



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO**

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DE LA AVENIDA ILALÓ DESDE LA
ABSCISA 0+000 HASTA LA ABSCISA 1+900 UBICADA EN LA COMUNA DE
LA TOLA CHICA, PARROQUIA DE TUMBACO CANTÓN QUITO,
PROVINCIA DE PICHINCHA**

Trabajo de titulación previo a la obtención
del Título de Ingenieras Civiles

AUTORAS: Andrea Paola Montalvo Paspuel
Lizbeth Dayana Simbaña Álvaro

TUTORA: Rocío Nathaly Bermeo Hidalgo

Quito – Ecuador
2025

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotras, Montalvo Paspuel Andrea Paola con documento de identificación N° 0401833645 y Simbaña Álvaro Lizbeth Dayana con documento de identificación N° 1724231145; manifestamos que:

Somos las autoras y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Quito, 30 de julio del 2025

Atentamente,



Andrea Paola Montalvo Paspuel

0401833645



Lizbeth Dayana Simbaña Álvaro

1724231145

CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

Nosotras, Montalvo Paspuel Andrea Paola con documento de identificación N° 0401833645 y Simbaña Álvaro Lizbeth Dayana con documento de identificación N° 1724231145; expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos las autoras del Proyecto Técnico: “Propuesta de mejoramiento de la avenida Ilaló desde la abscisa 0+000 hasta la abscisa 1+900 ubicada en la comuna de la Tola Chica, parroquia de Tumbaco cantón Quito, provincia de Pichincha”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingenieras Civiles, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 30 de julio del 2025

Atentamente,

Andrea Paola Montalvo Paspuel

0401833645

Lizbeth Dayana Simbaña Álvaro

1724231145

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Rocío Nathaly Bermeo Hidalgo con documento de identificación N° 2101129977, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DE LA AVENIDA ILALÓ DESDE LA ABSCISA 0+000 HASTA LA ABSCISA 1+900 UBICADA EN LA COMUNA DE LA TOLA CHICA, PARROQUIA DE TUMBACO CANTÓN QUITO, PROVINCIA DE PICHINCHA, realizado por Andrea Paola Montalvo Paspuel con documento de identificación N° 0401833645 y Lizbeth Dayana Simbaña Álvaro con documento de identificación N° 1724231145, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción de Proyecto Técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 30 de julio del 2025

Atentamente,



Ing. Rocío Nathaly Bermeo Hidalgo, MSc.

2101129977

DEDICATORIA

Dedico este proyecto de titulación con todo mi amor, primeramente, a Dios quien me ha guiado por el camino correcto y me ha brindado salud, sabiduría y fortaleza en cada uno de los pasos que he dado, y en cada momento superado, porque cuando me encontraba en los días más difíciles siempre me refugiaba en él quien me brindaba la esperanza de salir adelante.

A mis padres, Nelly Esperanza Paspuel Guerrero y Juan Gavino Montalvo Itás, por estar siempre a mi lado brindándome su amor, cariño y apoyo moral y económico incondicionalmente, pese a tantas adversidades que he tenido en el transcurso de mi vida. Gracias, porque me han enseñado siempre a seguir adelante y me han guiado siempre por el camino del bien, inculcándome principios y valores para ser cada vez una mejor persona. Les debo todo a ustedes, porque sin su apoyo nada de esto sería posible.

A mi hija Cataleya mi luz, mi inspiración, mi razón más profunda para seguir adelante, gracias por su comprensión en mis ausencias, por los abrazos en momentos difíciles, por esas pequeñas y a la vez tan grandes palabras de aliento. Este logro es para ti con todo mi corazón.

A mis hermanos, por tanto, cariño por sus palabras de aliento, y por estar ahí apoyándome siempre que los necesito.

Y a mí tutora, por su paciencia y compromiso durante todo este proceso, quien me ha orientado con dedicación y brindado sus conocimientos. Su acompañamiento ha sido fundamental para llegar hasta aquí.

A todos ustedes, gracias de todo corazón. Este logro no es solo mío, es el reflejo del cariño, la fe y el apoyo que han brindado en todo momento.

Andrea Paola Montalvo Paspuel

DEDICATORIA

El presente proyecto técnico se lo dedico a la virgen, porque ha sido parte esencial para que el día de hoy me encuentre de pie, pese a las diversas dificultades que se han presentado a lo largo de toda mi carrera universitaria, y a mis seres queridos que han sido de gran apoyo en esta etapa.

Para mí es un orgullo poder dedicar este proyecto a ellos: mi familia, que siempre han estado para darme la fuerza necesaria para continuar con este proceso.

A mis queridos padres, Oscar Joselito Simbaña Uyana y Yola Leonila Álvaro Gualoto, quienes a través de sus enseñanzas, dedicación y perseverancia han logrado ser la motivación y guía para mis pasos. Su amor incondicional, sus palabras de aliento y su apoyo constante me fortalecieron como persona.

A mis tías, Rosa Elena y Carmen del Pilar Álvaro por su cariño incondicional, por creer en mí y el apoyo que me han brindado desde pequeña, el cual también ha sido fundamental para lograr esta meta.

A mi hermana Valentina, por formar parte de este proceso, compartiendo diferentes momentos de alegría.

A mi abuelita, que desde el lugar en el que se encuentre siempre, ha estado cuidándome y protegiéndome en todo momento.

Por último, a mis amigos, con quienes puedo contar, confiar, pedir consejos y tener la certeza que siempre van a estar para brindarme su apoyo.

Lizbeth Dayana Simbaña Álvaro

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por darme fortaleza y sabiduría a lo largo de todo este proceso.

A mis padres por su apoyo incondicional, por los valores que siempre me han inculcado y por darme la oportunidad de poder tener una educación, gracias por su confianza, sus consejos y su comprensión.

A mi hija, por ser mi inspiración y mi mayor motivación. Tú eres mi razón para seguir y no rendirme nunca.

A mis hermanos por estar a mi lado apoyándome y acompañándome en cada momento de mi vida.

A mi tutora ingeniera Rocío, gracias por su paciencia, por su tiempo y por haberme brindado la oportunidad de desarrollar mi proyecto de titulación, por su apoyo, su acompañamiento ha dejado una huella en mi formación que siempre llevare conmigo.

Andrea Paola Montalvo Paspuel

AGRADECIMIENTO

Por medio de este proyecto quiero agradecer a todas las personas que forman parte de mi vida, que han sido un pilar importante para que el día de hoy este a un paso de terminar con mi carrera, desde mis padres que me han brindado todo su apoyo, consejos y sobre todo inculcarme valores.

A mi hermana que siempre se mantiene fuerte y con una sonrisa.

A mis amigos por estar cuando los necesitaba brindándome un apoyo o simplemente ánimo para no rendirme.

A todos los ingenieros que fueron parte fundamental dentro de mi formación universitaria compartiendo sus conocimientos. Algunos de ellos ya no se encuentran en la institución, pero siempre tendré un recuerdo agradable de ellos.

