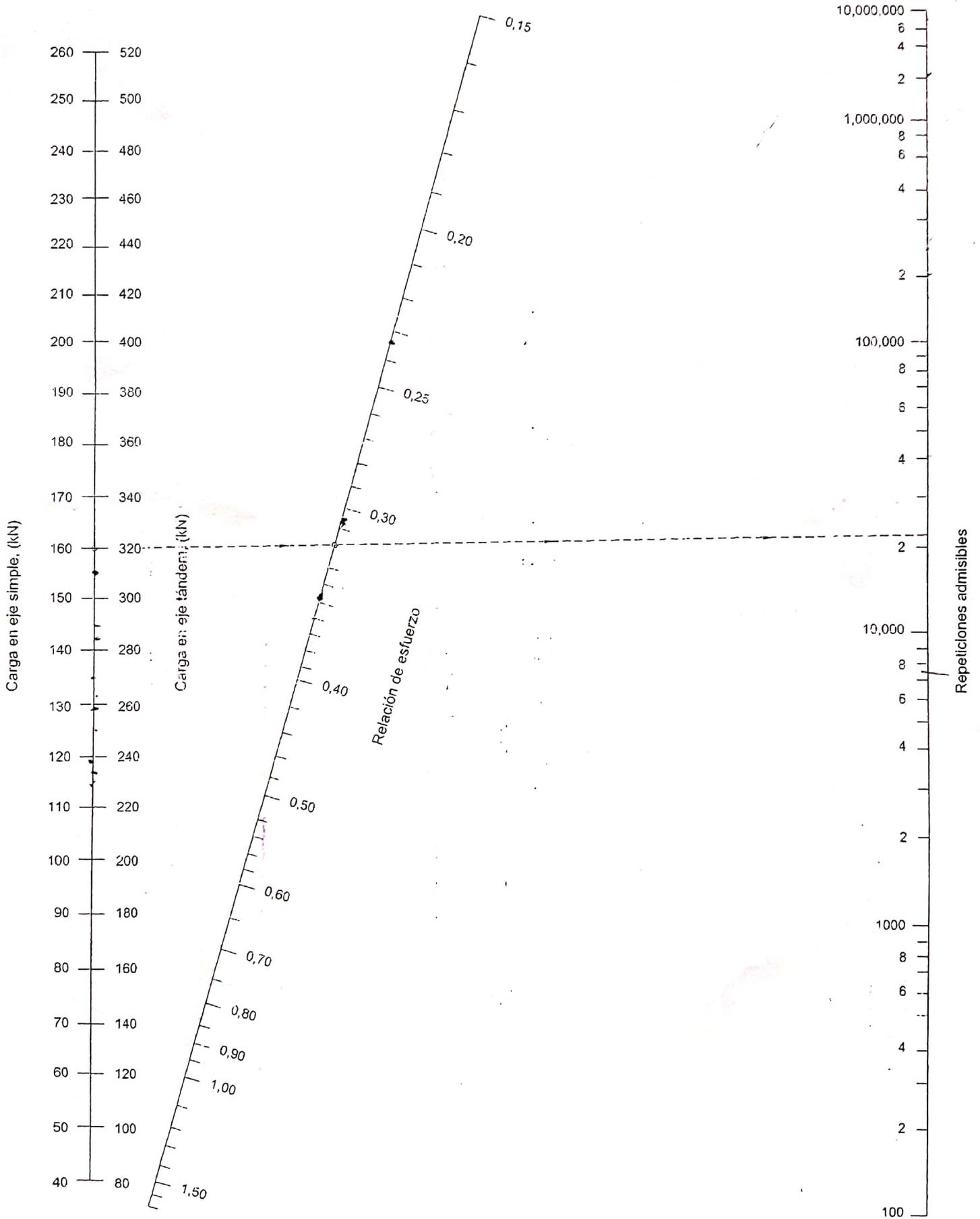


Figura 14. Análisis de fatiga. Repeticiones admisibles en función de la relación de esfuerzos en pavimentos con y sin berma de concreto.

Diseño, construcción y mantenimiento de pavimentos de concreto

(Eje sencillo)						
Espesor de losa (mm)	k del conjunto Subrasante/Subbase					
	20	40	60	80	140	180
100	3,76	3,75	3,74	3,74	3,72	3,70
110	3,63	3,62	3,61	3,61	3,59	3,58
120	3,52	3,50	3,49	3,49	3,47	3,46
130	3,41	3,39	3,39	3,38	3,37	3,35
140	3,31	3,30	3,29	3,28	3,27	3,26
150	3,22	3,21	3,20	3,19	3,17	3,16
160	3,14	3,12	3,11	3,10	3,09	3,08
170	3,06	3,04	3,03	3,02	3,01	3,00
180	2,99	2,97	2,96	2,95	2,93	2,92
190	2,92	2,90	2,88	2,88	2,86	2,85
200	2,85	2,83	2,82	2,81	2,79	2,78
210	2,79	2,77	2,75	2,75	2,73	2,72
220	2,73	2,71	2,69	2,69	2,67	2,66
230	2,67	2,65	2,64	2,63	2,61	2,60
240	2,62	2,60	2,58	2,57	2,55	2,54
250	2,57	2,54	2,53	2,52	2,50	2,49
260	2,52	2,49	2,48	2,47	2,45	2,44
270	2,47	2,44	2,43	2,42	2,40	2,39
280	2,42	2,40	2,38	2,37	2,35	2,34
290	2,38	2,35	2,34	2,33	2,31	2,30
300	2,34	2,31	2,30	2,29	2,26	2,26
310	2,29	2,27	2,25	2,24	2,22	2,21
320	2,25	2,23	2,21	2,20	2,18	2,17
330	2,21	2,19	2,17	2,16	2,14	2,13
340	2,18	2,15	2,14	2,12	2,10	2,09
350	2,14	2,11	2,10	2,09	2,07	2,06

(Eje tándem)						
Espesor de losa (mm)	k del conjunto Subrasante/Subbase					
	20	40	60	80	140	180
100	3,83	3,79	3,77	3,76	3,72	3,70
110	3,71	3,67	3,65	3,63	3,60	3,58
120	3,61	3,56	3,54	3,52	3,49	3,47
130	3,52	3,47	3,44	3,43	3,39	3,37
140	3,43	3,38	3,35	3,33	3,30	3,28
150	3,36	3,30	3,27	3,25	3,21	3,19
160	3,28	3,22	3,19	3,17	3,13	3,12
170	3,22	3,15	3,12	3,10	3,06	3,04
180	3,16	3,09	3,06	3,03	2,99	2,97
190	3,10	3,03	2,99	2,97	2,93	2,91
200	3,05	2,97	2,94	2,91	2,87	2,85
210	2,99	2,92	2,88	2,86	2,81	2,79
220	2,95	2,87	2,83	2,80	2,76	2,73
230	2,90	2,82	2,78	2,75	2,70	2,68
240	2,86	2,78	2,73	2,71	2,66	2,63
250	2,82	2,73	2,69	2,66	2,61	2,59
260	2,78	2,69	2,65	2,62	2,56	2,54
270	2,74	2,65	2,61	2,58	2,52	2,50
280	2,71	2,62	2,57	2,54	2,48	2,46
290	2,67	2,58	2,53	2,50	2,44	2,42
300	2,64	2,55	2,50	2,46	2,41	2,38
310	2,61	2,51	2,46	2,43	2,37	2,34
320	2,58	2,48	2,43	2,40	2,33	2,31
330	2,55	2,45	2,40	2,36	2,30	2,28
340	2,52	2,42	2,37	2,33	2,27	2,24
350	2,49	2,39	2,34	2,30	2,24	2,21

Tabla 39. Factor de erosión para ejes sencillos y tándem. Pavimentos de concreto con dovelas y sin bermas de concreto.

Diseño, construcción y mantenimiento de pavimentos de concreto

(Eje sencillo)						
Espesor de losa (mm)	k del conjunto Subrasante/Subbase					
	20	40	60	80	140	180
100	3.94	3.92	3.90	3.88	3.84	3.80
110	3.82	3.79	3.78	3.76	3.72	3.69
120	3.71	3.68	3.67	3.65	3.62	3.59
130	3.61	3.58	3.56	3.55	3.52	3.50
140	3.52	3.49	3.47	3.46	3.43	3.41
150	3.43	3.40	3.38	3.37	3.34	3.32
160	3.35	3.32	3.30	3.29	3.26	3.24
170	3.28	3.24	3.22	3.21	3.18	3.17
180	3.21	3.17	3.15	3.14	3.11	3.10
190	3.15	3.11	3.08	3.07	3.04	3.03
200	3.09	3.04	3.02	3.01	2.98	2.96
210	3.04	2.99	2.96	2.95	2.92	2.90
220	2.98	2.93	2.90	2.89	2.86	2.85
230	2.93	2.88	2.85	2.83	2.80	2.79
240	2.89	2.83	2.80	2.78	2.75	2.74
250	2.84	2.78	2.75	2.73	2.70	2.69
260	2.80	2.73	2.70	2.69	2.65	2.64
270	2.76	2.69	2.66	2.64	2.61	2.59
280	2.72	2.65	2.62	2.60	2.56	2.55
290	2.68	2.61	2.58	2.56	2.52	2.50
300	2.65	2.57	2.54	2.52	2.48	2.46
310	2.61	2.54	2.50	2.48	2.44	2.42
320	2.58	2.50	2.47	2.44	2.40	2.38
330	2.55	2.47	2.43	2.41	2.36	2.35
340	2.52	2.44	2.40	2.37	2.33	2.31
350	2.49	2.41	2.37	2.34	2.29	2.28

(Eje tándem)						
Espesor de losa (mm)	k del conjunto Subrasante/Subbase					
	20	40	60	80	140	180
100	4.00	3.93	3.90	3.88	3.84	3.82
110	3.90	3.82	3.79	3.76	3.72	3.70
120	3.81	3.73	3.69	3.66	3.62	3.59
130	3.73	3.65	3.60	3.57	3.52	3.49
140	3.66	3.57	3.52	3.49	3.43	3.41
150	3.59	3.50	3.45	3.42	3.36	3.33
160	3.53	3.42	3.38	3.35	3.28	3.26
170	3.48	3.37	3.32	3.28	3.22	3.19
180	3.42	3.32	3.26	3.23	3.16	3.13
190	3.37	3.27	3.21	3.17	3.10	3.07
200	3.33	3.22	3.16	3.12	3.05	3.01
210	3.28	3.17	3.11	3.07	3.00	2.96
220	3.24	3.13	3.07	3.03	2.95	2.92
230	3.20	3.09	3.03	2.98	2.91	2.87
240	3.16	3.05	2.99	2.94	2.86	2.83
250	3.13	3.01	2.95	2.91	2.82	2.79
260	3.09	2.98	2.91	2.87	2.79	2.75
270	3.06	2.94	2.88	2.83	2.75	2.71
280	3.03	2.91	2.84	2.80	2.71	2.68
290	3.00	2.88	2.81	2.77	2.68	2.64
300	2.97	2.85	2.78	2.74	2.65	2.61
310	2.94	2.82	2.75	2.71	2.62	2.58
320	2.91	2.79	2.72	2.68	2.59	2.55
330	2.89	2.77	2.70	2.65	2.56	2.52
340	2.86	2.74	2.67	2.62	2.53	2.49
350	2.84	2.71	2.65	2.60	2.51	2.47

Tabla 40. Factor de erosión para ejes sencillos y tándem. Pavimentos de concreto sin dovelas y sin bermas de concreto.

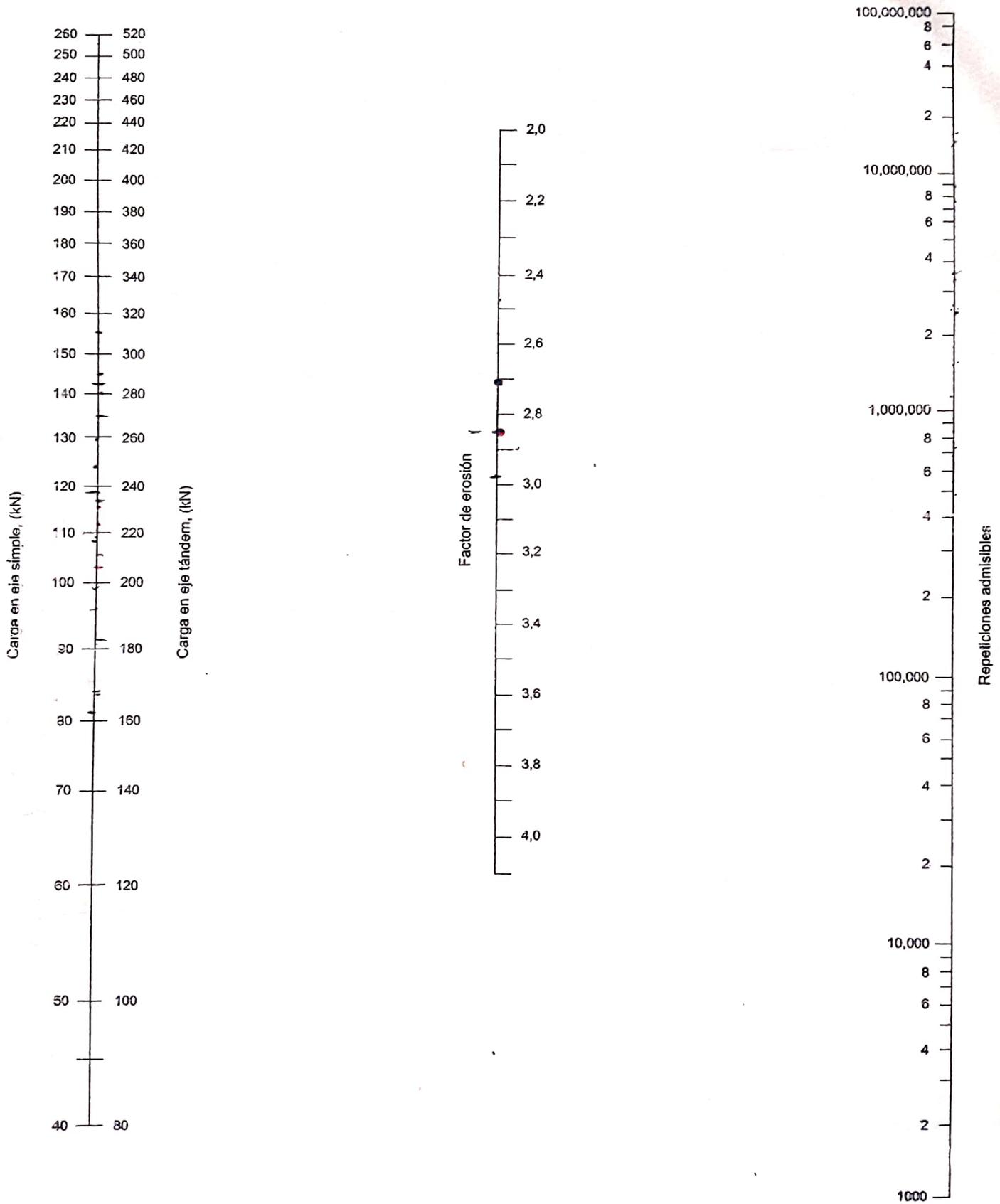


Figura 15. Análisis de erosión sin berma de concreto. Repeticiones admisibles en función del factor de erosión en pavimentos sin berma de concreto.

Diseño, construcción y mantenimiento de pavimentos de concreto

(Eje sencillo)						
Espesor de losa (mm)	k del conjunto Subrasante/Subbase					
	20	40	60	80	140	180
100	3.27	3.24	3.22	3.21	3.17	3.15
110	3.16	3.12	3.10	3.09	3.05	3.03
120	3.05	3.01	2.99	2.98	2.94	2.92
130	2.96	2.92	2.89	2.88	2.84	2.82
140	2.87	2.82	2.80	2.78	2.75	2.73
150	2.79	2.74	2.72	2.70	2.67	2.65
160	2.71	2.66	2.64	2.62	2.59	2.57
170	2.64	2.59	2.57	2.55	2.51	2.49
180	2.57	2.52	2.50	2.48	2.44	2.42
190	2.51	2.46	2.43	2.41	2.38	2.36
200	2.45	2.40	2.37	2.35	2.31	2.30
210	2.39	2.34	2.31	2.29	2.26	2.24
220	2.34	2.29	2.26	2.24	2.20	2.18
230	2.29	2.23	2.21	2.19	2.15	2.13
240	2.24	2.18	2.16	2.13	2.10	2.08
250	2.19	2.14	2.11	2.09	2.05	2.03
260	2.15	2.09	2.06	2.04	2.00	1.98
270	2.10	2.05	2.02	2.00	1.96	1.94
280	2.06	2.01	1.98	1.95	1.91	1.89
290	2.02	1.97	1.93	1.91	1.87	1.85
300	1.98	1.93	1.90	1.87	1.83	1.81
310	1.95	1.89	1.86	1.84	1.79	1.77
320	1.91	1.85	1.82	1.80	1.76	1.74
330	1.87	1.82	1.78	1.76	1.72	1.70
340	1.84	1.78	1.75	1.73	1.69	1.67
350	1.81	1.75	1.72	1.69	1.65	1.63

(Eje tándem)						
Espesor de losa (mm)	k del conjunto Subrasante/Subbase					
	20	40	60	80	140	180
100	3.25	3.17	3.14	3.12	3.11	3.11
110	3.16	3.07	3.03	3.00	2.98	2.97
120	3.08	2.98	2.93	2.90	2.86	2.84
130	3.01	2.90	2.85	2.81	2.76	2.74
140	2.94	2.83	2.77	2.74	2.67	2.65
150	2.88	2.77	2.71	2.67	2.60	2.57
160	2.82	2.71	2.65	2.60	2.53	2.50
170	2.77	2.65	2.59	2.55	2.46	2.43
180	2.72	2.60	2.54	2.49	2.41	2.37
190	2.67	2.56	2.49	2.44	2.35	2.32
200	2.63	2.51	2.44	2.40	2.31	2.27
210	2.58	2.47	2.40	2.35	2.26	2.22
220	2.54	2.43	2.36	2.31	2.22	2.18
230	2.50	2.39	2.32	2.27	2.18	2.13
240	2.46	2.35	2.28	2.23	2.14	2.10
250	2.43	2.31	2.24	2.20	2.10	2.06
260	2.39	2.28	2.21	2.16	2.07	2.02
270	2.36	2.24	2.18	2.13	2.03	1.99
280	2.32	2.21	2.14	2.10	2.00	1.96
290	2.29	2.18	2.11	2.06	1.97	1.93
300	2.26	2.15	2.08	2.03	1.94	1.90
310	2.23	2.12	2.05	2.01	1.91	1.87
320	2.20	2.09	2.03	1.98	1.88	1.84
330	2.17	2.06	2.00	1.95	1.86	1.81
340	2.15	2.04	1.97	1.92	1.83	1.79
350	2.12	2.01	1.95	1.90	1.80	1.76

Tabla 41. Factor de erosión para ejes sencillos y tándem. Pavimentos de concreto con dovelas y con bermas de concreto.