Lizbeth Dayana Simbaña Álvaro

INDICE DE CONTENIDOS

CAPÍTULO I.....	1
ANTECEDENTES Y GENERALIDADES.....	1
1.1. Introducción	1
1.2. Problema de estudio	2
1.3. Antecedentes	2
1.4. Importancia y alcance	3
1.5. Delimitación.....	3
1.6. Justificación	4
1.7. Objetivos	5
1.7.1. Objetivo General.....	5
1.7.2. Objetivos Específicos	5
1.8. Ubicación geográfica	5
1.8.1. Límites	5
1.8.2. Ubicación del proyecto	6
CAPÍTULO II	7
MARCO TEÓRICO.....	7
2.1. Estudio de tráfico	7
2.2. Tráfico promedio diario anual	7
2.3. Clasificación de vehículos	7
2.4. La carretera	8
2.4.1. Clasificación de las carreteras	8
2.4.2. Partes de una carretera	9
2.5. Tipos de terreno	10
2.6. Velocidad de diseño	11
2.7. Diseño de pavimento.....	12
2.8. Análisis del CBR.....	13
2.9. Sistema de drenaje vial	14
CAPÍTULO III	15
METODOLOGÍA.....	15
3.1. Tipo de investigación.....	15
3.2. Método	15
3.3. Técnicas de recolección de información.....	16

3.4. Proceso técnico	17
3.4.1. Levantamiento topográfico.....	17
3.4.2. Volumen de tráfico actual y futuro.....	17
3.4.3. Exploración geotécnica.....	18
3.4.4. Sistema de drenaje	19
3.4.5. Diseño geométrico horizontal.....	20
3.4.6. Diseño geométrico vertical.....	20
CAPÍTULO IV.....	22
ESTUDIOS TOPOGRÁFICOS.....	22
4.1. Levantamiento Topográfico.....	22
4.2. Ubicación del proyecto	22
4.3. Posicionamiento de puntos de control o BMs.....	23
4.3.1. Procedimiento	24
4.4. Trabajo en campo.....	25
CAPÍTULO V	27
ESTUDIO DE TRÁFICO	27
5.1. Método de conteo.....	27
1.1. Determinación del TPDA	29
5.1.1. Tráfico promedio diario horario (TPDH)	29
5.1.2. Tráfico promedio diario semanal (TPDS)	31
5.1.3. Tráfico promedio diario mensual (TPDM).....	31
5.1.4. Tráfico promedio diario anual (TPDA).....	31
5.1.5. Tráfico de diseño	34
5.2. Clasificación de la vía	38
5.3. Ejes equivalentes.....	38
CAPÍTULO VI.....	41
DISEÑO GEOMÉTRICO	41
6.1. Velocidad de diseño	41
6.2. Velocidad de circulación.....	43
6.3. Diseño horizontal	43
6.3.1. Curvas circulares	44
6.3.2. Curvas circulares simples	44
6.3.3. Peralte de curvas	46
6.3.4. Distancia de visibilidad para parada vehicular	50
6.3.5. Distancia de visibilidad para rebasamiento vehicular	51
6.3.6. Sección vial.....	52
6.3.7. Espaldones	54

6.3.8.	Pendiente transversal	54
6.4.	Alineamiento vertical.....	55
6.4.1.	Pendientes Longitudinales	56
6.4.2.	Curvas verticales.....	58
6.4.3.	Curva vertical convexa	59
6.4.4.	Curva vertical cóncava	61
6.4.5.	Corte y Relleno	61
CAPÍTULO VII		64
DISEÑO ESTRUCTURAL DE LA VÍA		64
7.1.	Estudio geotécnico	64
7.2.	Exploración y muestreo	64
7.3.	Estudio de la subrasante.....	65
7.4.	Estudios de laboratorio	66
7.4.1.	Tipos de ensayos.....	66
7.4.2.	Límites de Atterberg.....	71
7.5.	Clasificación de suelos.....	75
7.5.1.	Método de clasificación SUCS.....	75
7.5.2.	Método clasificación AASHTO	75
7.5.3.	Obtención del Californian Bearing Ratio (CBR)	76
7.6.	Diseño del pavimento	83
7.6.1.	Método de diseño.....	83
7.6.2.	Tipo de pavimento	84
7.6.3.	Módulo resiliente (Mr)	85
7.6.4.	Consideraciones técnicas	87
7.6.4.3.	Consideraciones finales del diseño estructural de la vía	88
CAPÍTULO VIII		91
DRENAJE VIAL		91
8.1.	Drenaje superficial	91
8.2.	Estado actual del drenaje existente	92
8.3.	Selección de obra hidráulica	94
8.3.1.	Parámetros de evaluación	94
8.4.	Diseño de la obra hidráulica correspondiente	95
8.4.1.	Parámetros de diseño	95
8.4.2.	Dimensiones	100
8.4.3.	8.4.3 Alcantarillas.....	105
8.4.4.	Parámetros de diseño	105
CONCLUSIONES		110

RECOMENDACIONES	112
BIBLIOGRAFÍA	114

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Coordenadas inicio y final del proyecto en la Avenida I	5
Tabla 2. Clasificación de Carreteras	9
Tabla 3. Conteo de vehículos	28
Tabla 4. Cálculo TPDH	30
Tabla 5. Valores para el factor semanal	31
Tabla 6. Factor mensual	32
Tabla 7. Cálculo TPDA	33
Tabla 8. Tasa de crecimiento vehicular.....	34
Tabla 9. Cálculo del TPDA futuro.	35
Tabla 10. Cálculo del tráfico de diseño.....	37
Tabla 11. Clases de carreteras	38
Tabla 12. Factores de equivalencia de carga	39
Tabla 13. Número de Repeticiones de Carga Equivalente de un Eje Simple de Ruedas Duales de Carga Standard de 18,000 lb (8.2 Ton.)	39
Tabla 14. Número de ejes equivalentes para diseño de la estructura de la vía.....	40
Tabla 15. Velocidad de diseño	42
Tabla 16. Velocidad de diseño	43
Tabla 17. Radio mínimo recomendado.	44
Tabla 18. Resumen de curvas horizontales.....	45
Tabla 19. Valores máximos y mínimos de la gradiente de borde.....	47
Tabla 20. Transición mínima de peralte	49
Tabla 21. Distancia de visibilidad mínima para parada de un vehículo	51
Tabla 22. Distancia de visibilidad mínima para rebasamiento vehicular	52
Tabla 23. Clasificación de carreteras NEVI-12.....	53
Tabla 24. Valores máximos para gradientes verticales	55
Tabla 25. Pendientes longitudinales	57
Tabla 26. Resumen de curvas verticales.....	58
Tabla 27. Valores mínimos de K para curvas verticales convexas	59
Tabla 28. Valores mínimos de K para curvas verticales cóncavas.....	61
Tabla 29. Contenido de humedad Calicata 1	68
Tabla 30. Contenido de humedad calicata 2.....	69
Tabla 31. Contenido de humedad Calicata.....	69
Tabla 32. Granulometría calicata 1	70
Tabla 33. Granulometría calicata 2	70
Tabla 34. Granulometría calicata 3	71
Tabla 35. Límites de Atterberg calicata 1	71
Tabla 36. Límites de Atterberg calicata 2	72
Tabla 37. Límites de Atterberg calicata 3	73
Tabla 38. Límites plástico calicata 1	73
Tabla 39. Límites plástico calicata 2	74
Tabla 40. Límites plástico calicata 3	74
Tabla 41. Índice de plasticidad.....	75
Tabla 42. Datos obtenidos para la clasificación SUCS	75
Tabla 43. Datos obtenidos para la clasificación AASHTO	76
Tabla 44. Ensayo de compactación Proctor Calicata 1	77

Tabla 45. Ensayo de compactación	78
Tabla 46. Ensayo de compactación Proctor Calicata 3	79
Tabla 47. Resumen de valores CBR 1	80
Tabla 48. Resumen de valores CBR 2.....	81
Tabla 49. Resumen de valores CBR 3.....	82
Tabla 50. Clasificación del Suelo según su CBR.....	83
Tabla 51. Datos obtenidos del ensayo CBR	83
Tabla 52. Resistencia característica de los adoquines	86
Tabla 53. Valores de espesor según tráfico	86
Tabla 54. Ancho de la vía.....	89
Tabla 55. Valores para la gradiente trasversal para espaldones	90
Tabla 56. Ecuaciones para el cálculo de la intensidad de precipitación.....	97
Tabla 57. Áreas de drenaje	98
Tabla 58. Caudales de diseño drenaje lateral	99
Tabla 59. Caudales de diseño drenaje transversal	99
Tabla 60. Dimensiones necesarios cuneta izquierda	101
Tabla 61. Dimensiones necesarios cuneta derecha.....	102
Tabla 62. Dimensionamiento en H canales cuneta izquierda	103
Tabla 63. Dimensionamiento en H canales cuneta derecha	104
Tabla 64. Dimensionamiento de alcantarilla	107