(Eje sencillo)						
Espesor de losa (mm)	k del conjunto Subrasante/Subbase					
	20	40	60	80	140	180
100	3,45	3,41	3,39	3,38	3,34	3,31
110	3,34	3,30	3,28	3,27	3,23	3,20
120	3,24	3,20	3,18	3,16	3,13	3,11
130	3,15	3,11	3,08	3,07	3,04	3,02
140	3,07	3,02	3,00	2,98	2,95	2,93
150	2,99	2,94	2,92	2,90	2,87	2,85
160	2,91	2,87	2,84	2,83	2,80	2,78
170	2,85	2,80	2,77	2,76	2,73	2,71
180	2,78	2,73	2,71	2,69	2,66	2,64
190	2,73	2,67	2,64	2,63	2,60	2,58
200	2,67	2,61	2,59	2,57	2,54	2,52
210	2,62	2,56	2,53	2,51	2,48	2,47
220	2,57	2,51	2,48	2,46	2,43	2,41
230	2,52	2,46	2,43	2,41	2,38	2,36
240	2,47	2,41	2,38	2,36	2,33	2,31
250	2,43	2,37	2,34	2,32	2,28	2,27
260	2,39	2,33	2,29	2,27	2,24	2,22
270	2,35	2,28	2,25	2,23	2,20	2,18
280	2,31	2,25	2,21	2,19	2,16	2,14
290	2,28	2,21	2,17	2,15	2,12	2,10
300	2,24	2,17	2,14	2,12	2,08	2,06
310	2,21	2,14	2,10	2,08	2,04	2,02
320	2,18	2,11	2,07	2,05	2,01	1,99
330	2,15	2,07	2,04	2,01	1,97	1,95
340	2,12	2,04	2,01	1,98	1,94	1,92
350	2,09	2,01	1,97	1,95	1,91	1,89

(Eje tándem)						
Espesor de losa (mm)	k del conjunto Subrasante/Subbase					
	20	40	60	80	140	180
100	3,45	3,36	3,33	3,31	3,28	3,27
110	3,36	3,27	3,22	3,20	3,16	3,15
120	3,28	3,18	3,13	3,11	3,06	3,04
130	3,21	3,11	3,05	3,02	2,97	2,95
140	3,15	3,04	2,98	2,95	2,89	2,86
150	3,09	2,98	2,92	2,88	2,82	2,79
160	3,04	2,92	2,86	2,82	2,75	2,72
170	2,99	2,87	2,81	2,77	2,69	2,66
180	2,94	2,82	2,76	2,71	2,64	2,61
190	2,90	2,77	2,71	2,67	2,59	2,55
200	2,86	2,73	2,67	2,62	2,54	2,51
210	2,82	2,69	2,63	2,58	2,50	2,46
220	2,78	2,66	2,59	2,54	2,46	2,42
230	2,75	2,62	2,55	2,50	2,42	2,38
240	2,72	2,59	2,52	2,47	2,38	2,34
250	2,69	2,55	2,48	2,43	2,35	2,31
260	2,66	2,52	2,45	2,40	2,31	2,27
270	2,63	2,49	2,42	2,37	2,28	2,24
280	2,60	2,47	2,39	2,34	2,25	2,21
290	2,58	2,44	2,37	2,32	2,22	2,18
300	2,55	2,41	2,34	2,29	2,19	2,15
310	2,53	2,39	2,31	2,26	2,17	2,13
320	2,50	2,36	2,29	2,24	2,14	2,10
330	2,48	2,34	2,27	2,21	2,12	2,07
340	2,46	2,32	2,24	2,19	2,09	2,05
350	2,44	2,30	2,22	2,17	2,07	2,03

Tabla 42. Factor de erosión para ejes sencillos y tándem. Pavimentos de concreto sin dovelas y con berma de concreto.

Diseño, construcción y mantenimiento de pavimentos de concreto

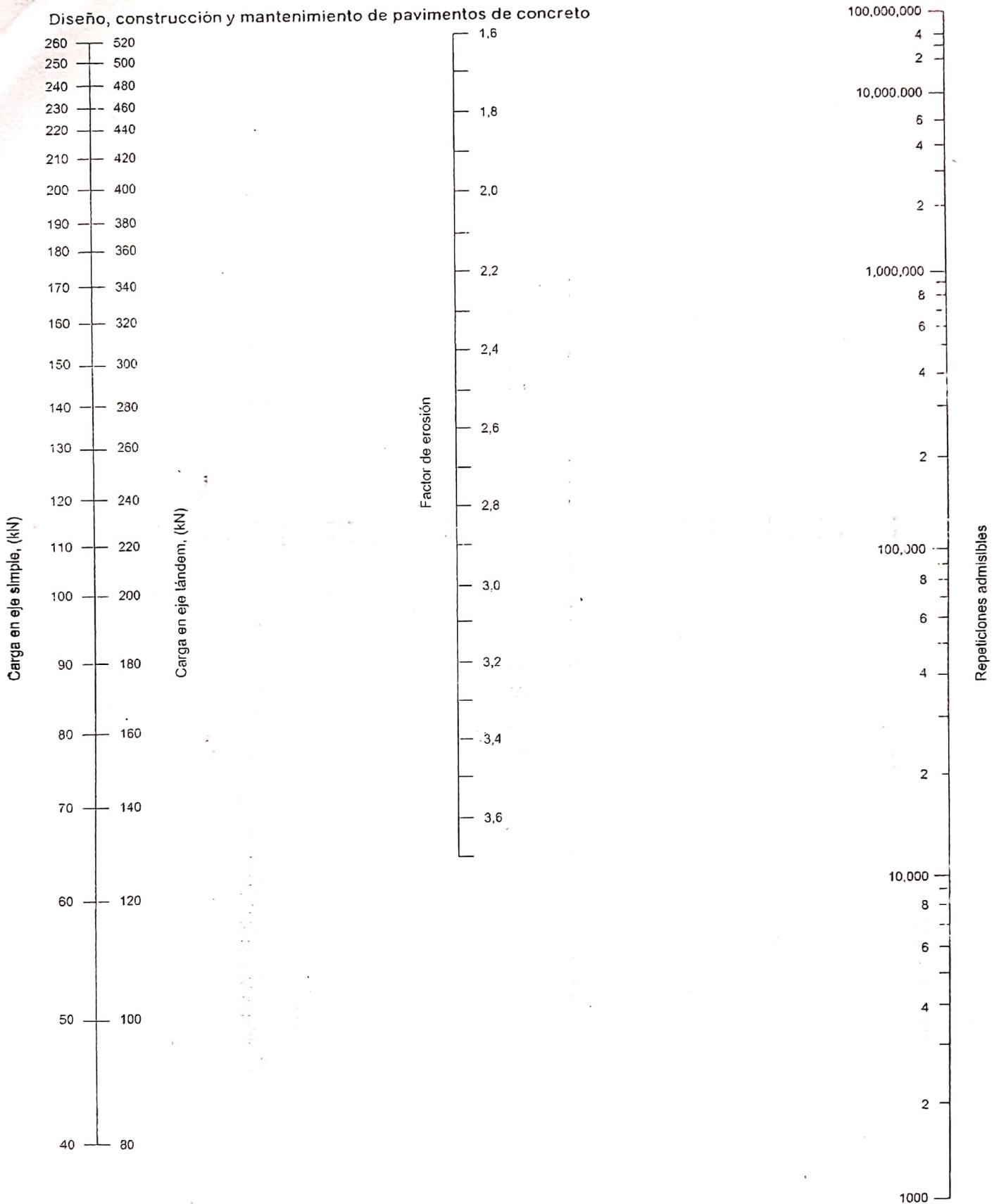


Figura 16. Análisis de erosión con berma de concreto. Repeticiones admisibles en función del factor de erosión en pavimentos con berma de concreto.

APENDICE B

RELACION SOPORTE DE CALIFORNIA (CBR) - MODULO K

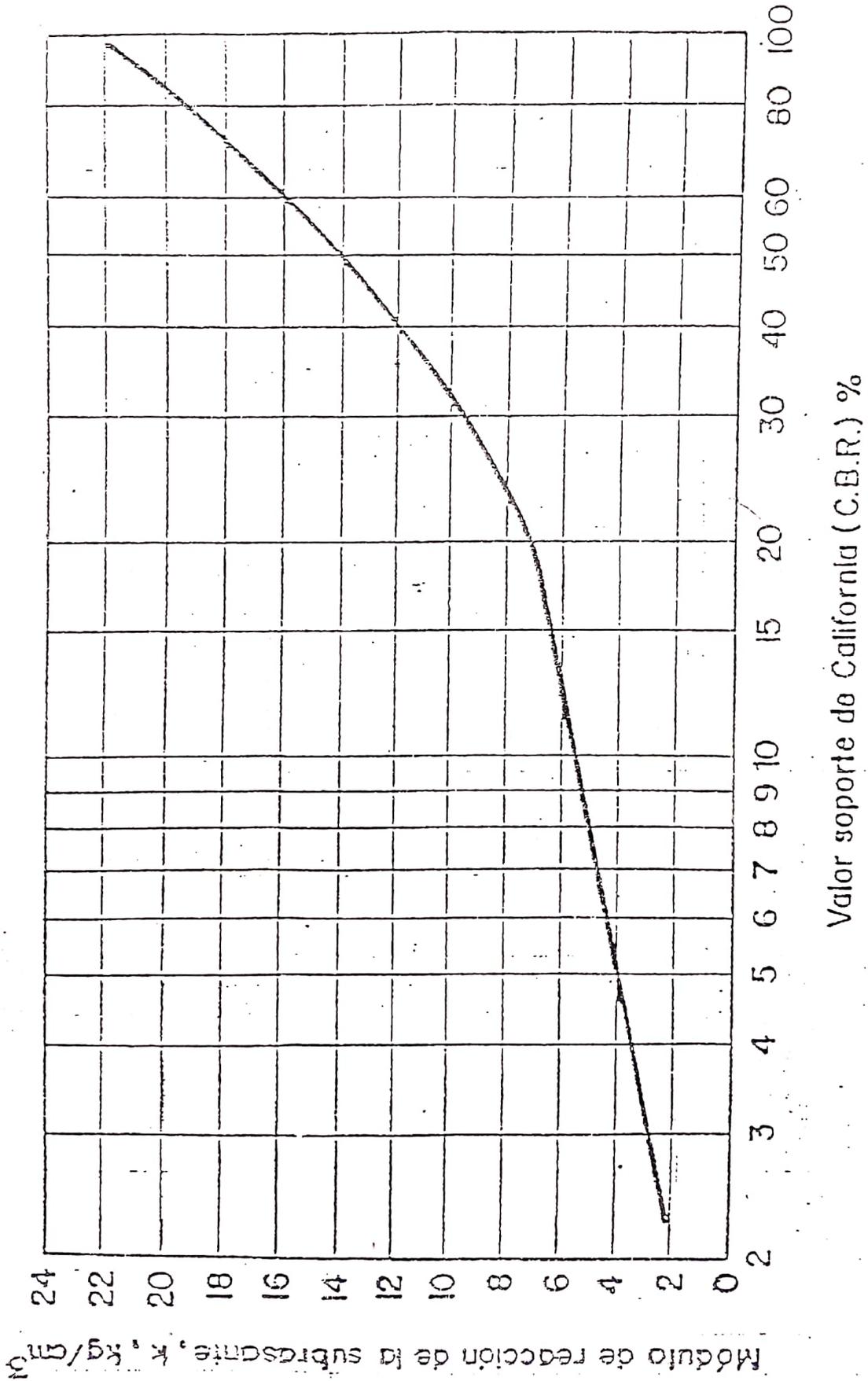


FIG. 7. Relación entre el valor soporte de California (C.B.R.) y el módulo de reacción de la subrasante (k).

TABLA C1. ESFUERZO EQUIVALENTE - TRIDEMS

(sin berma de concreto/ con berma de concreto)

ESPESES DE LOSA (mm)	K Combinado (MPa/m)					
	20	40	60	80	140	180
100	3.36/2.87	3.10/2.67	3.02/2.60	2.98/2.57	2.94/2.56	2.93/2.57
110	2.92/2.50	2.64/2.29	2.55/2.22	2.50/2.18	2.45/2.16	2.44/2.16
120	2.60/2.20	2.30/2.00	2.20/1.93	2.14/1.89	2.08/1.85	2.07/1.85
130	2.35/1.97	2.04/1.78	1.93/1.70	1.87/1.66	1.80/1.61	1.78/1.61
140	2.15/1.78	1.83/1.59	1.72/1.52	1.65/1.48	1.58/1.43	1.55/1.42
150	1.99/1.62	1.67/1.44	1.55/1.37	1.48/1.33	1.40/1.27	1.37/1.26
160	1.85/1.49	1.54/1.32	1.41/1.24	1.34/1.20	1.25/1.15	1.23/1.13
170	1.73/1.38	1.43/1.21	1.30/1.14	1.23/1.10	1.14/1.04	1.11/1.03
180	1.62/1.28	1.34/1.12	1.21/1.05	1.14/1.01	1.04/0.96	1.01/0.94
190	1.53/1.19	1.26/1.04	1.13/0.98	1.06/0.94	0.96/0.88	0.92/0.86
200	1.45/1.12	1.19/0.98	0.97/0.91	0.99/0.87	0.89/0.82	0.85/0.80
210	1.37/1.05	1.13/0.92	1.01/0.85	0.93/0.81	0.83/0.76	0.79/0.74
220	1.30/0.99	1.07/0.86	0.95/0.80	0.88/0.76	0.78/0.71	0.74/0.69
230	1.24/0.93	1.02/0.81	0.91/0.76	0.84/0.72	0.73/0.67	0.70/0.65
240	1.18/0.88	0.97/0.77	0.87/0.71	0.80/0.68	0.69/0.63	0.66/0.61
250	1.13/0.84	0.93/0.73	0.83/0.68	0.76/0.64	0.66/0.59	0.62/0.57
260	1.07/0.79	0.89/0.70	0.79/0.64	0.73/0.61	0.63/0.56	0.59/0.54
270	1.02/0.75	0.86/0.66	0.76/0.61	0.70/0.58	0.60/0.53	0.57/0.52
280	0.98/0.72	0.82/0.63	0.73/0.59	0.67/0.56	0.58/0.51	0.54/0.49
290	0.93/0.68	0.79/0.60	0.71/0.56	0.65/0.53	0.55/0.49	0.52/0.47
300	0.89/0.65	0.76/0.58	0.68/0.54	0.63/0.51	0.53/0.46	0.50/0.45
310	0.85/0.62	0.73/0.55	0.66/0.51	0.60/0.49	0.51/0.44	0.48/0.43
320	0.81/0.59	0.70/0.53	0.63/0.49	0.58/0.47	0.50/0.43	0.46/0.41
330	0.77/0.57	0.68/0.51	0.61/0.47	0.56/0.45	0.48/0.41	0.45/0.39
340	0.73/0.54	0.65/0.49	0.59/0.46	0.55/0.43	0.46/0.39	0.43/0.38
350	0.70/0.52	0.63/0.47	0.57/0.44	0.53/0.42	0.45/0.38	0.42/0.36

TABLA C2. FACTORES DE EROSION-TRIDEMS-JUNTAS CON PASADORES

(sin berma de concreto/con berma de concreto)

ESPESOR DE LOSA (mm)	K Combinado (MPa/m)					
	20	40	60	80	140	190
100	3.86/3.27	3.90/3.17	3.75/3.13	3.71/3.12	3.62/3.07	3.56/3.03
110	3.76/3.19	3.69/3.07	3.65/3.02	3.62/3.00	3.53/2.95	3.48/2.92
120	3.68/3.12	3.60/2.99	3.56/2.93	3.52/2.90	3.45/2.85	3.40/2.82
130	3.60/3.06	3.51/2.92	3.47/2.85	3.44/2.81	3.37/2.76	3.33/2.73
140	3.53/3.00	3.43/2.85	3.39/2.78	3.36/2.74	3.29/2.67	3.26/2.64
150	3.47/2.95	3.36/2.80	3.31/2.73	3.23/2.67	3.22/2.59	3.19/2.56
160	3.41/2.91	3.30/2.76	3.25/2.67	3.21/2.62	3.15/2.52	3.12/2.49
170	3.35/2.86	3.24/2.71	3.19/2.62	3.15/2.57	3.08/2.47	3.05/2.43
180	3.30/2.82	3.19/2.67	3.13/2.58	3.09/2.52	3.02/2.41	2.99/2.37
190	3.25/2.79	3.14/2.63	3.08/2.54	3.04/2.48	2.96/2.37	2.93/2.32
200	3.21/2.75	3.09/2.59	3.03/2.50	2.99/2.44	2.91/2.32	2.88/2.28
210	3.16/2.72	3.05/2.56	2.99/2.47	2.94/2.40	2.86/2.28	2.83/2.23
220	3.12/2.68	3.01/2.53	2.94/2.43	2.90/2.37	2.82/2.25	2.78/2.20
230	3.08/2.65	2.97/2.49	2.90/2.40	2.86/2.34	2.77/2.21	2.74/2.16
240	3.05/2.62	2.93/2.46	2.86/2.37	2.82/2.31	2.73/2.18	2.69/2.13
250	3.01/2.59	2.89/2.44	2.83/2.34	2.78/2.28	2.69/2.15	2.65/2.10
260	2.98/2.57	2.86/2.41	2.79/2.32	2.74/2.25	2.66/2.12	2.62/2.07
270	2.94/2.54	2.82/2.38	2.76/2.29	2.71/2.22	2.62/2.10	2.58/2.04
280	2.91/2.51	2.79/2.36	2.72/2.26	2.66/2.20	2.59/2.07	2.55/2.01
290	2.88/2.49	2.76/2.33	2.69/2.24	2.65/2.17	2.55/2.04	2.51/1.99
300	2.85/2.47	2.73/2.31	2.66/2.22	2.62/2.15	2.52/2.02	2.48/1.96
310	2.82/2.44	2.70/2.29	2.63/2.19	2.59/2.13	2.49/2.00	2.45/1.94
320	2.80/2.42	2.68/2.26	2.61/2.17	2.56/2.10	2.46/1.97	2.42/1.92
330	2.77/2.40	2.65/2.24	2.58/2.15	2.53/2.08	2.44/1.95	2.40/1.89
340	2.74/2.38	2.62/2.22	2.55/2.13	2.50/2.06	2.41/1.93	2.37/1.87
350	2.72/2.36	2.60/2.20	2.53/2.11	2.48/2.04	2.38/1.91	2.34/1.85

TABLA 03. FACTORES DE EROSION-TRIDEMS-JUNTAS DE TRABAZON DE ACRIQUE

(Sin berma de concreto/Con berma de concreto)

ESPESOR DE LOSA (mm)	K Combinado (MPa/m)					
	20	40	60	80	140	180
100	4.03/3.44	3.93/3.35	3.88/3.30	3.84/3.27	3.75/3.22	3.70/3.19
110	3.93/3.36	3.84/3.26	3.78/3.20	3.74/3.17	3.66/3.12	3.61/3.09
120	3.85/3.29	3.75/3.18	3.70/3.12	3.66/3.09	3.57/3.02	3.53/2.99
130	3.77/3.23	3.68/3.11	3.62/3.05	3.58/3.01	3.50/2.94	3.45/2.91
140	3.70/3.17	3.60/3.04	3.55/2.98	3.51/2.94	3.42/2.87	3.38/2.83
150	3.64/3.12	3.54/2.99	3.48/2.92	3.44/2.88	3.36/2.80	3.32/2.77
160	3.59/3.08	3.47/2.94	3.42/2.87	3.38/2.82	3.29/2.74	3.25/2.70
170	3.52/3.03	3.42/2.89	3.36/2.82	3.32/2.77	3.23/2.69	3.19/2.65
180	3.47/2.99	3.36/2.85	3.30/2.77	3.26/2.72	3.18/2.62	3.14/2.60
190	3.42/2.96	3.31/2.81	3.25/2.73	3.21/2.68	3.13/2.59	3.09/2.55
200	3.37/2.93	3.26/2.77	3.20/2.69	3.16/2.64	3.08/2.54	3.04/2.50
210	3.33/2.89	3.22/2.74	3.16/2.65	3.11/2.60	3.03/2.50	2.99/2.46
220	3.29/2.87	3.18/2.71	3.11/2.62	3.07/2.56	2.99/2.47	2.95/2.42
230	3.25/2.84	3.13/2.68	3.07/2.59	3.03/2.53	2.94/2.43	2.91/2.38
240	3.21/2.81	3.10/2.65	3.03/2.56	2.99/2.50	2.90/2.40	2.86/2.35
250	3.17/2.79	3.06/2.62	2.99/2.53	2.95/2.47	2.87/2.37	2.83/2.32
260	3.14/2.77	3.02/2.60	2.96/2.50	2.91/2.44	2.83/2.34	2.79/2.29
270	3.10/2.74	2.99/2.57	2.92/2.48	2.89/2.42	2.79/2.31	2.75/2.26
280	3.07/2.72	2.96/2.55	2.89/2.46	2.85/2.39	2.76/2.28	2.72/2.23
290	3.04/2.70	2.92/2.53	2.86/2.43	2.81/2.37	2.73/2.25	2.69/2.20
300	3.01/2.68	2.89/2.51	2.83/2.41	2.78/2.35	2.69/2.23	2.65/2.18
310	2.98/2.67	2.87/2.49	2.80/2.39	2.75/2.33	2.66/2.21	2.62/2.16
320	2.96/2.65	2.84/2.47	2.77/2.37	2.72/2.31	2.63/2.19	2.59/2.13
330	2.93/2.63	2.81/2.45	2.74/2.35	2.70/2.29	2.61/2.17	2.57/2.11
340	2.91/2.61	2.78/2.43	2.72/2.33	2.67/2.27	2.58/2.15	2.54/2.09
350	2.88/2.60	2.76/2.42	2.69/2.32	2.64/2.25	2.55/2.13	2.51/2.07

CONFIABILIDAD

EL FACTOR DE CONFIABILIDAD DE DISEÑO TIENE EN CUENTA VARIACIONES AL AZAR TANTO EN LA PREDICCIÓN DEL TRANSITO COMO EN LA PREDICCIÓN DEL COMPORTAMIENTO, Y POR LO TANTO PROPORCIONA UN NIVEL PREDETERMINADO DE CONFIANZA (R) DE QUE LOS TRAMOS DEL PAVIMENTO SOBREVIVIRAN AL PERIODO PARA EL CUAL FUERON DISEÑADOS.

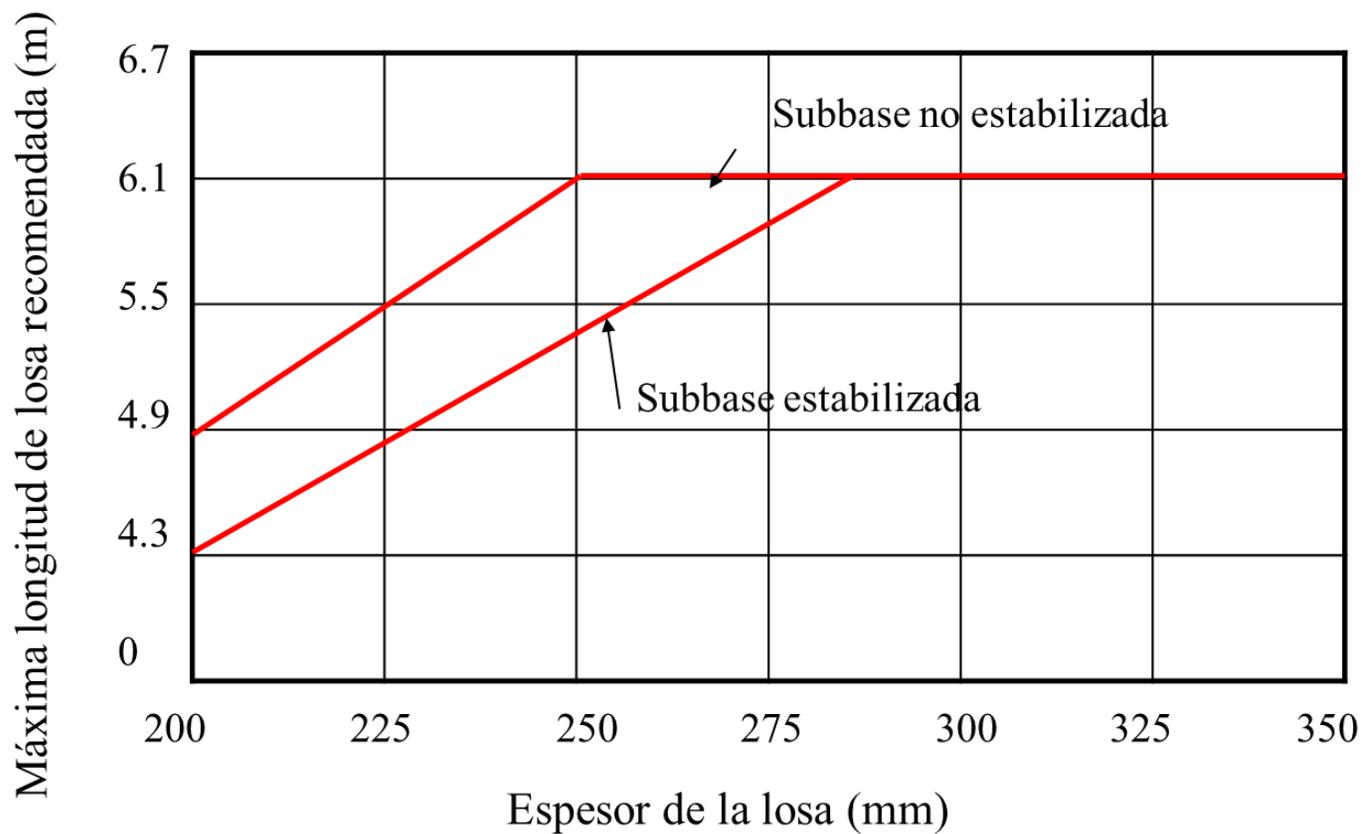
NIVELES DE CONFIABILIDAD SUGERIDOS PARA DIFERENTES CARRETERAS

CLASIFICACION DE CARRETERAS	NIVEL DE CONFIABILIDAD RECOMENDADO R %	
	URBANA	RURAL
AUTOPISTAS INTERSTATALES Y OTRAS	85-99.9	80-99.9
ARTERIAS O CARRETERAS PRINCIPALES	80-99	75-95
COLECTORAS DE TRANSITO	80-95	75-95
CARRETERAS LOCALES	50-80	50-80

VALORES DE DESVIACION ESTANDAR (ZR) CORRESPONDIENTE A DETERMINADOS NIVELES DE CONFIANZA

CONFIABILIDAD R %	DESVIACION NORMAL ESTAND. ZR	CONFIABILIDAD R %	DESVIACION NORMAL ESTAND. ZR
50	- 0.000	92.0	- 1.405
60	- 0.253	93.0	- 1.476
70	- 0.524	94.0	- 1.555
75	- 0.674	95.0	- 1.645
80	- 0.841	97.0	- 1.881
85	- 1.037	98.0	- 2.054
90	- 1.282	99.0	- 2.327
91	- 1.340	99.9	- 3.090

ESPACIAMIENTO MAXIMO DE LAS JUNTAS



REQUISITOS MINIMOS PARA LAS DOVELAS EN LAS JUNTAS

Espesor del pavimento (mm)	Diámetro del pasador		Longitud total (mm)	Separación entre centros (mm)
	mm	pulg.		
100	12.7	1/2	250	300
110-130	15.9	5/8	300	300
140-150	19.1	3/4	350	300
160-180	22.2	7/8	350	300
190-200	25.4	1	350	300
210-230	28.6	1 1/8	400	300
240-250	31.8	1 1/4	450	300
260-280	34.9	1 3/8	450	300
290-300	38.1	1 1/2	500	300

RECOMENDACIONES PARA LAS BARRAS DE ANCLAJE

Espesor de losa (cm)	Barra de Ø 9.5mm (3/8")				Barra de Ø 12.7mm (1/2")				Barra de Ø 15.9 mm (5/8")			
	Longitud mm	Separación entre barras, mm			Longitud mm	Separación entre barras, mm			Longitud mm	Separación entre barras, mm		
		Carril de 3.05 m	Carril de 3.35 m	Carril de 3.65 m		Carril de 3.05 m	Carril de 3.35 m	Carril de 3.65 m		Carril de 3.05 m	Carril de 3.35 m	Carril de 3.65 m
Acero de $f_y = 1.875\text{kg/cm}^2$ (40.000 psi)												
15	450	0.80	0.75	0.65	600	1.20	1.20	1.20	700	1.20	1.20	1.20
17.5		0.70	0.60	0.55		1.20	1.10	1.00		1.20	1.20	1.20
20		0.60	0.55	0.50		1.05	1.00	0.90		1.20	1.20	1.20
22.5		0.55	0.50	0.45		0.95	0.85	0.80		1.20	1.20	1.20
25		0.45	0.45	0.40		0.85	0.80	0.70		1.20	1.20	1.20
Acero de $f_y = 2.800\text{kg/cm}^2$ (60.000 psi)												
15	650	1.20	1.10	1.00	850	1.20	1.20	1.20	1000	1.20	1.20	1.20
17.5		1.05	0.95	0.85		1.20	1.20	1.20		1.20	1.20	1.20
20		0.90	0.80	0.75		1.20	1.20	1.20		1.20	1.20	1.20
22.5		0.80	0.75	0.65		1.20	1.20	1.20		1.20	1.20	1.20
25		0.70	0.65	0.60		1.20	1.15	1.10		1.20	1.20	1.20

ANEXO 13. DISEÑO GEOMÉTRICO DE VÍAS

El diseño geométrico de vías se realiza sobre el modelo digital del terreno, producto del levantamiento topográfico del proyecto; se utilizan los softwares Topo3 y AutoCAD bajo licencias estudiantiles de la Universidad del Cauca.

- **Parámetros Generales de Diseño.**

Se debe contar con la información urbanística preliminar, en la cual se detalla la sección de la vía, esta se encuentra en el Esquema de Ordenamiento Territorial (EOT) municipal.

- Categoría de la vía: Urbana.
- Velocidad de diseño: 20 km/h.
- Vehículo de diseño: Camión C2.



Imagen 1. Parámetros generales de diseño. Fuente Topo3.

- Ancho de carril: 3.25 metros.
- Bombeo: 2 %.

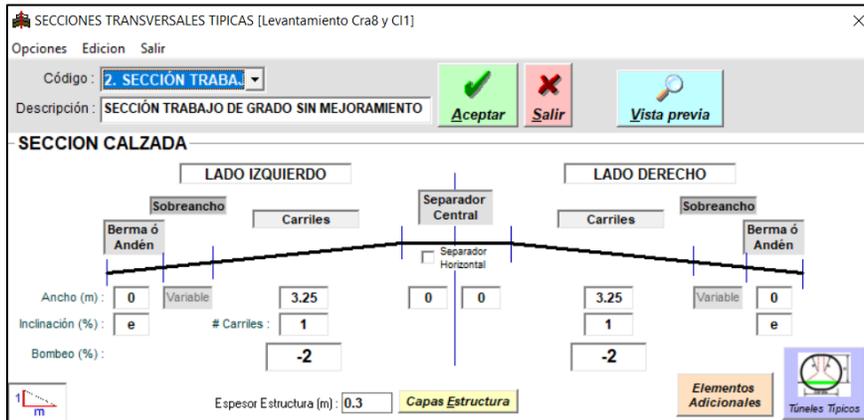


Imagen 2. Parámetros generales de sección transversal. Fuente Topo3.

- Elementos Adicionales: Andén de 1 metro y bordillo 15 centímetros sobre rasante.

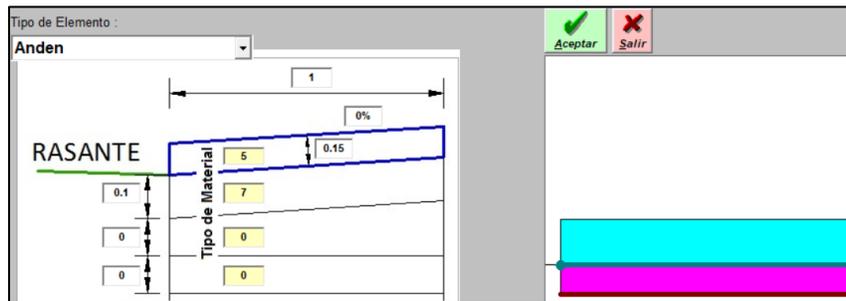


Imagen 3. Elementos adicionales de la sección transversal. Fuente Topo3.