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación de la Avenida Ilaló	4
Figura 2. Límites de la Avenida.....	6
Figura 3. Parroquia Tumbaco.....	6
Figura 4. Distribución de esfuerzos en pavimentos	13
Figura 5. Esquema desarrollo peralte en curva horizontal	46
Figura 6. Curva horizontal 0+800.00	47
Figura 7. Desarrollo de peralte curva abscisa 0+800.00	50
Figura 8. Sección vial de proyecto.....	53
Figura 9. Bombeo en tramos de tangente.....	54
Figura 10. Bombeo en tramos curvos.....	54
Figura 11. Perfil longitudinal	60
Figura 12. Ejemplo de modelo de corte y relleno	63
Figura 13. Contenido de humedad vs densidad seca calicata 1.....	77
Figura 14. Contenido de humedad vs densidad seca calicata 2.....	78
Figura 15. Contenido de humedad vs densidad seca calicata 3.....	79
Figura 16. Penetración vs Presión, CBR 1	80
Figura 17. Penetración vs Presión, CBR 2	81
Figura 18. Penetración vs Presión, CBR 3	82
Figura 19. Nomograma para los valores de los coeficientes.....	85
Figura 20. Modelo estructural del pavimento articulado	90
Figura 21. Pendiente longitudinal abscisas 0+000 hasta 0+600.....	91
Figura 22. Pendiente longitudinal abscisas 0+600 hasta 1+200.....	91
Figura 23. Pendiente longitudinal abscisas 0+600 hasta 1+200.....	91
Figura 24. Drenaje superficial.....	92
Figura 25. Estado actual de vía abscisa 0+200.....	93
Figura 26. Estado actual de vía abscisa 0+700.....	93
Figura 27. Drenaje superficial abscisa 1+800 hasta 1+900.....	95
Figura 28. Ubicación estación Izobamba	96
Figura 29. Ejemplo de cálculo de las áreas	98
Figura 30. Sección triangular para cunetas	100
Figura 31. Esquema de la cuneta izquierda.....	103
Figura 32. Esquema de la cuneta derecha	104
Figura 33. Esquema con dimensiones de la cuneta	105
Figura 34. Comprobación en H canales	108
Figura 35. Dimensionamiento de la alcantarilla.....	109

RESUMEN

El presente trabajo de titulación aborda el diseño geométrico y estructural para el mejoramiento de 1.9 km de la Avenida Ilaló, ubicada en la parroquia de Tumbaco, que conecta las comunas de Tola Chica y Plazapamba. Actualmente, la vía presenta un pavimento de empedrado artesanal en avanzado estado de deterioro, con fallas estructurales como baches, hundimientos y pérdida de material

El diseño se fundamenta en las normativas vigentes del Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTO) y la Norma Ecuatoriana Vial (NEVI-12). Para ello, se realiza un levantamiento topográfico detallado.

El estudio de tráfico proyecta un TPDA final de diseño de 249 vehículos, clasificando la vía como una carretera Colectora Tipo IV. Los análisis geotécnicos clasifican los suelos de la subrasante como arcillas y limos arenosos (CL, ML) según el sistema SUCS y como A-6 y A-4 según AASHTO. Se calculan los ejes equivalentes (ESALs), resultando en un total de 1389920,07 para el período de diseño.

Como solución, se diseña una sección vial de 7.20 metros de ancho, adoptando una velocidad de diseño de 60 km/h. Finalmente, se diseñó un sistema de drenaje superficial que incluye cunetas triangulares de hormigón y alcantarillas de cruce para evacuar eficientemente las aguas de escorrentía. Este proyecto integral busca garantizar la funcionalidad y seguridad de la vía, mejorando la conectividad y fomentando el desarrollo social y económico de la comunidad.

Palabras clave: pavimento articulado, tráfico promedio anual (TPDA), drenaje vial, número estructural, Californian Bearing Ratio (CBR).

ABSTRACT

This graduation thesis addresses the geometric and structural design for the improvement of a 1.9 km section of Ilaló Avenue, located in the Tumbaco parish, which connects the Tola Chica and Plazapamba communities. Currently, the road features an artisanal cobblestone pavement in an advanced state of deterioration, with structural failures such as potholes, depressions, and material loss.

The design is based on the current regulations of the Ministry of Transport and Public Works (MTOP) and the Ecuadorian Road Standard (NEVI-12). To this end, a detailed topographic survey was conducted.

The traffic study projected a final design AADT of 249 vehicles, classifying the road as a Type IV Collector road. The geotechnical analyses classified the subgrade soils as sandy clays and silts (CL, ML) according to the USCS system and as A-6 and A-4 under the AASHTO classification. Based on heavy traffic, the Equivalent Single Axle Loads (ESALs) were calculated, resulting in a total of 1389920,07 for the design period.

As a solution, a 7.20-meter-wide road section was designed, adopting a design speed of 60 km/h. This comprehensive project aims to ensure the road's functionality, durability, and safety, improving connectivity and promoting the community's social and economic development.

Keywords: articulated pavement, average annual daily traffic load (TPDA), road drainage, structural number, Californian Bearing Ratio (CBR)

CAPÍTULO I

ANTECEDENTES Y GENERALIDADES

1.1.Introducción

La conectividad vial es pilar fundamental para el crecimiento social, económico y turístico para todo tipo de comunidad. Por consiguiente, si existen vías acordes se garantiza un seguro y eficaz traslado de mercancías y personas, y también se fomenta la integración y mejora la calidad de vida de los habitantes. En este contexto, la Avenida Ilaló representa el principal eje de conexión para la comuna de Tola Chica, en la parroquia de Tumbaco, con la red vial urbana del Distrito Metropolitano de Quito.

Sin embargo, esta vía estratégica presenta actualmente un estado de deterioro funcional. El pavimento, conformado por un empedrado artesanal sobre una base sin tratamiento técnico, ha sucumbido al paso del tiempo y a las cargas del tránsito, manifestando fallas como baches, hundimientos y pérdida de material. Esta situación se agrava por la ausencia con la que no cuenta en relación a los drenajes y sus sistemas, que provoca la erosión de la superficie y la inestabilidad de los bordes, especialmente durante la temporada de lluvias, limitando las actividades cotidianas, comerciales y agrícolas del sector.

Ante esta problemática, el presente trabajo de titulación está en efectuar el diseño geométrico y estructural de una parte del 1.9 km que tiene la Avenida Ilaló, desde la abscisa 0+000 hasta la 1+900. El objetivo es proponer una solución técnica integral que permita mejorar la operatividad y durabilidad de la vía. Por ello, se realizaron estudios topográficos, análisis de tráfico para proyectar la demanda, y una completa caracterización geotécnica de la subrasante.

El diseño se realizará en estricta regulación vigente por el Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTO) y la Norma Ecuatoriana Vial (NEVI-12), garantizando una solución funcional, segura y sostenible. De esta manera, el proyecto no solo busca resolver una necesidad

de infraestructura, sino también propiciar un aumento en la economía local, mejorar la seguridad vial y, en definitiva, contribuir al bienestar y progreso de toda la comunidad de la Tola Chica y sus alrededores.

1.2.Problema de estudio

La avenida Ilaló, representa la vía de mayor importancia para conectar la comuna de Tola Chica y red vial urbana, y su estado actual refleja un evidente deterioro tanto funcional como estructural.

El pavimento de empedrado artesanal, conformado por piedras sueltas asentadas sobre una base sin tratamiento técnico, ha presentado fallas como baches, hundimientos y pérdida del material en áreas de escurrimiento. Estas condiciones comprometen seriamente la movilidad y seguridad de los habitantes del sector.