Estructura de pavimento para la Carrera 8, la cual ya cuenta con material de afirmado para mejoramiento:

- Espesor de concreto: 0.15 metros.
- Espesor de subbase: 0.15 metros.

ESTRUCTURA SECCION TRANSVERSAL [2. SECCIÓN TRABAJO DE GRADO SIN MEJORAMIENTO]

Opciones

CALZADA-SOBREANCHO			BERMA-ANDÉN
Capa	Espesor (m)	Tipo de Material	<input checked="" type="checkbox"/> Estructura Berma = Calzada
1	0.150	5. Concreto Rigido 1	
2	0.150	4. Subbase	
3			

Imagen 4. Parámetros generales de estructura Carrera 8. Fuente Topo3.

Estructura de pavimento para la Calle 1, la cual no cuenta con ningún tipo estricto de mejoramiento.

- Espesor de concreto: 0.15 metros.
- Espesor de subbase: 0.15 metros.
- Espesor de mejoramiento: 0.35 metros.

ESTRUCTURA SECCION TRANSVERSAL [1. SECCIÓN TRABAJO DE GRADO CON MEJORAMIENTO]		
Opciones		
CALZADA-SOBREANCHO		BERMA-ANDÉN
Capa	Espesor (m)	Tipo de Material
1	0.150	5. Concreto Rigido 1
2	0.150	4. Subbase
3	0.350	7. Relleno
4		
		<input checked="" type="checkbox"/> Estructura Berma = Calzada

Imagen 5. Parámetros generales de estructura Calle 1. Fuente Topo3.

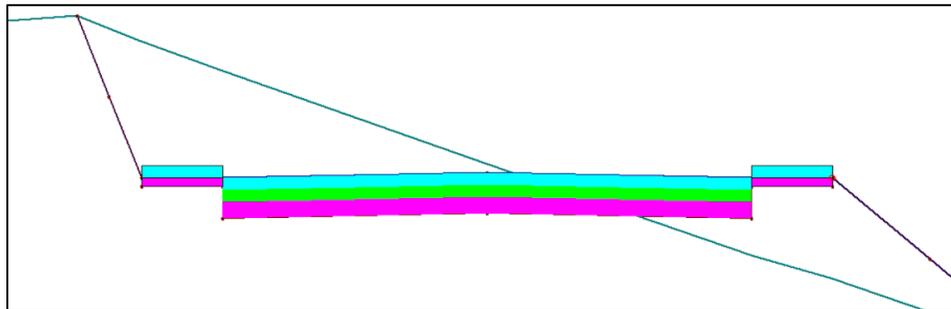


Imagen 6. Sección Transversal típica. Fuente Topo3.

- **Diseño en Planta.**

Se crea una polilínea con propiedad “*Con Diseño de Vías*”.

Se realiza el diseño en planta de las vías de tal manera que no se afecte las construcciones existentes ni se sobrepasen los límites de los terrenos particulares.

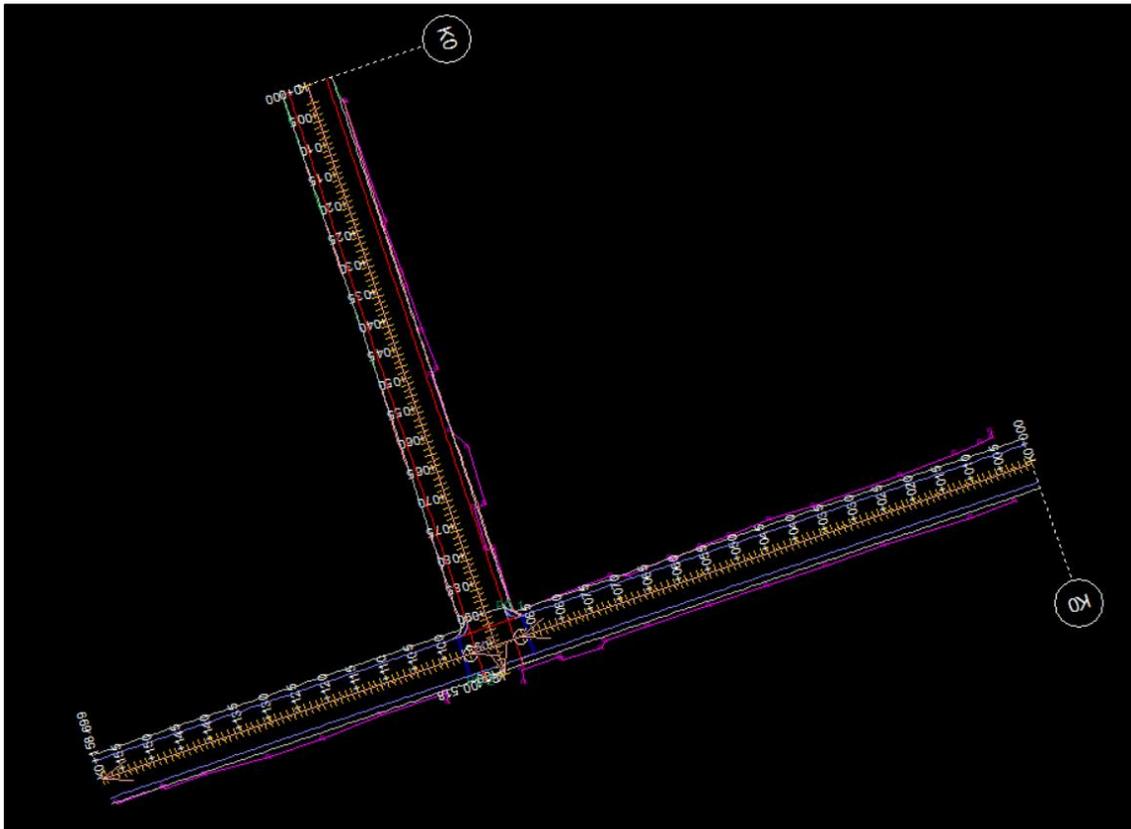


Imagen 7. Diseño en planta de las vías. Fuente Topo3.

- **Diseño de Intersección.**

1. Definir vía principal y vía secundaria, en función del tránsito de la vía.

- Vía principal: Carrera 8. Id 18.

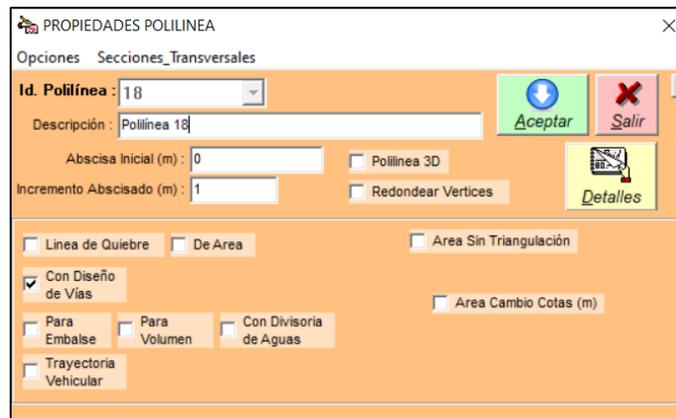


Imagen 8. Id Vía principal Carrera 8. Fuente Topo3.

- Vía secundaria: Calle 1. Id 23.

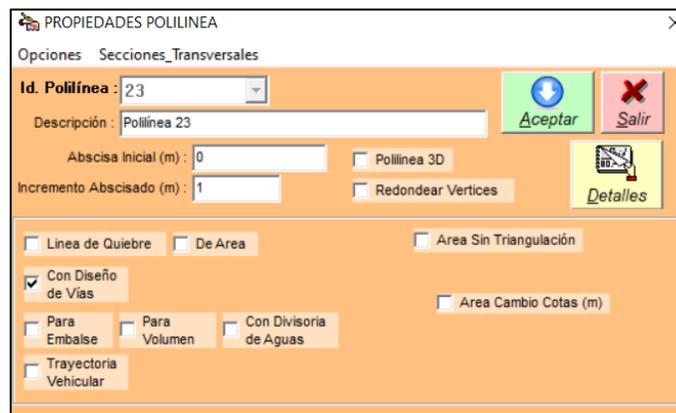


Imagen 9. Id Vía secundaria Calle 1. Fuente Topo3.

Para la vía secundaria se crean dos vértices para un mejor detalle (en el diseño en planta se debe especificar que son vértices “*Sin Curvas*”).



Imagen 10. Vértices en diseño de vía Calle 1. Fuente Topo3.

2. Esquinas de diseño

El radio de las esquinas de diseño está en función del vehículo de diseño y de su radio de giro, algunas recomendaciones son las presentadas en el manual: *A Policy on Geometric Design of Highways and Streets* de la *AASHTO*. Sin embargo, debido al poco espacio que existe en el terreno para proveer los radios que recomienda este manual, se trabaja con un radio de 2 metros, el cual es un valor bastante utilizado en zonas urbanas.

El procedimiento en Topo3 es el siguiente:

- Se crea una nueva capa “ESQUINAS”.
- Se crean polilíneas en donde se van a hacer las esquinas, con la propiedad “*Con Diseño de Vías*”.

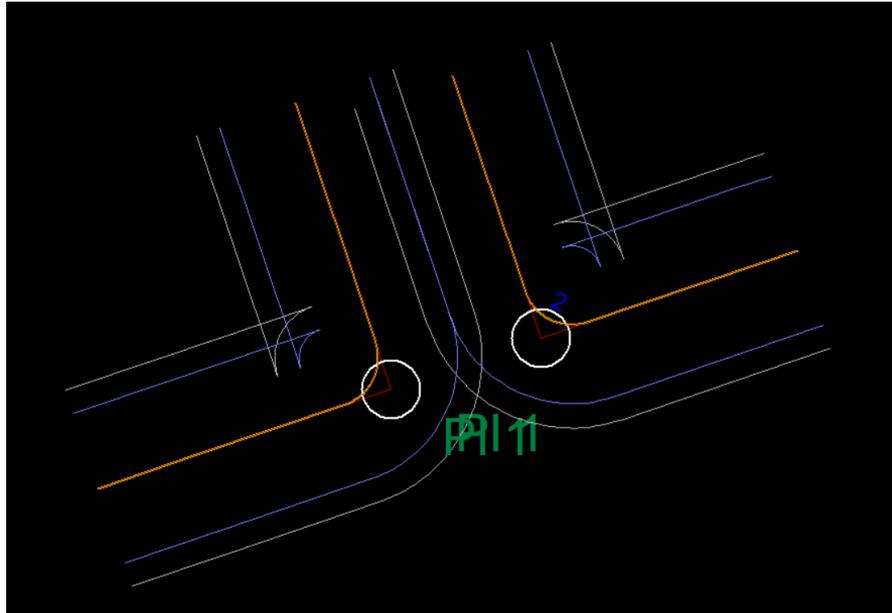


Imagen 11. Polilíneas de las esquinas. Fuente Topo3.

- Se define el radio de la curva (2 metros) en “*Diseño en planta de la vía*”, en detalle de curva se puede modificar si la curva es compuesta, en este caso se trabaja con circular simple.

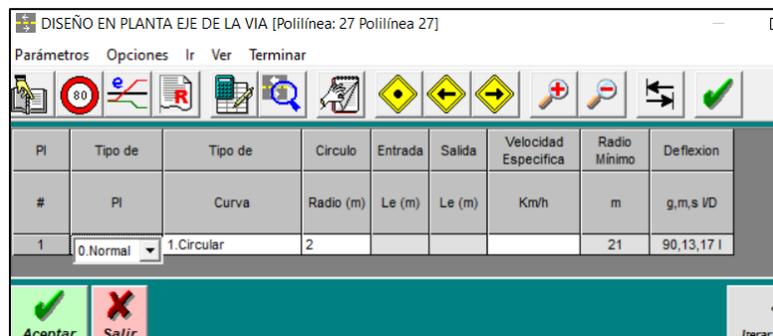


Imagen 12. Radio de la curva de la esquina. Fuente Topo3.

- Se desactivan las siguientes opciones en “*Opciones de Diseño de Geométrico*”.

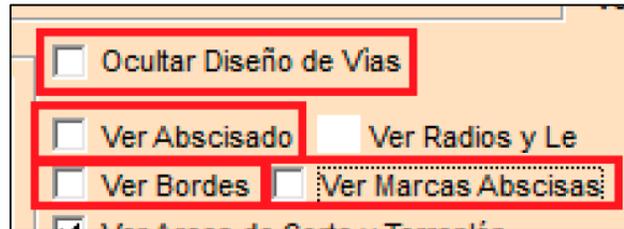


Imagen 13. Opciones a desactivar. Fuente Topo3.

- Con los anteriores pasos realizados, se obtiene el siguiente resultado visual:

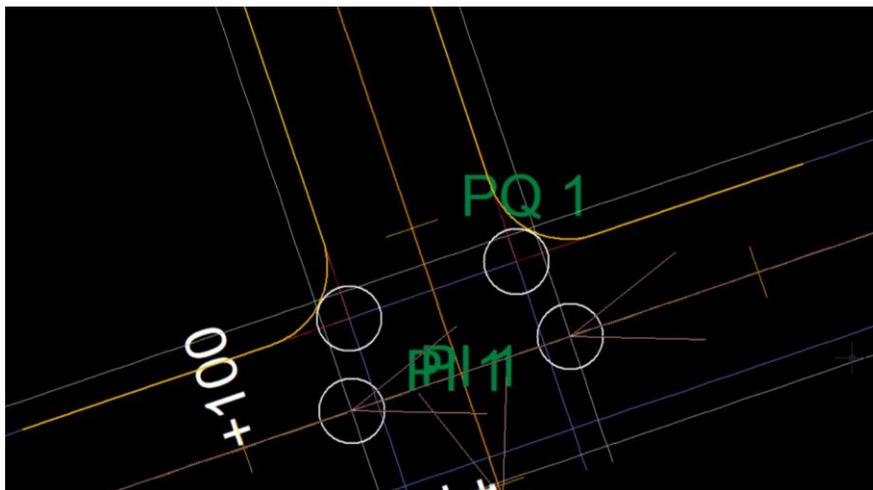


Imagen 14. Esquinas de diseño en proceso. Fuente Topo3.

3. Asignación de las esquinas como bordes al diseño de la vía principal.

Se identifica el código de cada una de las polilíneas que componen las esquinas de diseño, códigos: Polilíneas 26 y 27.

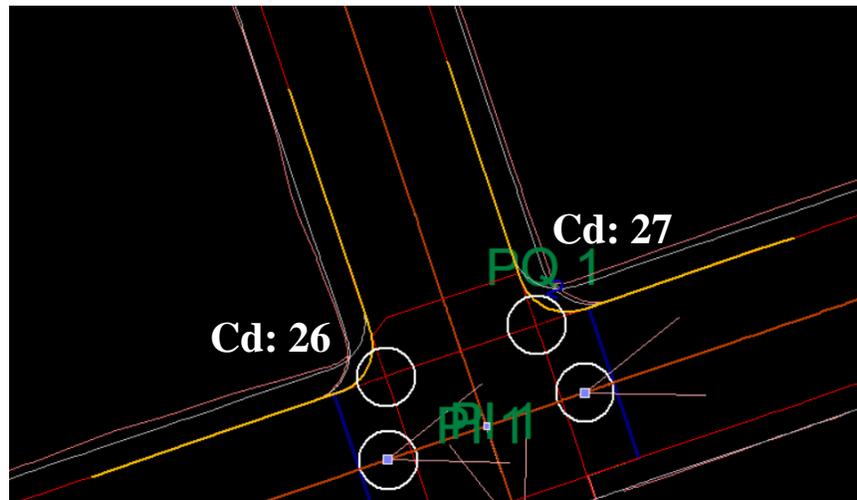


Imagen 15. Códigos de las polilíneas de las esquinas. Fuente Topo3.

Se debe identificar el ancho de afectación de cada esquina sobre el eje respectivo y las abscisas en las que cada esquina afecta a cada eje en la zona de intersección.

- Eje Principal (Carrera 8).

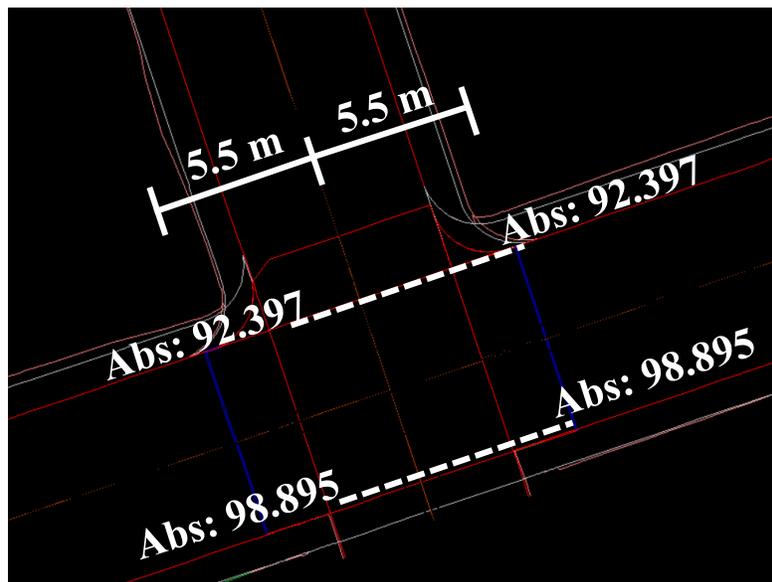


Imagen 16. Ancho y abscisas de esquina sobre eje principal. Fuente Topo3.

Ancho de afectación aproximado: 5.5 metros.

El eje está limitado de la siguiente manera:

Lado izquierdo: Polilínea 27, abscisas: 92.397 y 98.895.

Lado derecho: Polilínea 26, abscisas: 92.397 y 98.895.

- Eje Secundario (Calle 1).

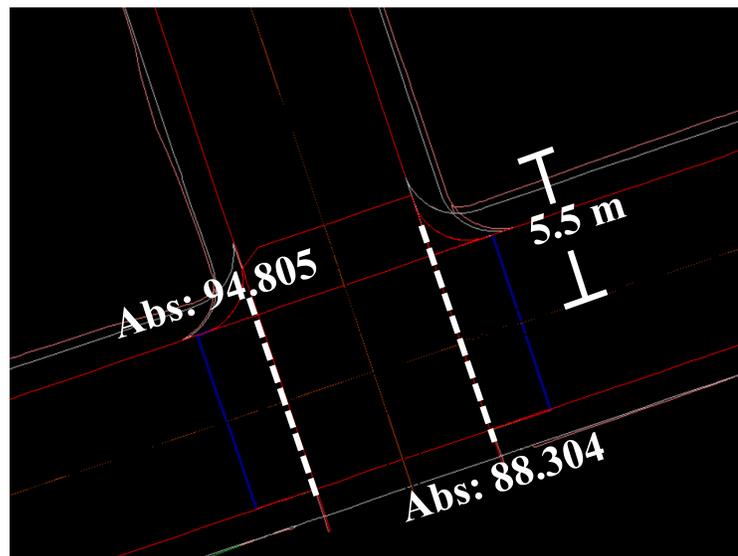


Imagen 17. Ancho y abscisas de esquina sobre eje secundario. Fuente Topo3.

Ancho de afectación aproximado: 5.5 metros.

El eje está limitado de la siguiente manera:

Lado derecho: Polilínea 26 y 27, abscisas: 88.304 y 94.805.

En el Diseño de la Sección Transversal de la Vía, hay dos módulos: “*Límites*” y “*Valores Elementos*”, en los cuales se debe plasmar la información encontrada anteriormente, para asignar las esquinas como bordes, especificar el ancho máximo del carril y quitar los andenes de la zona de intersección. Lo anterior para cada eje.

- Eje Principal (Carrera 8).

SECCION TRANSVERSAL [Polilínea: 18 Polilínea 18]													
Abscisa Inicial (m) :		0.0000		Final (m) :		100.5185							
Polilíneas de Control		Ecuaciones de Empalme		Velocidades por Tramo		Numeración Pfs		Perfiles Laterales		Quitar Elemento Adicional		Postes de Referencia	
Sección Transversal		Abscisas Adicionales		Muros, Puentes y Túneles		Límites		Valores Elementos		Distancia Lateral Máxima		Sitios Especiales	
#	Id Polilínea	Línea de Rastreo	Lado	Abscisa Inicial (m)	Abscisa Final (m)	Tipo de Elemento	Distancia Máxima Chequeo (m)	Control de Cotas		Id Polilínea Referencia			
1	26	Diseño de Vía	Derecha			Carril	5.5	Sin Control					
2	27	Diseño de Vía	Izquierda			Carril	5.5	Sin Control					
3		Polilínea	Derecha	92.397	98.895	Zona de Interseccion	20	Cota Chafan = Berma					
4		Polilínea	Izquierda	92.397	98.895	Zona de Interseccion	20	Cota Chafan = Berma					
5													
6													

Imagen 18. Información en el Módulo “Límites” eje principal. Fuente Topo3.

SECCION TRANSVERSAL [Polilínea: 18 Polilínea 18]													
Abscisa Inicial (m) :		0.0000		Final (m) :		100.5185							
Polilíneas de Control		Ecuaciones de Empalme		Velocidades por Tramo		Numeración Pfs		Perfiles Laterales		Quitar Elemento Adicional			
Sección Transversal		Abscisas Adicionales		Muros, Puentes y Túneles		Límites		Valores Elementos		Distancia Lateral Máxima		Sitios Especiales	
#	Abscisa Inicial (m)	Abscisa Final (m)	Tipo de Elemento	Valor Elemento Inicial	Valor Elemento Final	Lado	Valor Absoluto/Relativo						
1	92.397	98.895	Carril	5.5	5.5	Derecha	Absoluto						
2	92.397	98.895	Carril	5.5	5.5	Izquierda	Absoluto						
3	0	2.8	Talud Corte	0	0	Ambos	Relativo						
4	92.397	98.895	Berma	0	0	Derecha	Absoluto						
5	92.397	98.895	Berma	0	0	Izquierda	Absoluto						
6													

Imagen 19. Información en el Módulo “Valores Elementos” eje principal. Fuente Topo3.

- Eje Secundario (Calle 1).

SECCION TRANSVERSAL [Polilínea: 23 Polilínea 23]													
Abscisa Inicial (m) :		0.0000		Final (m) :		158.6995							
Polilíneas de Control		Ecuaciones de Empalme		Velocidades por Tramo		Numeración Pfs		Perfiles Laterales		Quitar Elemento Adicional		Postes de Referencia	
Sección Transversal		Abscisas Adicionales		Muros, Puentes y Túneles		Límites		Valores Elementos		Distancia Lateral Máxima		Sitios Especiales	
#	Id Polilínea	Línea de Rastreo	Lado	Abscisa Inicial (m)	Abscisa Final (m)	Tipo de Elemento	Distancia Máxima Chequeo (m)	Control de Cotas		Id Polilínea Referencia			
1	26	Diseño de Vía	Derecha			Carril	5.5	Sin Control					
2	27	Diseño de Vía	Derecha			Carril	5.5	Sin Control					
3		Polilínea	Derecha	88.304	94.805	Zona de Interseccion	20	Cota Chafan = Berma					
4													
5													
6													

Imagen 20. Información en el Módulo “Límites” eje secundario. Fuente Topo3.

SECCION TRANSVERSAL [Polilínea: 23 Polilínea 23]							
Abscisa Inicial (m) :		0.0000		Final (m) :		158.6995	
Polilíneas de Control		Ecuaciones de Empalme		Velocidades por Tramo		Numeración PIs	
Perfiles Laterales		Quitar Elemento Adicio		Sección Transversal		Abscisas Adicionales	
Muros, Puentes y Túneles		Límites		Valores Elementos		Distancia Lateral Máxima	
#	Abscisa Inicial (m)	Abscisa Final (m)	Tipo de Elemento	Valor Elemento Inicial	Valor Elemento Final	Lado	Valor Absoluto/Relativo
1	88.304	94.805	Carril	5.5	5.5	Derecha	Absoluto
2	87.06	95.96	Talud Corte	0	0	Ambos	Absoluto
3	88.304	94.805	Berma	0	0	Derecha	Absoluto
4							

Imagen 21. Información en el Módulo “Valores Elementos” eje secundario. Fuente Topo3.

Nota: No se puede culminar el diseño de intersección sin antes contar con los diseños en perfil de las vías.

- **Diseño en Perfil.**

Se debe realizar el diseño en perfil de las vías, de acuerdo al nivel de las construcciones existentes (casas) y el nivel de la rasante actual de la vía. Además de que el espesor de la estructura de pavimento debe compensar al material orgánico existente que se debe retirar.

Con base en lo anterior, se define lo siguiente:

Carrera 8. Como las construcciones están por encima de la rasante actual, el nuevo nivel de la rasante se diseña al nivel de la rasante actual, de tal manera que el bordillo que sobresale 15 centímetros del nivel del pavimento, sirve como transición entre las cotas pavimento-construcciones. Sin embargo, por lo que se va a explicar en el perfil de la Calle 1, se baja 15 centímetros al final de la vía para lograr el empalme en la intersección.



Imagen 22. Fotografía de campo nivel de rasante actual y de construcciones Carrera 8. Fuente Propia.



Imagen 23. Diseño en perfil de la Carrera 8. Fuente Topo3.

Calle 1 entre Carrera 7 y 9. Como las construcciones están al nivel de la rasante actual, el nuevo nivel de la rasante se diseña 15 centímetros por debajo de la rasante actual, de tal manera que el bordillo que sobresale 15 centímetros del nivel del pavimento, compensa esa excavación y no se perjudican las construcciones, al dejarlas siempre por encima de la cota del pavimento.



Imagen 24. Fotografía de campo nivel de rasante actual y de construcciones Calle 1. Fuente Propia.



Imagen 25. Diseño en perfil de la Calle 1. Fuente Topo3.

- **Terminación de Diseño de Intersección.**

El paso a seguir es: calcular las secciones transversales para la vía principal (Carrera 8). Importante crear MD (Modelo Digital).



The screenshot shows the 'CALCULO DE SECCIONES TRANSVERSALES Y MOVIMIENTO DE TIERRAS' interface. Key settings include:

- Polilínea: 18 - Polilínea 18
- FORMA DE CALCULO DE VOLUMENES: Modelo Digital, Lineal, Area Promedio
- MODELO DIGITAL VIA: Crea MD, Crea MD + Terreno
- Precisión del MDV: Buena
- Ancho Transversal de Análisis (m): 100
- Ancho Adicional Cotas Negras Sección Transversal (m): 0
- Buttons: Recalcular todos los Ejes, Borrar cálculos de volúmenes todos los Ejes, Aceptar, Salir

Imagen 26. Cálculo de secciones transversales para vía principal. Fuente Topo3.

- Empalme manual en Topo3.

Consiste en forzar el diseño en perfil de la vía secundaria al diseño en perfil de la vía principal, para ello, se realiza el siguiente proceso:

En el diseño en perfil de la vía secundaria, se va a la sección “Ver”, luego a “Selección de perfiles”, donde se debe activar la visibilidad del perfil de la vía principal, para la cual se calcularon las secciones transversales anteriormente.

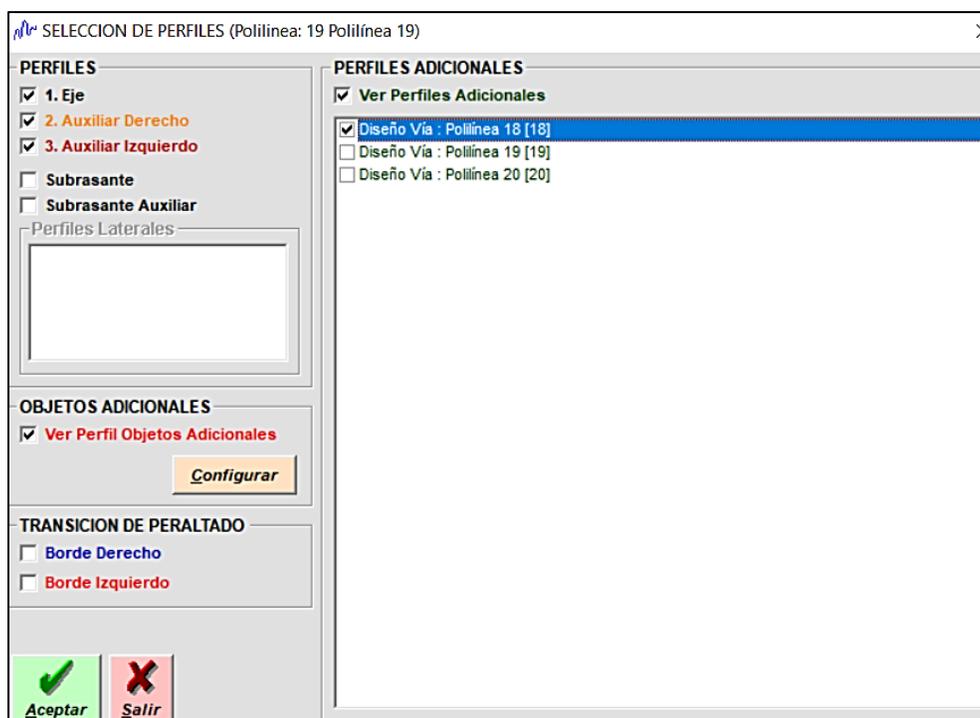


Imagen 27. Activación del perfil de la vía principal en el perfil de la vía secundaria. Fuente Topo3.

Con la opción “*Modificar objeto (atajo tecla G)*”, y “*FN+INSERT*”, se crean dos nodos en la polilínea, con los cuales se ajusta el diseño en perfil a la sección transversal de la vía principal que ya debe estar visible por el paso anteriormente realizado.

Empalme Calle 1 y Carrera 8:

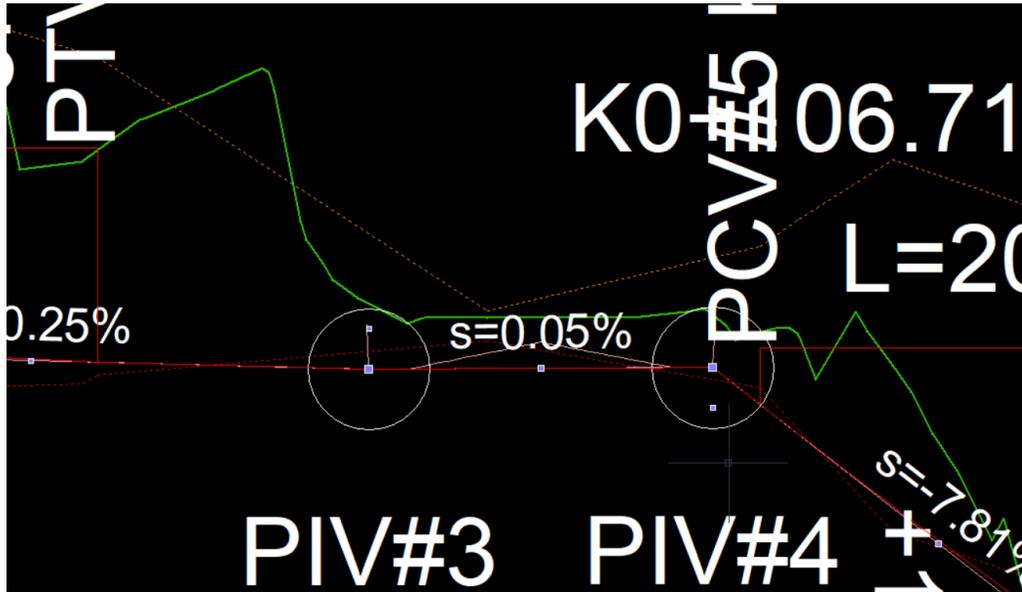


Imagen 28. Empalme manual en Topo3. Fuente Topo3.

- Empalme gradual por Topo3.

Consiste en hacer que la vía secundaria dependa y se ajuste a la vía principal, para ello, se realiza el siguiente proceso.

Para la vía secundaria, se va a la sección “*Diseño de la sección transversal de la Vía*”.

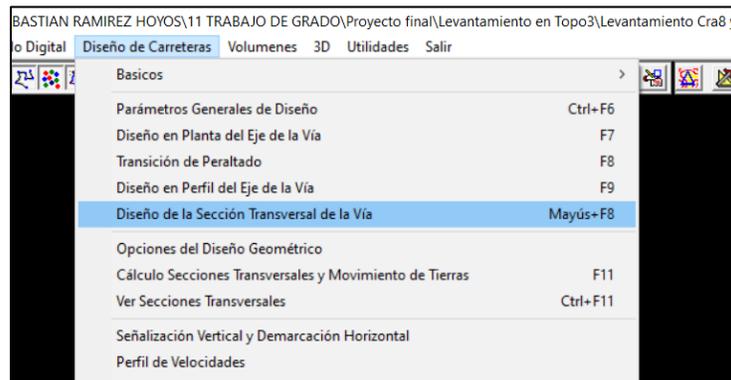


Imagen 29. Sección: Diseño de la sección transversal de la Vía. Fuente Topo3.

En el apartado “*Polilínea de control*”, se coloca la identificación (id) de la vía principal (Carrera 8, id de polilínea: 18), que es la que controla la cota de la intersección. Para este caso por la longitud de la vía se toma una longitud de transición de entrada y de salida al Modelo Digital (MD) de 15 metros, esta longitud es en la que la vía secundaria realiza el ajuste o empalme gradual de su cota hasta la de la intersección.

Nota: La longitud de transición al Modelo Digital (MD) depende del criterio del diseñador, ya que de esta depende el cumplimiento de la **Pendiente Relativa de la Rampa de Peraltes Δs** .

SECCION TRANSVERSAL [Polilínea: 23 Polilínea 23]				
Abscisa Inicial (m) :		0.0000	Final (m) : 158.6995	
Sección Transversal	Abscisas Adicionales	Muros, Puentes y Túneles	Límites	
Polilíneas de Control :	Ecuaciones de Empalme	Velocidades por Tramo	Numeración	
#	Id Polilínea de Control	Longitud de Transición de Entrada al MD (m)	Longitud de Transición de Salida al MD (m)	
1	18	15	15	
2				

Imagen 30. Polilínea de control y longitud de transición al Modelo Digital. Fuente Topo3.