La vía también presenta inestabilidad especialmente en sus bordes como cunetas, muros o cualquier otra estructura, lo anterior reduce considerablemente la funcionalidad de la vía.

Por lo antes expuesto en el acápite anterior, la circulación en la vía se ve limitada especialmente en temporadas de lluvia esto limita las actividades cotidianas, comerciales y agrícolas que dependen del tránsito constante.

1.3.Antecedentes

La avenida Ilaló en las abscisas 0+000 hasta la 1+900 atraviesa la comuna de Tola Chica, parroquia de Tumbaco, ubicada al este del Distrito Metropolitano de Quito. Esta vía principal punto es la conexión principal entre la comunidad y la infraestructura vial de la ciudad.

Actualmente, la vía presenta un tipo de pavimento de empedrado artesanal, conformado por piedras sueltas sobre una subrasante sin tratamiento estructural significativo. Este tipo de superficie evidencia deterioro funcional y estructural en varios puntos, con presencia de:

- Baches y hundimientos aislados.
- Pérdida de material pétreo en zonas de escurrimiento superficial.

- Ausencia de cunetas o drenaje longitudinal efectivo.
- Inclinationes pronunciadas que agravan la erosión del empedrado.
- Inestabilidad de taludes laterales, especialmente en los bordes sin confinamiento.

La vía no cuenta con un sistema formal de alcantarillado pluvial, lo que ha ocasionado erosión localizada por escurrimiento superficial en época de lluvias. Además, las condiciones actuales no garantizan una conectividad vehicular segura y eficiente, limitando el acceso a viviendas, comercios, centros educativos y zonas de producción agrícola.

Por este motivo se requiere una solución que ayude con el mejoramiento de la vía, a partir del diseño geométrico y estructural; que favorecerá a toda la comunidad.

1.4.Importancia y alcance

Se requiere realizar un diseño geométrico y estructural además del drenaje vial que permita garantizar la servicialidad para la comunidad, logrando optimizar el tránsito en el lugar lo que generaría un aumento significativo del comercio.

Lo que dará acceso a una mejor ruta para el aprovechamiento de todos los moradores de la comuna, ya que actualmente se encuentra en mal estado generando inseguridad al transitar y dificultando la actividad turística del sector.

Por ello se propone el mejoramiento de la vía descrita anteriormente. El proyecto está enfocado en el diseño de la Avenida Ilaló que une los barrios de Plazapamba y la Tola Chica, con una longitud de 1.9 km, el diseño se lo realiza mediante las especificaciones y normas de tipo técnicas que se encuentran plasmadas en la Norma Ecuatoriana Vial NEVI-12 del Ministerio de Transporte y Obras Públicas.

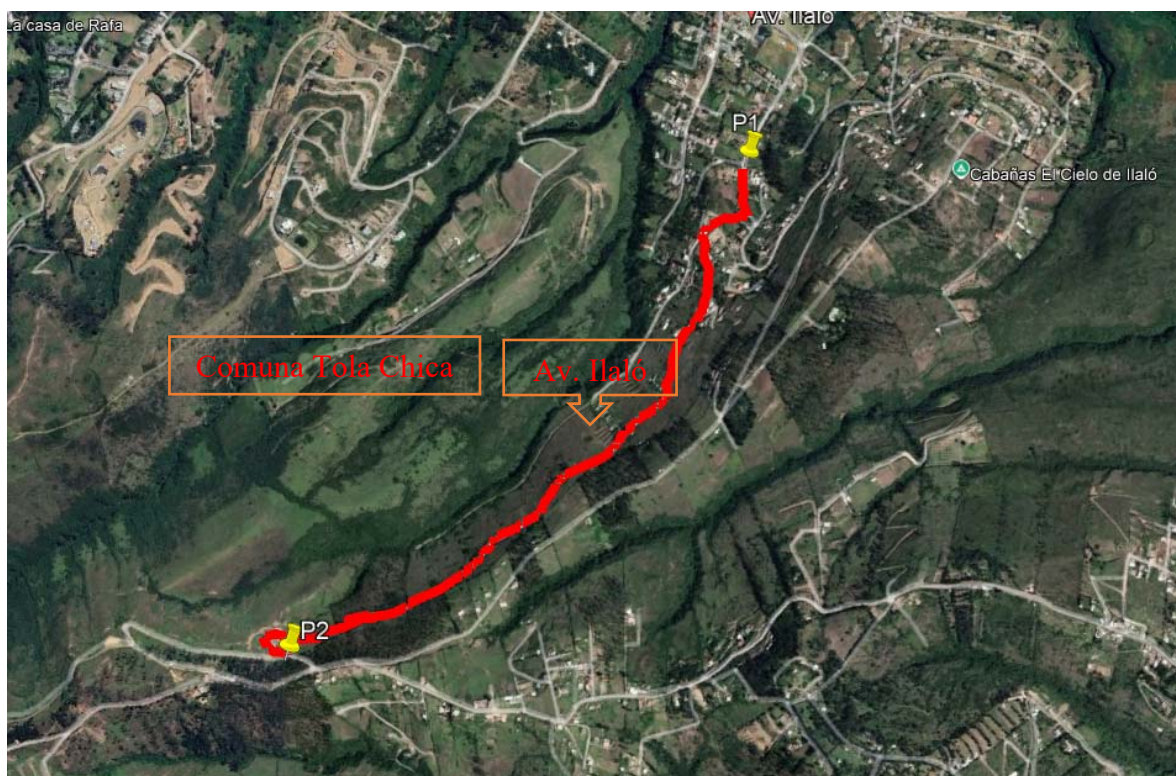
1.5.Delimitación

En relación a la delimitación del proyecto vial, este se encuentra enmarcado en la provincia de Pichincha, cantón Quito, parroquia de Tumbaco, comuna de la Tola Chica indicado en la figura 1, el mismo cuenta con una longitud de 1.9 km, delimitando al norte con el barrio

Plazapamba, al sur con el barrio Tola Chica, al este con el barrio Jardín del Edén Blanca Rosa y al oeste con el barrio Chiviqui. (Santillán, 2014)

Figura 1.

Ubicación de la Avenida Ilaló



Nota. La línea de color rojo muestra la longitud del proyecto. Elaborado por: Las autoras a través de Google Earth Pro.

1.6. Justificación

Este estudio propuesto, se hace con la finalidad de resolver la problemática que padecen los habitantes de la comunidad, quienes enfrentan a diario la dificultad de poder trasladarse de una forma segura y rápida, por lo que se genera un riesgo permanente para quienes deben utilizar esta vía.

El desarrollo de la vía beneficia directamente a los residentes de la zona al satisfacer sus necesidades de movilidad; además, propiciara un aumento en la economía del sector turístico.

En este sentido, se puede considerar que exista una visión de extender la línea de transporte urbano, lo que beneficia al ámbito social, ya que se aumenta la población.

1.7.Objetivos

1.7.1. Objetivo General

Efectuar el diseño geométrico y estructural de la vía Ilaló, desde la abscisa 0+000 hasta la abscisa 1+900, siguiendo las regulaciones actuales del Ministerio de Transporte y Obras Públicas a fin de mejorar la operatividad de la vía actual.

1.7.2. Objetivos Específicos

Realizar la georreferenciación de la faja topográfica mediante el uso de estación total, como base para el diseño geométrico y vertical de la vía.

Determinar el volumen de tránsito futuro a través de conteos vehiculares actuales entre los barrios de Plazapamba y Tola Chica, para proyectar la demanda del corredor vial.

Ejecutar un análisis geotécnico de la subrasante mediante ensayos de campo y laboratorio para el análisis de muestras inalteradas, con el fin de establecer sus propiedades mecánicas.

Diseñar la vía a nivel geométrico, estructural y drenaje vial conforme a las normas NEVI-12 y MTOP, para garantizar la funcionalidad y durabilidad ante las condiciones de tránsito proyectadas.

1.8.Ubicación geográfica

1.8.1. Límites

Los límites que corresponden al proyecto presentado, se presentan de inicio a fin en la siguiente tabla:

Tabla 1.

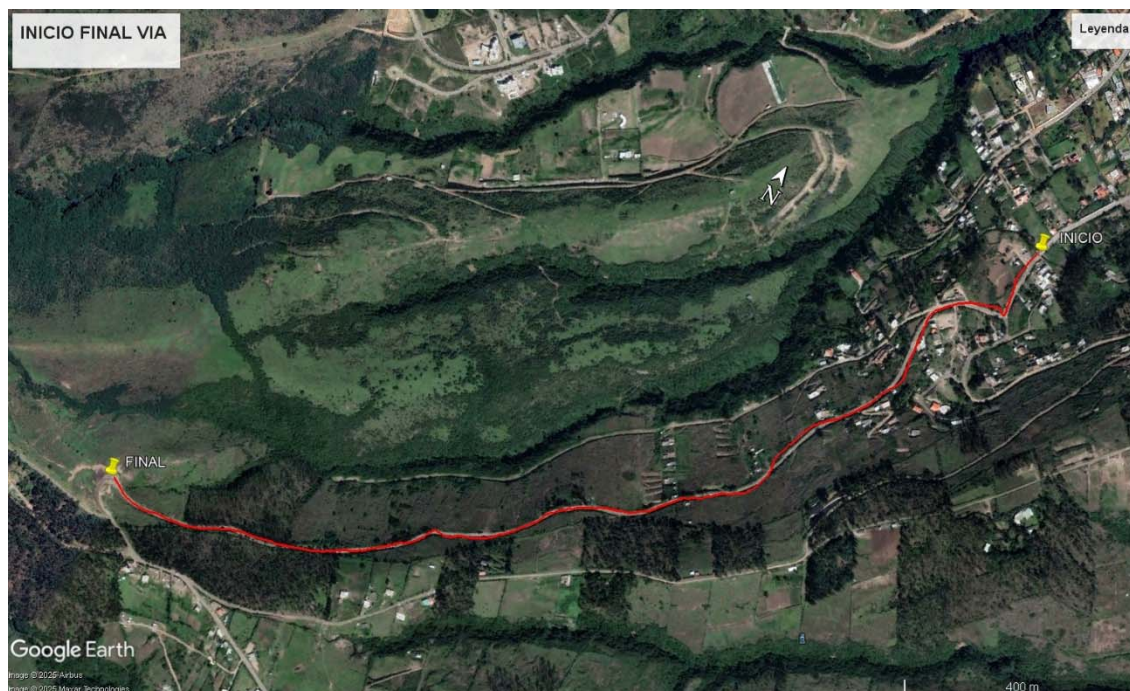
Coordenadas inicio y final del proyecto en la Avenida Ilaló

Punto	Norte	Este
Inicio	9973799.00 m S	791424.00 m E
Final	9972649.00 m S	790298.00 m E

Nota. Tabla de coordenadas del proyecto. Elaborado por: Las autoras a través de Google Earth Pro

Figura 2.

Límites de la Avenida Ilaló



Nota. Como se puede evidenciar la línea de color rojo corresponde a la longitud que tiene el proyecto propuesto. Elaborado por: Las autoras a través de Google Earth Pro.

1.8.2. Ubicación del proyecto

La ubicación del proyecto está en la provincia de Pichincha, Cantón Quito, Parroquia de Tumbaco.

Figura 3.

Parroquia Tumbaco



Nota. Como se puede evidenciar esta vía está ubicada en la Comunidad Tola Chica que corresponde a la parroquia de Tumbaco.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Estudio de tráfico

El estudio de tránsito comprende todas las acciones necesarias para conocer el comportamiento del flujo vehicular y su variación respecto al tiempo. En este se determinan la cantidad y tipo de vehículos que circulan por una determinada vía. Esto nos permite conocer las solicitudes a las que se encuentran sometida la estructura vial.

2.2. Tráfico promedio diario anual

El tráfico promedio diario anual es el número promedio de vehículos que circulan diariamente por una vía en un año. (Reyes, 2013)

El valor de TPDA es un insumo esencial para conocer la magnitud del flujo vehicular y en función de esto ver el diseño, mantenimiento y clasificación de carreteras. (Ministerio de Transporte y Obras públicas, 2025)

2.3. Clasificación de vehículos

En Ecuador el tipo de como clasificar los vehículos, está establecido en la norma NTE INEN 2656 del Servicio Ecuatoriano de Normalización. En la norma se mencionan las siguientes clasificaciones vehiculares:

- Categoría L de vehículos motorizados con dos, tres o cuatro ruedas.
- Categoría M de automotores de cuatro ruedas o más diseñados y contruidos para el transporte de pasajeros.
- Dentro de la categoría M están las siguientes subcategorías:
- Subcategoría M1 de vehículos motorizados con capacidad no mayor a ocho plazas, sin contar el asiento del conductor.
- Subcategoría M2 de vehículos motorizados con capacidad mayor a ocho plazas, sin contar el asiento del conductor.

- Subcategoría M3 vehículos motorizados con más de ocho plazas, además del asiento del conductor.
- Categoría N de vehículos motorizados de cuatro ruedas o más diseñados y contruidos para el transporte de mercancías
- Dentro de esta categoría existen las subcategorías:
- Subcategoría N1 de vehículos motorizados cuyo peso bruto vehicular PBV no exceda de 3500 kg.
- Subcategoría N2 de vehículos motorizados cuyo peso bruto vehicular PBV sea mayor de 3500 kg y no supere los 12000 kg.
- Subcategoría N3 de vehículos cuyo PBV sea superior a los 12 000 kg.
- Categoría O de vehículos no motorizados diseñados para ser remolcados por un vehículo de motor.
- Categoría de vehículos para propósitos especiales.
- Categoría de vehículos agrícolas

2.4.La carretera

2.4.1. Clasificación de las carreteras

Según las Normas de Diseño Geométrico de Carreteras 2003 del Ministerio de Transporte y Obras Públicas las carreteras se pueden clasificar de acuerdo al tráfico proyectado de la siguiente forma:

Tabla 2.

Clasificación de Carreteras

Clase de Carretera	Trafico Proyectado TPDA
R-I o R-II	Más de 8000
I	De 3000 a 8000
II	De 1000 a 3000
III	De 300 a 1000
IV	De 100 a 300
V	Menos de 100

Nota. Clasificación de las carreteras según la normativa. Fuente: Ministerio de Transporte y Obras Públicas 2003

2.4.2. Partes de una carretera

Las partes de una carretera de manera general son:

➤ **Firme o calzada**

Es una capa por la que los vehículos circulan y puede ser de diferentes vías.

➤ **Franja separadora de sentidos del tráfico**

No existe en todas las vías y también puede adoptar el nombre de parterre.

➤ **Espaldones**

Son espacios en las márgenes de las vías para permitir que vehículos se detengan sin interrumpir el flujo del tránsito. Su ancho fluctúa entre 0.75 m y 3.00 m dependiendo del diseño. También sirve para recibir el tráfico peatonal, de animales, bicicletas, etc.

➤ **Cunetas**

Son estructuras en forma de canal que recorren longitudinalmente la carretera. Su función es trasladar el agua recogida desde la vía hacia las alcantarillas.

➤ **Taludes/Terraplenes**

Son cortes o rellenos del terreno natural para conformar los niveles de la vía. (Espinosa, 2016)

➤ **Subrasante**

Es la capacidad estructural de la subrasante determina la estructura vial además una buena capacidad de esta permite absorber de mejor manera los esfuerzos transmitidos por el tránsito.