Verificación de la Pendiente Relativa de la Rampa de Peraltes Δs :

VELOCIDAD ESPECÍFICA (V_{CH}) (km/h)	PENDIENTE RELATIVA DE LA RAMPA DE PERALTES Δs	
	MÁXIMA (%)	MÍNIMA (%)
20	1.35	0.1 x a
30	1.28	
40	0.96	
50	0.77	
60	0.60	
70	0.55	
80	0.50	
90	0.47	
100	0.44	
110	0.41	
120	0.38	
130	0.38	

Tabla 1. Valores máximos y mínimos de la pendiente longitudinal para rampas de peraltes. Fuente Manual de Diseño Geométrico de Carreteras.

Como la velocidad de diseño para todo el proyecto es de 20 km/h, la pendiente relativa de la rampa de perales máxima es $\Delta s = 1.35\%$.

En la sección “*Transición de Peralto*”, se puede observar la rampa de peralte existente.

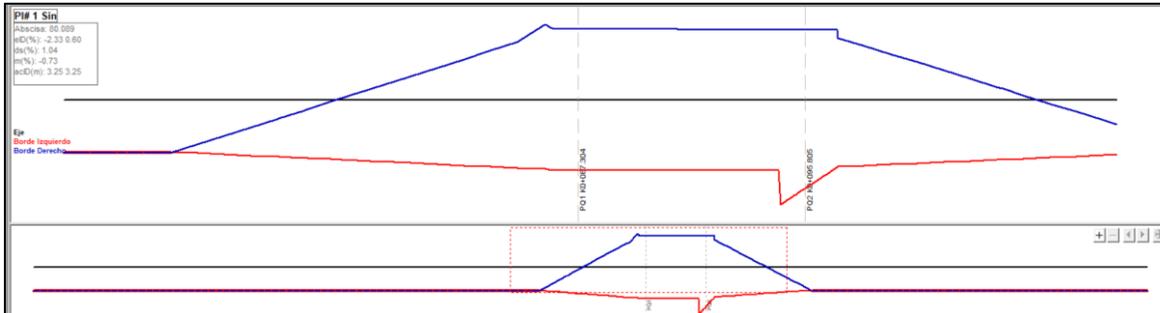


Imagen 31. Transición de peraltado vía secundaria. Fuente Topo3.

Como la rampa de peralte obtenida es menor que la máxima permitida $1.04\% < 1.35\%$, se cumple este chequeo.

Para evitar confusiones en la interpretación de las secciones transversales, es decir, en la intersección de las líneas de chaflán, se va a hacer que no se calculen secciones transversales para la vía secundaria en la longitud de la intersección. Para esto en la sección “*Opciones de Diseño Geométrico*”, se colocan las abscisas en las que no se quieren secciones transversales.

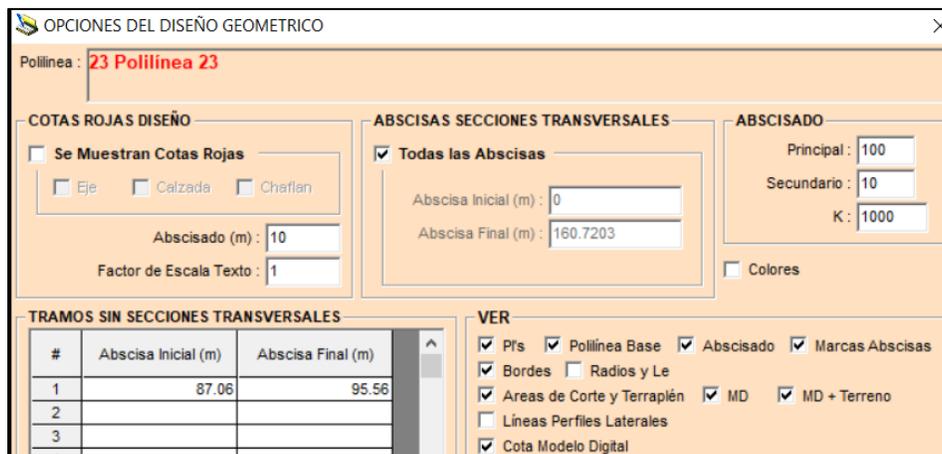


Imagen 32. Eliminación de las secciones transversales en la zona de intersección. Fuente Topo3.

Luego, en la sección “*Diseño de la Sección Transversal de la Vía*”, en “*Valores Elementos*”, se ingresan las mismas abscisas y se llena la demás información según corresponda.

SECCION TRANSVERSAL [Polilínea: 23 Polilínea 23]

Abscisa Inicial (m) : Final (m) :

Polilíneas de Control | Ecuaciones de Empalme | Velocidades por Tramo | Numeración Pfs | Perfiles Laterales | Quitar Elemento Adicional

Sección Transversal | Abscisas Adicionales | Muros, Puentes y Túneles | Límites | **Valores Elementos** | Distancia Lateral Máxima | Sitios

#	Abscisa Inicial (m)	Abscisa Final (m)	Tipo de Elemento	Valor Elemento Inicial	Valor Elemento Final	Lado	Valor Absoluto/Relativo
1	87.06	95.56	Talud Corte	0	0	Ambos	Absoluto
2							
3							

Imagen 33. Eliminación de las secciones transversales en la zona de intersección. Fuente Topo3.

Se calcula movimiento de tierras y se crea MD (Modelo Digital) para la vía secundaria.

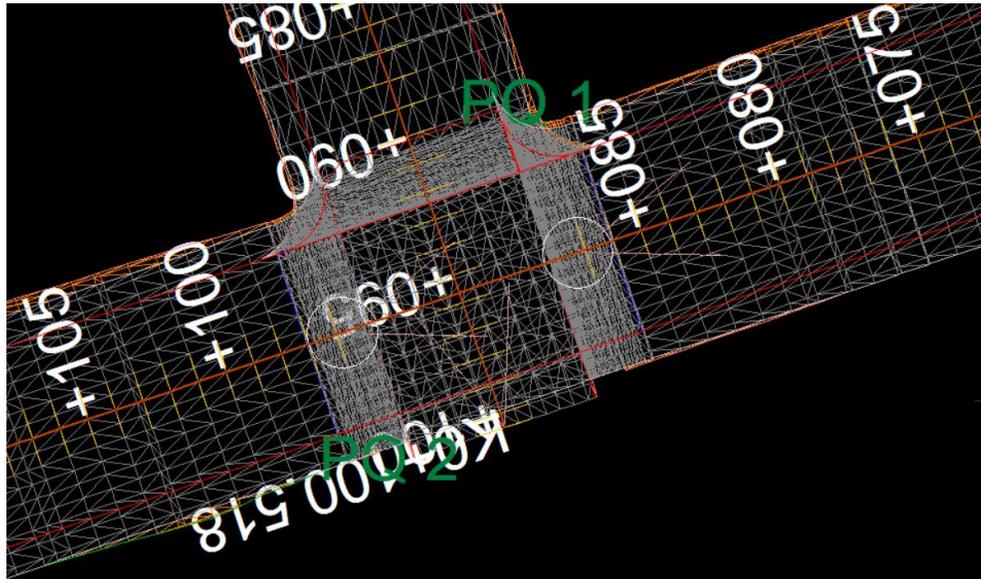


Imagen 34. Modelo Digital de las vías en la zona de intersección. Fuente Topo3.

Por último, se exporta el modelo a AutoCAD, en 3D para una mejor visualización del resultado.

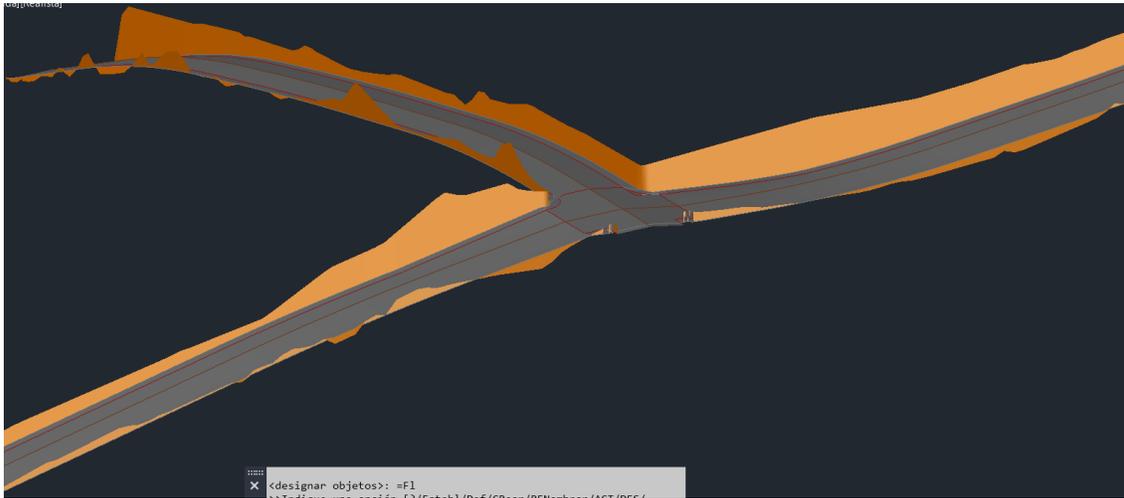


Imagen 35. Visualización del Modelo de Diseño Geométrico. Fuente AutoCAD.

ANEXO 14. DISEÑO GEOTÉCNICO DE SUBDRENAJE – DREN FRANCÉS

El diseño geotécnico del subdrenaje, Dren Francés, se realiza utilizando la metodología descrita en el libro Diseño de Infraestructura con Geosintéticos (Décima edición) de Plásticos y Aleaciones Venezolanas (PAVCO) y recurriendo a conceptos de importancia del Manual de Drenaje para Carreteras (2009) del Instituto Nacional de Vías (INVIAS).

- **Propuesta de Subdrenaje.**

Se propone un subdrenaje longitudinal (Dren Francés) a cada lado de la vía, con un ancho mínimo para excavación manual de 60 centímetros y una profundidad que comprenda los estratos de Subbase granular y mejoramiento, es decir, 50 centímetros.

El subdrenaje contiene material granular de tamaño 3/4 pulgadas, tubería en PVC de diámetro 65 milímetros, que se soporta

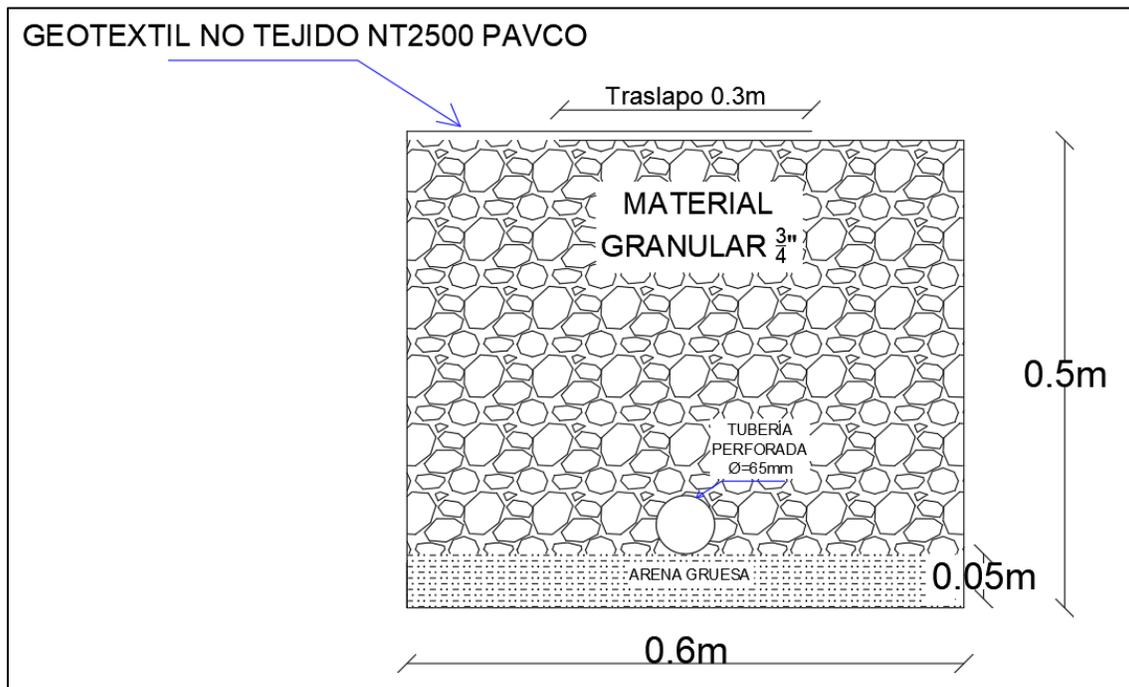


Ilustración 1. Propuesta de Subdrenaje – Dren Francés. Fuente Propia.

- **Chequeo de Propuesta de Subdrenaje.**

1. Ubicación y profundidad de la dirección del flujo.

El subdrén longitudinal, se ubica de manera perpendicular a las líneas de flujo.

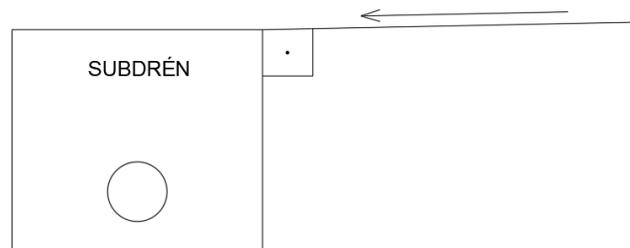


Ilustración 2. Ubicación del subdrén longitudinal. Fuente Propia.

2. Estimar el caudal crítico para la longitud de descarga.

$$Q_{\text{crítico}} = Q_{\text{infiltración}} + Q_{\text{abatimientoNF}}$$

El caudal crítico para este proyecto corresponde solo al caudal de infiltración, ya que el nivel freático al estar a 1.3 metros de profundidad aproximadamente (según el estudio geotécnico realizado), teóricamente no afecta la estructura de pavimento.

$$\text{Por lo tanto: } Q_{\text{crítico}} = Q_{\text{infiltración}}$$

$$Q_{\text{infiltración}} = I_R * B * L * F_i * F_R$$

Donde:

I_R : Precipitación máxima horaria de frecuencia anual, registrada en la zona del proyecto

B : Semibanca de la carretera

L : Longitud del tramo de drenaje

F_i : Factor de infiltración

F_R : Factor de retención de la base

$$- I_R = \frac{a * Tr^b * M^d}{\frac{t^c}{60}}, \text{ ecuación para intensidad de lluvia del Manual de Drenaje para Carreteras.}$$

Donde:

a, b, c y d son factores que dependen de la zona del proyecto, el departamento del Cauca se localiza en la Región Pacífica.

REGION	a	b	c	d
Andina (R1)	0.94	0.18	0.66	0.83
Caribe (R2)	24.85	0.22	0.50	0.10
Pacífico (R3)	13.92	0.19	0.58	0.20
Orinoquia (R4)	5.53	0.17	0.63	0.42

Tabla 1. Factores de zona para la ecuación de intensidad de lluvia. Fuente Manual de Drenaje para Carreteras.

Tr: Tiempo de retorno. En la Tabla 2.8 del Manual de Drenaje para Carreteras se recomienda un periodo de 2 años para drenaje subsuperficial.

TIPO DE OBRA	PERIODO DE RETORNO (AÑOS) ¹
Cunetas	5
Zanjas de Coronación ²	10
Estructuras de Calda ²	10
Alcantarillas de 0.90 m de diámetro	10
Alcantarillas mayores a 0.90 m de diámetro	20
Puentes menores (luz menor a 10 m)	25
Puentes de luz mayor o igual a 10 m y menor a 50 m	50
Puentes de luz mayor o igual a 50 m	100
Drenaje subsuperficial	2

Tabla 2. Periodo de retorno según el tipo de obra. Fuente Manual de Drenaje para Carreteras.

t: Duración de la lluvia. El valor recomendado es de 60 minutos.

M: Magnitud de la lluvia por día. Del estudio de Climatología, se tiene una magnitud de precipitación anual promedio de 3941.39 mm/año, por lo que la magnitud por día es:

$$M = \frac{3941.39 \text{ mm}}{365 \text{ días}} = 10.8 \text{ mm/día}$$



Por una Universidad de excelencia y solidaria

Facultad de Ingeniería Civil

Calle 2 Carrera 15N Esquina, Campus Universitario de Tulcán

$$I_R = \frac{13.92 * 2^{0.19} * 10.8^{0.2}}{\frac{60}{60}^{0.58}} = 25.56 \frac{mm}{h} = 7.1 * 10^{-6} m/s$$

- $B = 3.25 m$. Ancho del carril.
- $L = 90 m$. Longitud aproximada de una calle en una manzana urbana.
- $F_i = 0.67$. Para carpetas de concreto de cemento Portland.

Tipo de Carpeta	F_i
Carpetas asfáltadas probablemente conservadas	0.50
Carpetas de concreto de cemento Portland	0.67

Tabla 3. Factor de infiltración. Fuente Diseño de Infraestructura con Geosintéticos PAVCO.

- $F_R = 1/3$. Para base de gradación de abierta, en servicio 5 años o más.