Cada uno de los elementos de la carretera se debe diseñar y construir adecuadamente con la finalidad de optimizar la utilización de las vías (Rondón, Zafra, & Chaves, 2018)

2.5. Tipos de terreno

Estos terrenos referidos que son del diseño de vías se diferencian especialmente por el tipo de superficie y pendientes que presenten, además se puede clasificar por su capacidad estructural:

- Terrenos planos con pendientes transversales a la vía menores del 5%, y pendientes longitudinales de las vías son normalmente menores del 3%.

Es aquella vía que no constan inclinaciones, en la práctica es muy difícil encontrar terrenos naturales que sean planos. Constructivamente es una condición ideal.

- Terrenos ondulados con pendientes longitudinales entre 3% y 6% y transversales entre 6 y 12%.

Se trata de terrenos que presentan desnivel de transición suaves. En este tipo de terreno no existe mucha complicación en la construcción.

- Este tipo de terreno presenta pendientes elevadas, suele encontrarse en zonas de cordilleras o laderas con topografía compleja. El diseño y construcción en este tipo de terrenos es complejo, se deben considerar curvas cerradas, obras de contención y perfilamiento de taludes.

- Terrenos escarpados con pendientes longitudinales mayores a 8% y transversales pasan con frecuencia del 40%

Presenta pendientes muy elevados por lo que el acceso a este tipo de terrenos es altamente complicado. Generalmente en este terreno se tienen que diseñar y construir soluciones ingenieriles más complejas para viabilizar los proyectos.

Las soluciones técnicas a plantear en este tipo de terrenos son muros de contención, túneles, sistemas especiales de drenaje.

Respecto a la capacidad estructural del material que están compuestos los terrenos, se pueden diferenciar entre suelos granulares formados de partículas gruesas como arenas, gravas y suelos finos formados por arcillas y limos de partículas muy pequeñas, suelos orgánicos con material vegetal o en descomposición y los suelos rocosos considerados los más resistentes. (Ospina, 2002)

2.6.Velocidad de diseño

En relación a este punto, es importante mencionar que la velocidad en el diseño, se refiere a las condiciones de tráfico y clima por las que los vehículos circulan de forma segura. Por ello se considera en la topografía: el tipo de zona, el clima y el tráfico.

Este parámetro es fundamental y es ampliamente utilizado para definir como se trazará la vía, con el diseño geométrico horizontal, así también el diseño geométrico vertical.

Una vez establecida, todo el diseño de la vía debe ajustarse a ella. Siempre que sea posible, es preferible usar velocidades superiores.

Según el Ministerio de Transporte y Obras Publicas existen tres aspectos básicos que definen la velocidad del diseño esos son:

- La naturaleza en relación al terreno
- El tipo de modalidad que usan los Conductores
- El aspecto económico

2.7.Diseño de pavimento

Este consiste en poder determinar los espesores y las que deben llevar con los respectivos materiales para soportar el tránsito de vehículos, por esto las vías se componen de base, subbase y la subrasante.

Desde esta óptica, lo principal es que la estructura resista las cargas del tráfico y para prevenir la aparición de grietas, baches o hundimientos. Entonces se analizan varios factores técnicos, por ejemplo, el suelo, el clima, el volumen y tipo de tránsito y la vida útil esperada.

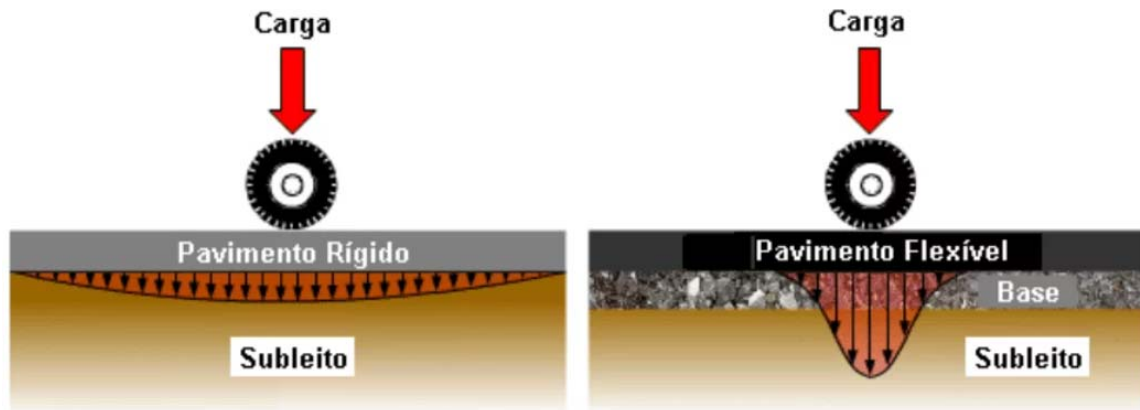
Durante la etapa de diseño se define el tipo de pavimento más adecuado a utilizar. Esta decisión se toma después de estudiar principalmente la capacidad del suelo de soporte, los costos disponibles para el proyecto, las condiciones de mantenimiento a largo plazo y el tipo de uso que tendrá la vía.

Un pavimento flexible puede adaptarse a las imperfecciones del terreno y distribuye el peso gradualmente hacia las capas inferiores. Se usa mucho en carreteras por su rapidez de construcción, pero necesita mantenimiento frecuente.

El pavimento rígido (de hormigón armado o simple) es más duradero y resistente a cargas pesadas, ya que tiene alta rigidez y transfiere las cargas directamente a la subrasante. Su costo inicial es mayor, pero necesita menos mantenimiento.

Figura 4.

Distribución de esfuerzos en pavimentos



Nota. La distribución de esfuerzos se representa por las flechas negras. Fuente: (Almeida, 2025)

El pavimento articulado está compuesto por adoquines colocados sobre una base granular y con juntas de arena. Es ideal para zonas urbanas, vías de bajo volumen o rurales, porque se adapta a ciertos movimientos del terreno y es fácil de reparar. Su elección se da cuando se busca una opción práctica, estética y con buen drenaje superficial.

2.8.Análisis del CBR

El análisis del CBR en términos prácticos consiste en clasificar el suelo según su capacidad de soporte, el resultado se expresa como un porcentaje que indica cuanto puede soportar en comparación con material de referencia que generalmente es piedra triturada de buena calidad.

El uso de determinados materiales por valor del CBR esta normado en Ecuador en las Especificaciones Generales para la construcción de caminos y puentes MOP - 001-F 2002 del Ministerio de Transporte y Obras Públicas. (MINISTERIO DE TRANSPORTE Y OBRAS PUBLICAS, 2003)

En el caso de vías en donde se considere empedrado, no puede estar en una subrasante con un valor de CBR menor al 6%, por otro lado, no se puede utilizar un determinado

material para mejorar la subrasante si este presenta un límite de tipo líquido igual o menor a 35% siempre que el valor de CBR sea menor o igual a 20%.

En el caso de Subbase no se permite utilizar materiales que puedan soportar una correspondiente a un CBR de menor del 30% y para Base no se permite usar materiales con un CBR menor del 80%.

2.9.Sistema de drenaje vial

Se diseña para recolectar y conducir agua lluvia desde la vía hacia cualquier obra de recolección. El objetivo del diseño es minimizar la afectación de la precipitación en la estructura vial.

Las partes de un sistema de drenaje vial puede variar en función de las necesidades, pero normalmente se componen de cunetas, canales, alcantarillas, sumideros y tuberías subterráneas.

Por ello, se hace en función del caudal de precipitación esperado en la vía, la pendiente del terreno y el tipo de superficie. Si no se planifica bien, el agua puede erosionar la vía y con esto afectar la estabilidad de los taludes o causar problemas en las zonas vecinas. (Tarrillo, 2023).

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1. Tipo de investigación

El tipo de estudio se enfoca en una investigación de campo, ya que se necesita recopilar todos los datos directamente del entorno donde se desarrolla el proyecto de este estudio. Este tipo de investigación permite obtener datos reales sobre el estado actual, condiciones físicas del terreno ya que se identifican los problemas viales en tiempo real.