Tipo de Carpeta	F_R
Bases bien gradadas, en servicio 5 años o más	1/4
Bases bien gradadas, en servicio menos de 5 años	1/3
Bases de gradación abierta, en servicio 5 años o más	1/3
Bases de gradación abierta, en servicio menos de 5 años	1/2

Tabla 4. Factor de retención de la base. Fuente Diseño de Infraestructura con Geosintéticos PAVCO.

$$Q_{crítico} = 7.1 * 10^{-6} \frac{m}{s} * 3.25 m * 90 m * 0.67 * \frac{1}{3} = 4.63 * 10^{-4} m^3/s$$

3. Dimensionar la sección transversal del subdrén.

$$Q_{crítico} = V * i * A$$

Donde:

V : Velocidad del flujo

i : Gradiente hidráulico

A : Área transversal requerida.



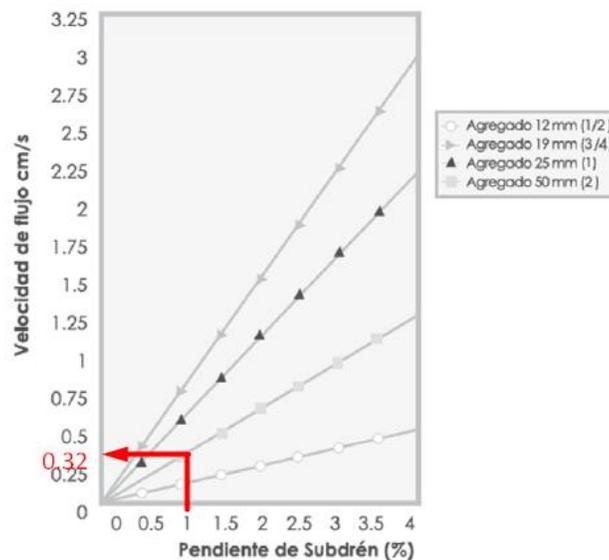
Por una Universidad de excelencia y solidaria

Facultad de Ingeniería Civil

Calle 2 Carrera 15N Esquina, Campus Universitario de Tulcán

- $V = 0.32 \text{ cm/s} = 3.2 * 10^{-3} \text{ m/s}$. Está en función de la pendiente longitudinal del subdrén y del tamaño del agregado granular.

Nota: La pendiente que se define del subdrén para diseño es del 1%, que es un valor bajo de pendiente, con el cual se obtienen menores velocidades del flujo, pero constructivamente el subdrén debe seguir la pendiente definida en el diseño en perfil de la vía.



Gráfica 1. Velocidad de flujo según el material granular y la pendiente del subdrén. Fuente Diseño de Infraestructura con Geosintéticos PAVCO.

- $i = 1$. Gradiente hidráulico igual a 1 para este caso.

$$Arequerida = \frac{Q_{crítico}}{V * i} = \frac{4.63 * 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}}{3.2 * 10^{-3} \text{ m/s} * 1} = 0.16 \text{ m}^2$$

$$Aministrada = 0.6 \text{ m} * 0.5 \text{ m} = 0.3 \text{ m}^2$$

Como, $Aministrada > Arequerida$, la sección transversal del subdrén es adecuada.

4. Establecer un sistema de filtración adecuado.

El geotextil no tejido que cumple con los requerimientos mínimos es el NT2500 de PAVCO. A continuación, se verifica el cumplimiento de los criterios de calidad.

- Criterio de retención.

Según Christopher y Holtz, para suelos cohesivos con un índice de plasticidad mayor a 7, el valor del Tamaño de Abertura Aparente debe ser menor que 0.3 milímetros. $TAA < 0.3 \text{ mm}$.

Del estudio geotécnico, se tiene que el suelo de subrasante arcilla de alta plasticidad (CH), tiene un índice de plasticidad de $IP = 128\%$, por lo tanto, aplica el criterio mencionado anteriormente.

$TAA = 0.15 \text{ mm}$ Geotextil NT2500.

$TAA = 0.15 \text{ mm} < 0.3 \text{ mm}$. **Se cumple el criterio de retención.**

- Criterio de permeabilidad.

La permeabilidad del geotextil (k_g) debe ser mayor que 10 veces la permeabilidad del suelo en contacto con el geotextil ($10k_s$).

Coefficiente de permeabilidad $k_s = 1 * 10^{-4} \text{ cm/s}$ para suelo limo arenoso y limo arcilloso.

Permeabilidad Típica de los Suelos			
Tipo de Suelo	Grado de Permeabilidad	Permeabilidad m/s	Permeabilidad cm/s
Gravas limpias	Alto	$> 1 \times 10^{-3}$	$> 1 \times 10^{-1}$
Mezcla de arena y grava	Medio	$1 \times 10^{-3} - 1 \times 10^{-5}$	$1 \times 10^{-1} - 1 \times 10^{-3}$
Arenas limosas y arenas muy finas	Bajo	$1 \times 10^{-4} - 1 \times 10^{-7}$	$1 \times 10^{-2} - 1 \times 10^{-5}$
Limo arenoso-, limo arcilloso	Muy Bajo	$1 \times 10^{-6} - 1 \times 10^{-9}$	$1 \times 10^{-4} - 1 \times 10^{-7}$
Arcillas puras	Prácticamente impermeable	$< 1 \times 10^{-9}$	$< 1 \times 10^{-7}$

Tabla 5. Permeabilidad típica de los suelos. Fuente Diseño de Infraestructura con Geosintéticos PAVCO.

$k_g = 0.29 \text{ cm/s}$ Geotextil NT2500.

$k_g = 0.29 \text{ cm/s} > 10(1 * 10^{-4} \text{ cm/s}) = 0.001 \text{ cm/s}$. **Se cumple el criterio de permeabilidad.**



- Criterio de colmatación.

La porosidad del geotextil debe ser mayor que el 50%. PAVCO asegura que un geotextil no tejido punzonado por agujas tienen una porosidad mayor que el 80%. Por lo tanto, **se cumple el criterio de colmatación.**

- Criterio de supervivencia.

La resistencia a la tensión del geotextil debe ser mayor o igual que 700 Newtons, la resistencia a la tensión del geotextil NT2500 es 700 Newtons.

La resistencia al rasgado trapezoidal debe ser mayor o igual que 250 Newtons, la resistencia al rasgado trapezoidal del geotextil NT2500 es 260 Newtons.

Por lo anterior, **se cumple el criterio de supervivencia.**

- Criterio de durabilidad.

PAVCO asegura que el geotextil en cuestión es resistente a ataques químicos, biológicos e interperismo. Por lo tanto, **se cumple el criterio de durabilidad.**

- Criterio de permitividad.

El factor de seguridad que es el cociente de la permitividad admisible y la permitividad requerida debe ser mayor que 1.

Permitividad admisible. ψ_{adm}

$$\psi_{adm} = \psi_{ult} / (FR_{SCB} * FR_{CR} * FR_{IN} * FR_{CC} * FR_{BC})$$

Donde:

ψ_{ult} : Permitividad última

FR_{SCB} : Factor de reducción por colmatación y taponamiento

FR_{CR} : Factor de reducción por creep o fluencia

FR_{IN} : Factor de reducción por intrusión

FR_{CC} : Factor de reducción por colmatación química

FR_{BC} : Factor de reducción por colmatación biológica



Por una Universidad de excelencia y solidaria

Facultad de Ingeniería Civil

Calle 2 Carrera 15N Esquina, Campus Universitario de Tulcán

- $\psi_{ult} = 1.7 \text{ s}^{-1}$ Geotextil NT2500.

- $FR_{SCB} = 2$

- $FR_{CR} = 2$

- $FR_{IN} = 1.2$

- $FR_{CC} = 1.2$

- $FR_{BC} = 1.2$

$$\psi_{adm} = \frac{1.7}{2 * 2 * 1.2 * 1.2 * 1.2} = 0.246 \text{ s}^{-1}$$

Permitividad requerida. ψ_{req}

$$\psi_{req} = \frac{qw}{\Delta h * H}$$

Donde:

qw : Caudal por unidad de longitud

Δh : Cabeza hidráulica que es igual a la altura del subdrenaje

H : Altura del subdrén

- $qw = \frac{Q_{critico}}{L_{tramo}} = \frac{4.63 * 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}}{90 \text{ m}} = 5.14 * 10^{-6} \frac{\text{m}^3/\text{s}}{\text{m}}$

- $\Delta h = 0.5 \text{ m}$

- $H = 0.5 \text{ m}$

$$\psi_{req} = \frac{5.14 * 10^{-6} \frac{\text{m}^3/\text{s}}{\text{m}}}{0.5 \text{ m} * 0.5 \text{ m}} = 20.577 * 10^{-6} \text{ s}^{-1}$$

Factor de Seguridad. $F.S.$

$$F.S. = \frac{\psi_{adm}}{\psi_{req}} = \frac{0.246 \text{ s}^{-1}}{20.577 * 10^{-6} \text{ s}^{-1}} = 11955. \text{ Se cumple el criterio de permitividad.}$$



Por una Universidad de excelencia y solidaria

Facultad de Ingeniería Civil

Calle 2 Carrera 15N Esquina, Campus Universitario de Tulcán

5. Definir el tipo de tubería y el diámetro a utilizar.

La tubería debe estar en capacidad de transportar el caudal crítico.

$$Q_{transportado} > Q_{crítico}$$

El menor diámetro de tubería comercial para subdrenajes es de 65 milímetros.

$$Q_{transportado} = \frac{1}{n} * A * R^{\frac{2}{3}} * \sqrt{S}$$

Donde:

n : Coeficiente de rugosidad de Manning

A : Área de la tubería

R : Radio hidráulico

S : Pendiente de la tubería

- $n = 0.0175$ para PVC.

$$- A = \frac{\pi * d^2}{4} = \frac{\pi * (65 * 10^{-3} \text{ m})^2}{4} = 0.0033 \text{ m}^2$$

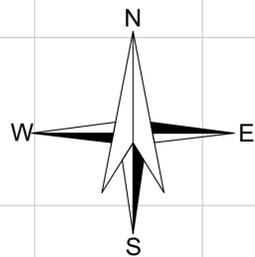
$$- R = \frac{d}{4} = \frac{65 * 10^{-3} \text{ m}}{4} = 0.01625 \text{ m}$$

- $S = 1\%$ pendiente longitudinal de diseño del subdrén.

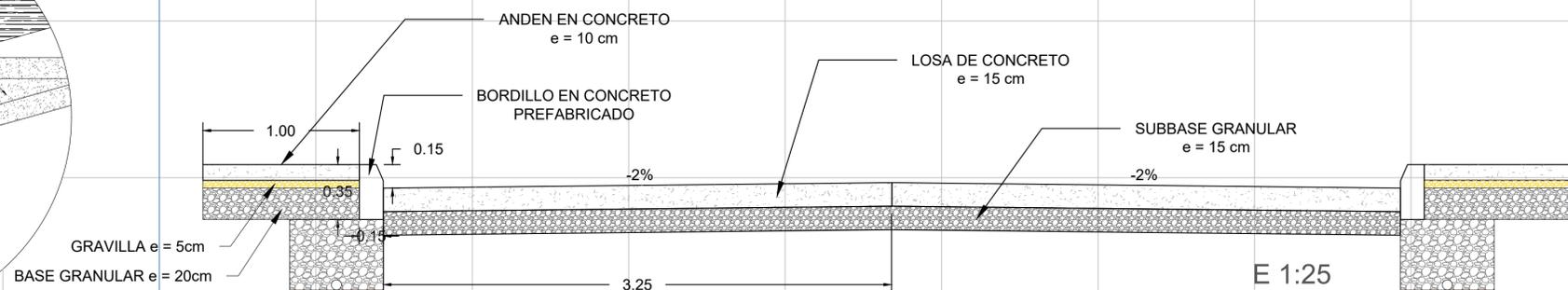
$$Q_{transportado} = \frac{1}{0.0175} * 0.0033 \text{ m}^2 * 0.01625 \text{ m}^{\frac{2}{3}} * \sqrt{\frac{1\%}{100\%}} = 12.1 * 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$$

Como $Q_{transportado} = 12.1 * 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s} > Q_{crítico} = 4.63 * 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$.

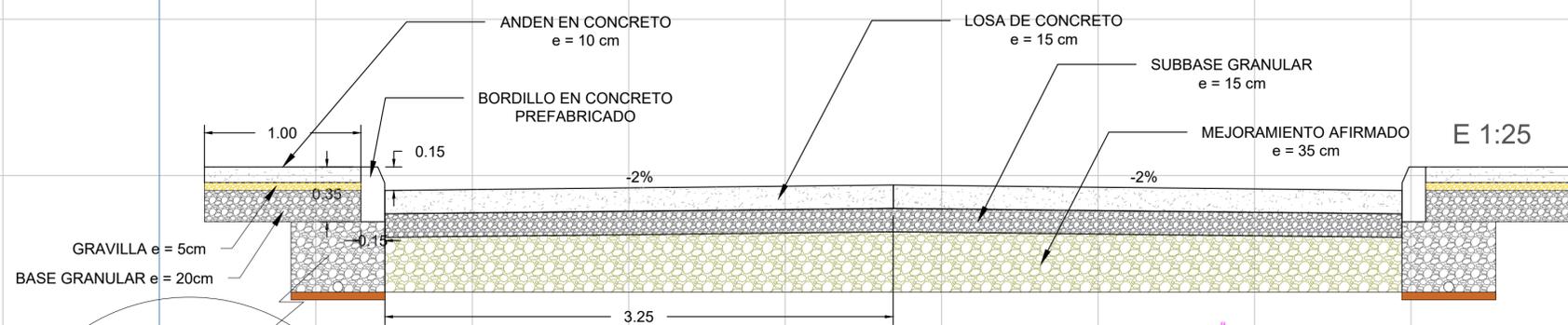
El diámetro definido está en capacidad de transportar el caudal crítico.



SECCIÓN TÍPICA ESPERADA CRA 8va



SECCIÓN TÍPICA ESPERADA CLL 1era

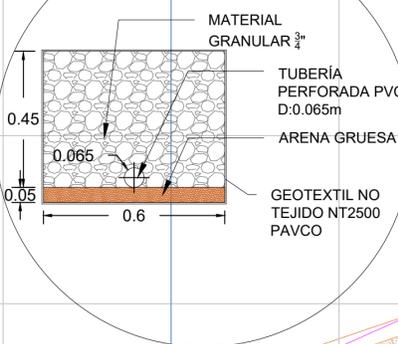


COORDENADAS DE LOS BM

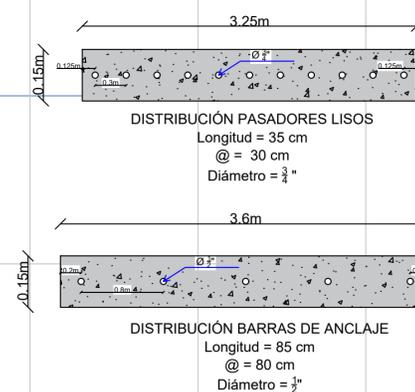
BM1:
N = 657264.295
E = 1077872.46
COTA = 1407.52

BM1:
N = 657188.804
E = 1077877.99
COTA = 1406.575

- EJE DE LA VÍA
- FINAL DE LOTE (LINDERO)
- ABSCISADO
- LOSAS DE CONCRETO
- REJILLA SUMIDERO
- POSTE ELÉCTRICO
- PUNTO FIJO DE REFERENCIA



LOCALIZACIÓN DEL SITIO



E 1:250

UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR POR
TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