Con este enfoque de investigación se obtienen observaciones, registros técnicos y levantamientos topográficos lo cual sirve para fundamentar el estudio y, además, permite definir el drenaje basados en los datos del sitio. (Correa, 2012)

Otro enfoque empleado es el de investigación experimental, esto considerando que es necesario realizar ensayos de laboratorio como el análisis CBR, también se evalúan alternativas de diseño estructural manipulando variables relacionadas a los tipos de pavimentos y las condiciones hidráulicas de la vía. Esta estrategia permite establecer relaciones de efecto y causa con los factores que inciden en el deterioro de la infraestructura y las soluciones técnicas planteadas. (Moale & Rivera, 2019)

Por tanto, la aplicación conjunta de estas metodologías resulta esencial para garantizar que el mejoramiento de la avenida Ilaló contribuya al desarrollo sostenible, la seguridad vial para los habitantes de la comuna de La Tola Chica.

3.2. Método

Para el método, se opta por una metodología combinada que permite abordar el problema desde diferentes enfoques técnicos.

Por un lado, se utiliza el método analítico, que consiste en descomponer el problema vial en sus componentes principales:

- Tránsito

- Estructura del pavimento
- Drenaje
- Geometría

Para analizarlos de manera individual y entender su influencia dentro del sistema vial. Este método facilita elegir las técnicas fundamentadas en los datos específicos y criterios existentes en la normativa actual.

Además, se aplica el método descriptivo, ya que se requiere observar y registrar con detalle el estado actual de la vía, permitiendo así caracterizar la infraestructura de drenaje. Esta información fue obtenida a través de observaciones directas, registros fotográficos y levantamientos de campo. Ambos métodos permiten tener una visión clara y estructurada del problema vial.

3.3. Técnicas de recolección de información

Dentro de la metodología empleada en el proyecto. Se aplicaron técnicas que permitieron recopilar información precisa tanto en campo como en gabinete.

Entre ellas, se destaca la observación directa, que permitió identificar visualmente el deterioro del empedrado, la inestabilidad de los bordes y la ausencia de cunetas, generando un diagnóstico real de la situación.

Otra técnica utilizada es el levantamiento de información topográfica, lo cual facilitó la obtención de cotas, curvas de nivel y alineamientos necesarios para el diseño geométrico. También se llevan a cabo pruebas de laboratorio con las muestras que han sido extraídas del suelo de la subrasante, como el análisis CBR, granulometría y límites de Atterberg.

Además, se aplica el conteo vehicular manual como técnica que permite estimar el Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA), dato clave para definir el tipo y espesor del pavimento. Toda esta información fue sistematizada y analizada para sustentar técnicamente las decisiones de diseño.

3.4. Proceso técnico

3.4.1. Levantamiento topográfico

El levantamiento topográfico consta de varios pasos para ejecutarlo de manera adecuada, principalmente se pueden distinguir las siguientes etapas:

a. Información preliminar

En este punto se recopila información previa antes de realizar los trabajos de campo, se trata de conseguir cartografía, fotografías aéreas, mapas o el uso de programas con imágenes satelitales como Google Earth.

b. Reconocimiento del terreno

Se trata de conocer el terreno de manera física esto puede ser mediante método aéreos, terrestres o cualquiera que permita el reconocimiento.

c. Levantamiento topográfico de campo

Se planifica los puntos en los cuales se va a realizar las estaciones de los equipos topográficos, se ubican estos puntos de manera precisa. Además, en este punto se buscan puntos de referencia permanente conocidos como BMs.

En este punto se toman todos los puntos necesarios, sus ubicaciones y niveles que permitan tener una representación real de las superficies trabajadas.

d. Trabajos de gabinete

En este punto se procesan resultados obtenidos en los programas computacionales CAD y SIG de procesamiento de datos. Es en este punto que se generan los planos topográficos con todos los detalles necesarios: cortes, secciones transversales, detalle de volúmenes, etc.

3.4.2. Volumen de tráfico actual y futuro

Se puede realizar realizando:

➤ **Observaciones de campo**

Se realizan conteos vehiculares manuales y se registran el tipo de vehículo y la cantidad que atraviesan una determinada vía.

➤ **Establecer un periodo de observación**

Se establecen periodos de conteo de tal manera que se tengan muestras representativas del tráfico con el fin de contar con un tránsito lo más ajustado a las condiciones reales de la vía.

➤ **Obtención del tráfico actual**

Se realiza un ajuste del tráfico contado en las observaciones de campo y se lo proyecta como si se tuviera un conteo durante 24 horas todos los días.

La proyección se realiza a través de la multiplicación por factores horarios, diarios, semanal y mensual.

➤ **Obtención del tráfico futuro**

Al obtener el tráfico, se visiona la proyección con la finalidad de poder saber cuántos vehículos circulan.

3.4.3. Exploración geotécnica

La exploración geotécnica permite realizar diseños estructurales adecuados. Para realizar una exploración geotécnica se debe realizar una planificación y revisión previa para determinar el tipo y cantidad de sondeos.

El manual de diseño del Ministerio de Transporte y Obras Públicas sugieren que se realice un sondeo cada 200 – 500 metros para vías nuevas y al menor 3 puntos adicionales en lugares de implantación de obras sobre la vía.

Para la exploración geotécnica se emplean métodos directos de perforación para obtener muestras alteradas o inalteradas según sea el caso.

Los ensayos in situ más utilizados son el SPT (Standard Penetration Test) que en resumen se trata de obtener la capacidad portante del suelo basado en los números de golpes para penetrarlo.

Otro ensayo frecuentemente utilizado es el CPT (Cone Penetration Test) que también puede medir el suelo y su resistencia a través de la resistencia de penetración de la punta y fricción del suelo.

Una vez obtenidas las muestras de suelo necesarios se realizaron pruebas en el laboratorio con la finalidad de conocer todos los componentes de los suelos. Básicamente se debe realizar ensayos de clasificación (resistencia al corte, consolidación, compresión simple), humedad natural, densidad seca, contenido de húmeda entre otras.

Los resultados de la exploración geotécnica se deben presentar a través de un informe técnico en el que se expongan todos datos obtenidos. Además, se debe presentar un apartado con las principales conclusiones y recomendaciones para proyectos de ingeniería.

3.4.4. Sistema de drenaje

Para la metodología se considera:

a. Recopilación de información preliminar

Para definir el sistema de drenaje se debe recopilar la información relevante respecto a precipitación, fuentes hídricas cercanas y cualquier otro aspecto que involucre agua que deba ser conducidas.

En este punto también se debe identificar cuencas y microcuencas y determinar el flujo del drenaje desde y hacia la vía.

b. Determinación de caudales de diseño

Para la determinación del caudal de diseño se utiliza el método racional, el cual de manera simplificada se trata de lo siguiente:

$$Q = \frac{C * i * A}{360}$$

Donde Q es el caudal de diseño en m³/s, C es el coeficiente de escorrentía y depende del tipo de superficie finalmente i es la intensidad de precipitación en mm/h.

En función de los caudales de diseño obtenidos se planifican y diseñan las obras de ingeniería necesarias para el drenaje.

3.4.5. *Diseño geométrico horizontal*

Se trata en definir el trazado vial en planta. Esta etapa es muy importante porque visiona un recorrido seguro, cómodo y funcional, tanto para el tránsito vehicular como para los usuarios de la vía.

Para establecer el alineamiento horizontal se parte del levantamiento topográfico del terreno y se aplicaron las normas establecidas por el MTOP y la Norma Ecuatoriana Vial NEVI-12. Se definieron tramos rectos (tangentes) interconectados mediante curvas circulares, y en algunos casos se consideraron curvas de transición que suavizan el ingreso y salida de las curvas principales.

Se tomaron en cuenta parámetros, por ejemplo, la velocidad, el tipo de vía, informaciones topográficas y el volumen de tránsito actual y proyectado. En las curvas se aplicó peralte, garantizando que los autos puedan girar sin riesgo de deslizamiento. Además, se revisaron las distancias de visibilidad necesarias para frenado y adelantamiento, de modo que se efectue con los niveles mínimos de seguridad requeridos.