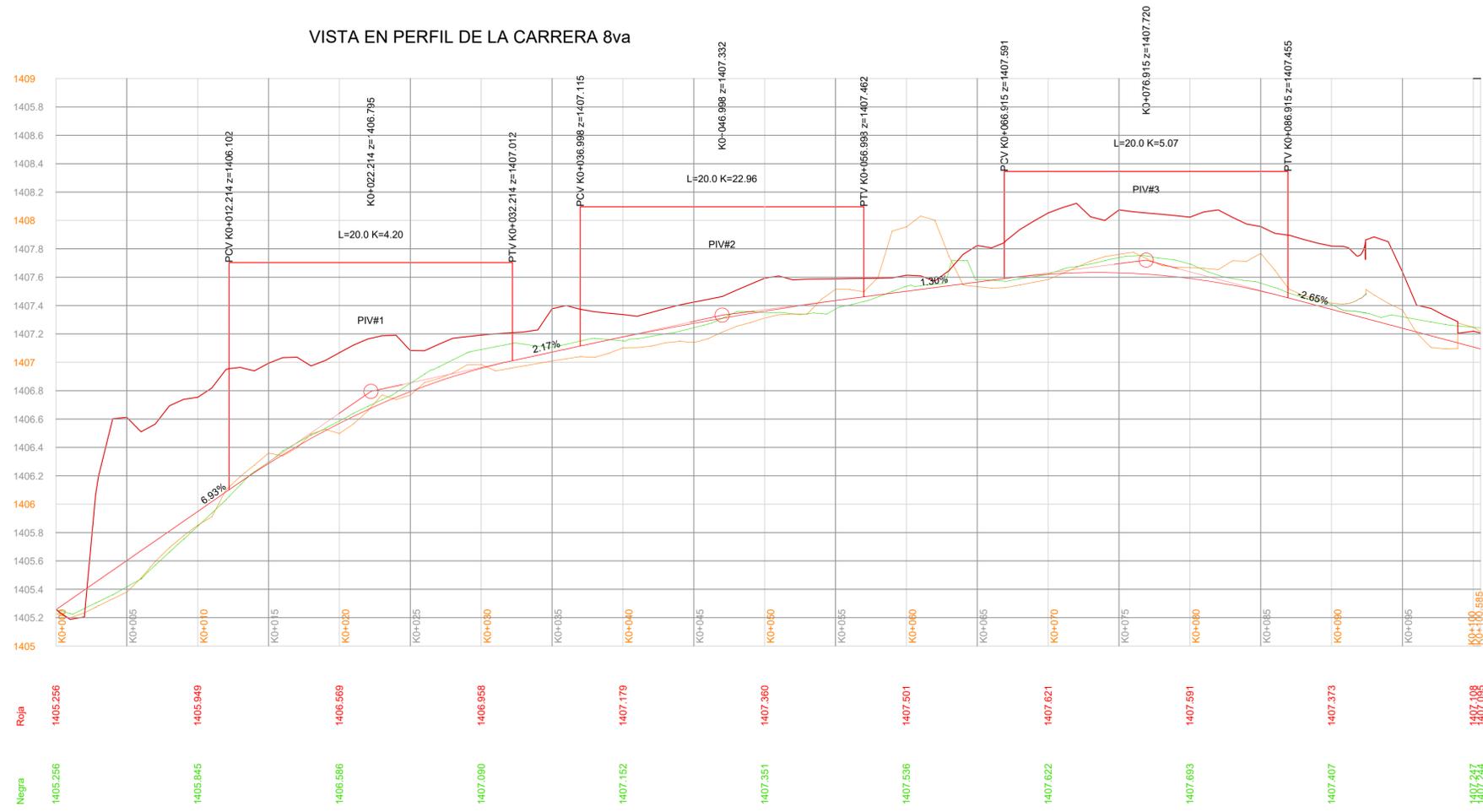
ELABORADO POR:
JERSON STEVE GUEVARA RUALES
DARVIN SEBASTIAN RAMIREZ HOYOS

25/06/2023

PLANO: 1/3

CONTIENE:
MODULACIÓN DE LOSAS DE CONCRETO DE ESPESOR 15 cm, SECCIÓN TÍPICA ESPERADA, DISPOSICIÓN TENTATIVA DE LOS SUMIDEROS Y DETALLE DE OBRAS COMPLEMENTARIAS PARA LA CARRERA OCTAVA ENTRE CALLES 1era Y 2da Y LA CALLE 1era ENTRE CARRERAS 7ma Y 9na DEL CORREGIMIENTO DE SAN JUAN DE VILLOBOS, MUNICIPIO DE SANTA ROSA (CAUCA).

VISTA EN PERFIL DE LA CARRERA 8va

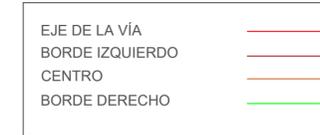


Roja	1405.256	1405.949	1406.589	1406.958	1407.179	1407.360	1407.501	1407.621	1407.591	1407.373	1407.088
Negra	1405.256	1405.845	1406.586	1407.090	1407.152	1407.351	1407.536	1407.622	1407.693	1407.607	1407.244



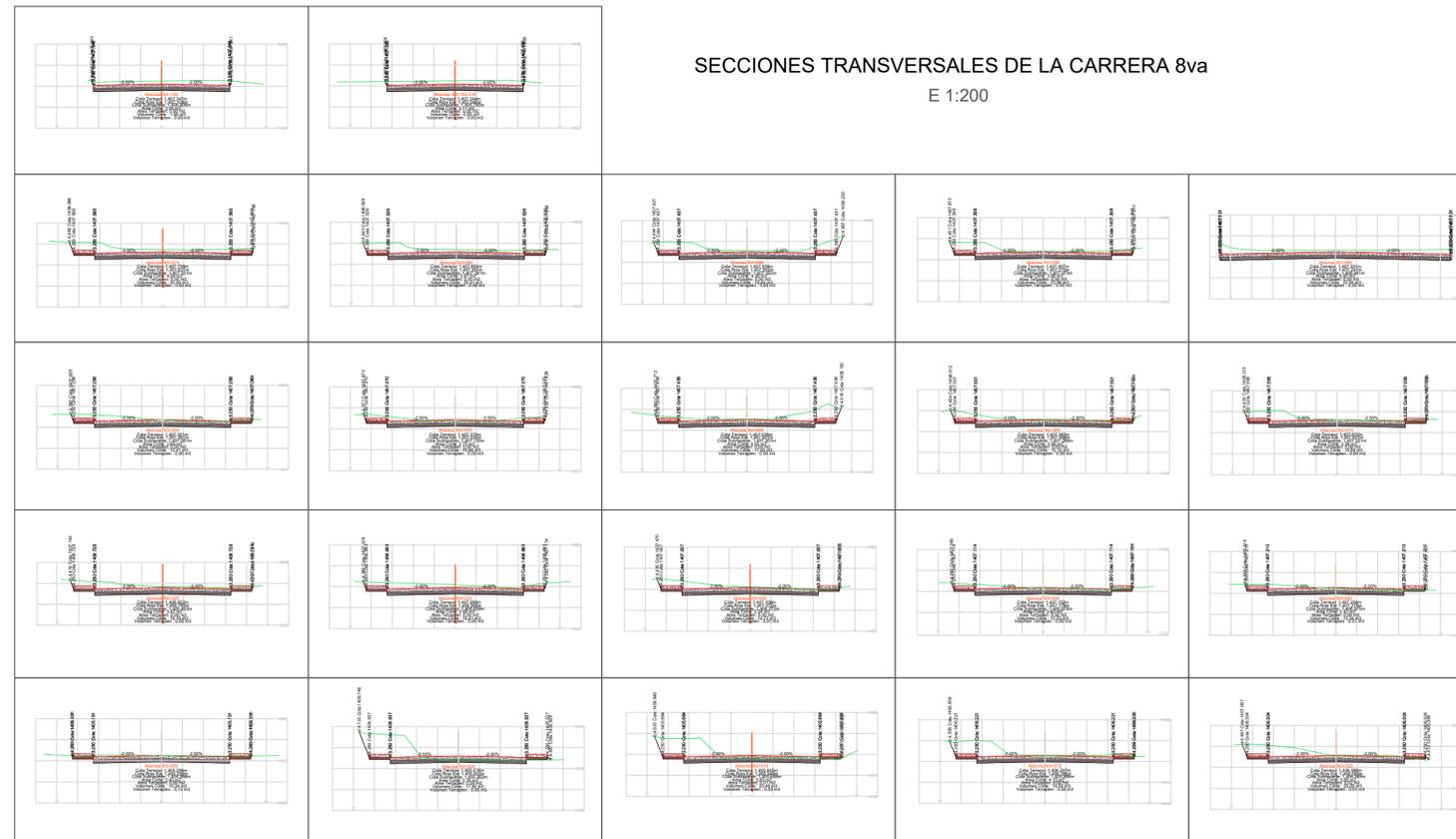
E VERTICAL 1:25
E HORIZONTAL 1:250

LOCALIZACIÓN DEL SITIO



SECCIONES TRANSVERSALES DE LA CARRERA 8va

E 1:200



UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR POR
TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

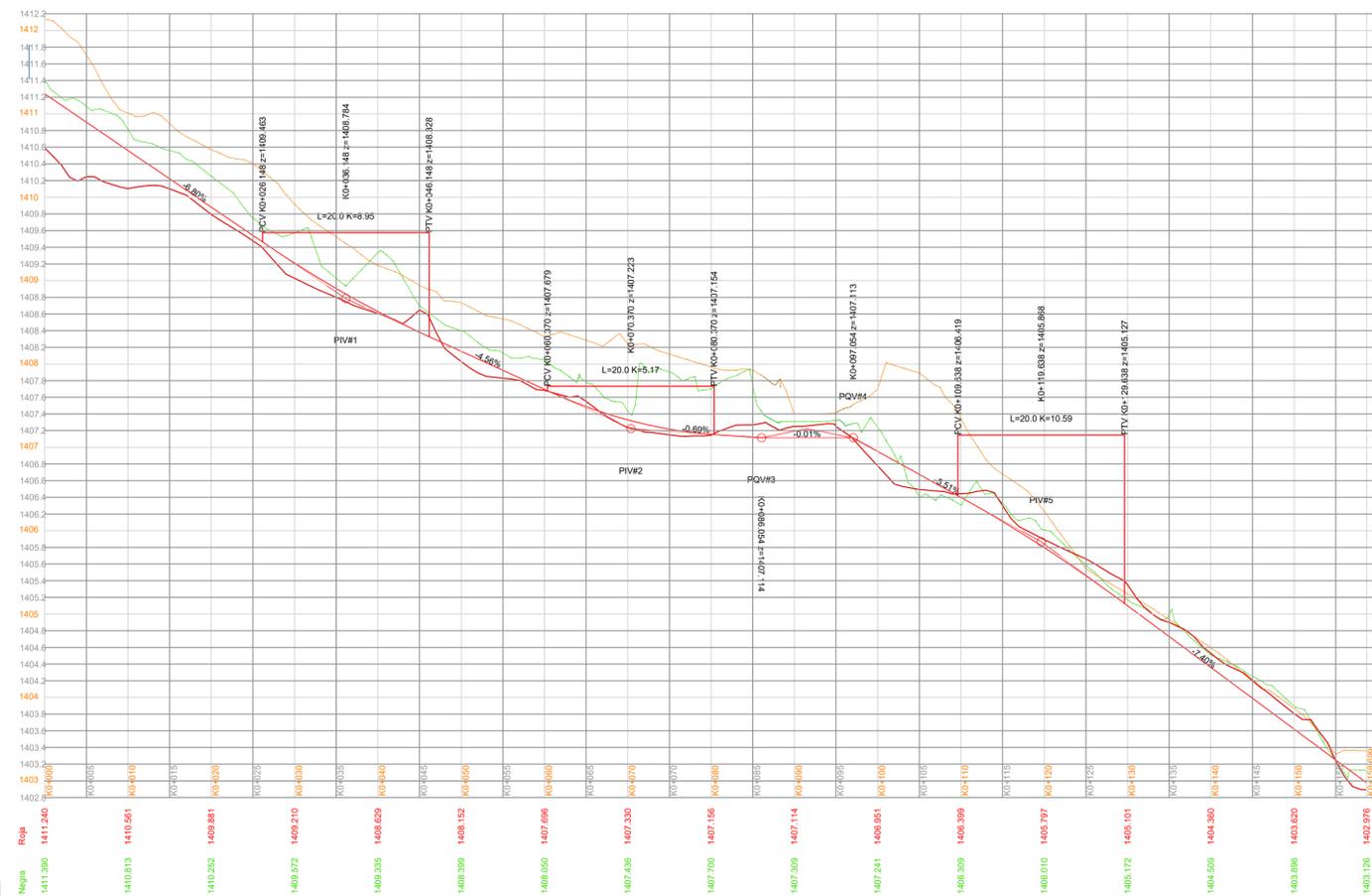
ELABORADO POR:
JERSON STEVE GUEVARA RUALES
DARVIN SEBASTIAN RAMIREZ HOYOS

25/06/2023

PLANO: 2/3

CONTIENE:
VISTA EN PERFIL Y SECCIONES
TRANSVERSALES EN EL SENTIDO DEL
ABSCISADO CADA 5m PARA LA CARRERA
8va ENTRE CALLES 1era Y 2da, DEL
CORREGIMIENTO DE SAN JUAN DE
VILLALOBOS, MUNICIPIO DE SANTA ROSA
(CAUCA)

VISTA EN PERFIL DE LA CALLE 1ra



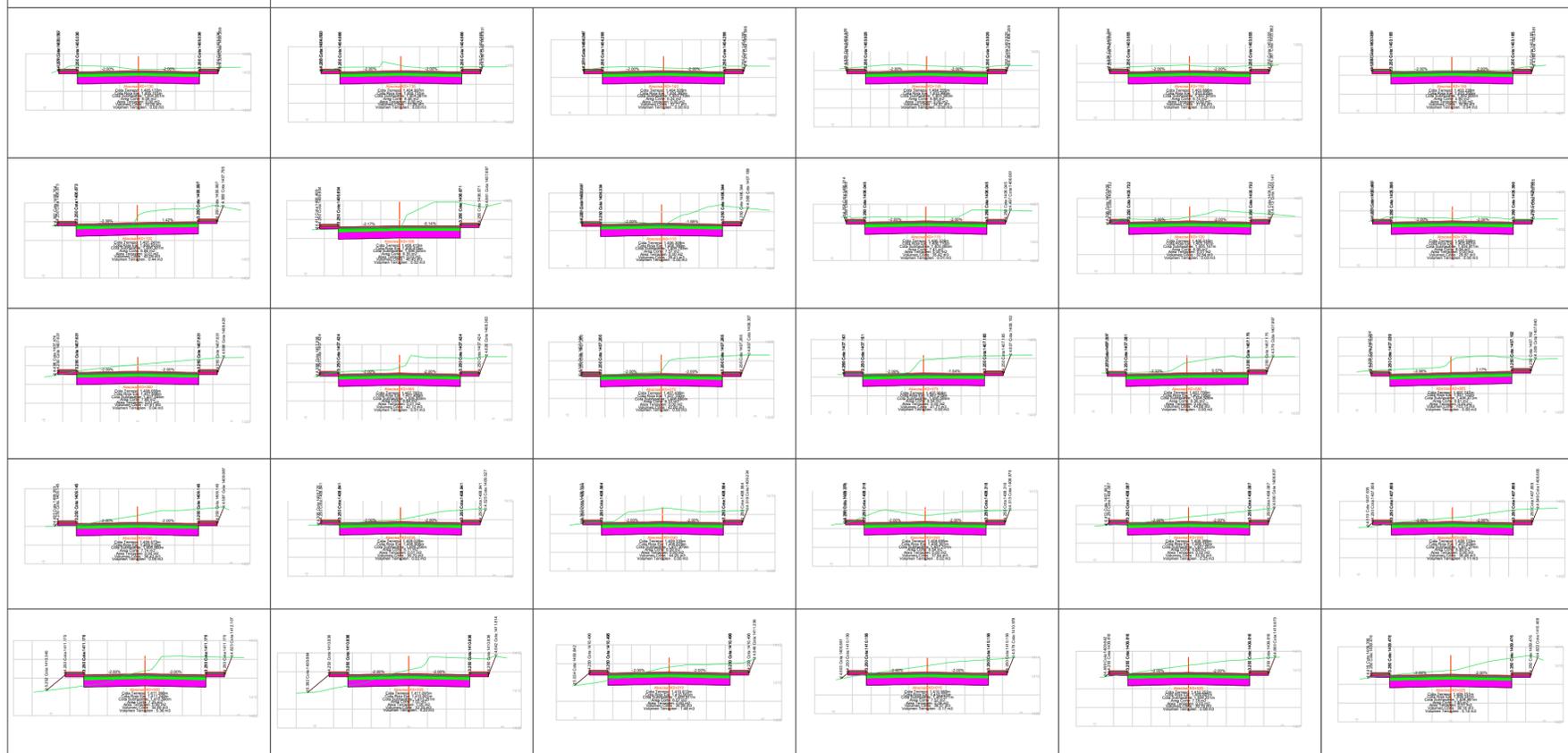
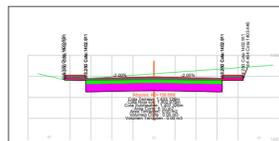
E VERTICAL 1:50

E HORIZONTAL 1:500

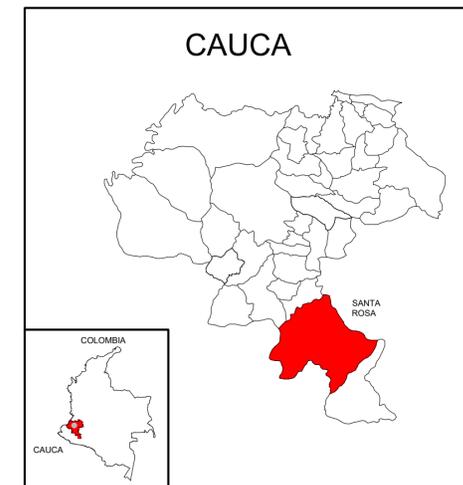


SECCIONES TRANSVERSALES DE LA CARRERA 8va

E 1:200



LOCALIZACIÓN DEL SITIO



UNIVERSIDAD DEL CAUCA
 FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
 TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR POR
 TÍTULO DE INGENIERO CIVIL
 ELABORADO POR:
 JERSON STEVE GUEVARA RUALES
 DARVIN SEBASTIAN RAMIREZ HOYOS
 25/06/2023 PLANO: 3/3
 CONTIENE:
 VISTA EN PERFIL Y SECCIONES
 TRANSVERSALES EN EL SENTIDO DEL
 ABSCISADO CADA 5m PARA LA CALLE 1ra
 ENTRE LA CARRERA 7ma Y 9na, DEL
 CORREGIMIENTO DE SAN JUAN DE
 VILLALOBOS, MUNICIPIO DE SANTA ROSA
 (CAUCA)