Este diseño también buscó aprovechar la infraestructura existente, con el fin de reducir intervenciones costosas en el terreno y minimizar el impacto ambiental, manteniendo un equilibrio entre funcionalidad y eficiencia técnica.

3.4.6. *Diseño geométrico vertical*

Este se trata de identificar en cómo varía la altura de la vía a lo largo de su recorrido, es decir, el perfil longitudinal que sigue la carretera desde un punto de vista lateral. Esta parte del

diseño es fundamental porque permite adaptar el proyecto a la topografía del terreno sin comprometer la seguridad, el confort o el costo de la obra.

Para definir la rasante se trabaja con datos que se obtuvieron durante el levantamiento de información topográfica y se proyectó un perfil que respeta las pendientes mínimas y máximas permitidas, según las normas vigentes. Se busca que las pendientes no resulten ni muy empinadas, que dificulten el ascenso y descenso de los vehículos, ni demasiado planas, que puedan generar problemas con el drenaje.

Cuando fue necesario, se incluyeron curvas verticales —ya sean cóncavas o convexas— para tramos con distintas pendientes. Esta propuesta también consideró la reutilización de la rasante existente en ciertos tramos, lo que permitió reducir volúmenes de corte y relleno. Con este enfoque se garantiza no solo una correcta ejecución del proyecto, sino también un desempeño adecuado de la vía a largo plazo.

CAPÍTULO IV

ESTUDIOS TOPOGRÁFICOS

4.1. Levantamiento Topográfico

La información topográfica, presenta los principales elementos del levantamiento topográfico:

- La topografía muestra curvas de nivel con cotas que van desde los 2523 msnm hasta los 2674 msnm.
- La faja topográfica obtenida es de 250 metros y se muestra esquemáticamente a continuación.

4.2. Ubicación del proyecto

En la presente tabla se muestran se presentan las coordenadas de las vías:

Tabla 3.*Coordenadas UTM*

Abscisa	Center X	Center Y
0+000	512557.2178	9972880.408
0+100	512486.3382	9972812.016
0+200	512698.6581	9973016.549
0+300	512639.692	9972936.503
0+400	512405.1998	9972754.585
0+500	512127.7621	9972646.828
0+600	512030.3934	9972657.878
0+700	512316.2109	9972711.491
0+800	512221.2052	9972681.562
0+900	512783.5059	9973063.799
1+000	513067.9219	9973658.084
1+100	513049.3287	9973565.076
1+200	513146.1622	9973796.446
1+300	513152.0608	9973696.665
1+400	513049.4743	9973466.916
1+500	512928.9357	9973198.117
1+600	512854.4204	9973131.854
1+700	512999.9749	9973380.404
1+800	512969.8295	9973285.782

Nota. Coordenadas UTM. Elaborado por las Autoras

4.3.Posicionamiento de puntos de control o BMs

El establecimiento de una red de puntos de control geodésicos, denominados Benchmarks (BMs), es la fase inicial y fundamental del levantamiento topográfico. Estos puntos constituyen una red de vértices con coordenadas y elevaciones conocidas de alta precisión, que sirven como referencia inalterable para todas las mediciones posteriores del proyecto. Una red de control bien planificada y materializada garantiza la precisión,

consistencia y la correcta georreferenciación de todo el diseño vial, desde el trazado en planta y perfil hasta el cálculo de volúmenes de tierra.

4.3.1. Procedimiento

El procedimiento se planificó y ejecutó siguiendo una metodología estándar que asegura la calidad y precisión de los datos. Este proceso se dividió en las siguientes fases:

Planificación y Reconocimiento:

Análisis de Información Existente: Se realizó una revisión de la cartografía y orto fotografía disponible del área de estudio. Se utilizaron herramientas como Google Earth Pro para una visualización preliminar del corredor vial de 1.9 km, identificando posibles ubicaciones para los BMs, tales como estructuras de concreto estables, afloramientos rocosos o áreas fuera de la zona de futuro movimiento de tierras.

Búsqueda de Puntos Geodésicos Oficiales: Se consultaron las bases de datos del Instituto Geográfico Militar (IGM) de Ecuador para localizar lugares de la red geodésica nacional en las cercanías del proyecto que pudieran servir como punto de partida con coordenadas oficiales.

Selección de Equipos: Se determinó el uso de una estación total para la medición de la poligonal de apoyo, garantizando la precisión en ángulos y distancias, tal como se establece en los objetivos del proyecto. Adicionalmente, se planificó el uso de un receptor GNSS (Sistema Global de Navegación por Satélite) de doble frecuencia con el fin de vincular la red de control del proyecto al sistema de referencia geodésico mundial.

Metodología de Medición:

Diseño de la Poligonal de Apoyo: Se diseñó una poligonal base que recorre la longitud del proyecto. Esta poligonal se planificó para ser cerrada o enlazada a puntos de coordenadas conocidas.

Georreferenciación: Se estableció que al menos uno de los BMs de la poligonal sería observado con el receptor GNSS durante un tiempo suficiente para obtener coordenadas de alta precisión en el sistema de referencia WGS84 y su correspondiente proyección UTM, el cual es el sistema utilizado para definir los límites del proyecto.

Nivelación: La cota o elevación de los BMs se determinaría mediante nivelación trigonométrica realizada con la estación total a lo largo de la poligonal, partiendo de la cota obtenida en el punto medido con GNSS.

4.4.Trabajo en campo

La ejecución en campo fue rigurosamente planificada en aras de medir y materializar la red de control.

Monumentación de los BMs: Tras el reconocimiento en sitio, se monumental un total de 5 BMs a lo largo del proyecto. Estos fueron contruidos con varillas de hierro de 1/2" ancladas en mojonos de hormigón, ubicados en lugares estables y seguros que no serán afectados por la futura construcción. Cada BM fue debidamente identificado con una placa metálica o pintura para facilitar su localización.

Georreferenciación Absoluta: Debido a la ausencia de puntos geodésicos del IGM en la zona inmediata al proyecto, se procedió a establecer un punto de control principal (BM-01) mediante mediciones con un receptor GNSS. El equipo se mantuvo operando en modo estático para garantizar una solución de alta precisión, obteniendo así las coordenadas UTM que se utilizan para el levantamiento topográfico.

Medición de la Poligonal:

Se inició el levantamiento de la poligonal desde el BM-01. Utilizando la estación total, se midieron los ángulos correspondientes de tipo vertical y horizontal, del mismo modo, las inclinadas distancias hacia los siguientes puntos de la poligonal.

Se realizaron lecturas en posición directa e inversa del anteojo del equipo para minimizar errores instrumentales y se midieron múltiples series de ángulos y distancias para asegurar la redundancia y fiabilidad de los datos.

Todos los datos crudos del levantamiento fueron almacenados digitalmente para una memoria de tipo interna en el archivo correspondiente, para luego procesarla en el gabinete.

CAPÍTULO V

ESTUDIO DE TRÁFICO

5.1.Método de conteo

Es el conteo manual que permite conocer cuántos vehículos pasan por una vía determinada. En el método una persona o más personas se colocan con hojas de registro para anotar los datos. Se deben plantear un número de horas y días que permitan tener una muestra representativa del tráfico.

Para el presente proyecto se realiza el conteo del 7 de abril al 13 de abril de 2025 de 7 am hasta las 7 pm completando un total de 12 horas obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 3.*Conteo de vehículos*

CLASE	TIPO DE VEHÍC ULO	Tráfico Vehicular en dos sentidos por vía							TOTAL
		LUNES	MARTES	MIERCOLES	JUEVES	VIERNES	SABADO	DOMINGO	
LIVIANOS	2D	15	17	17	19	19	39	60	186
BUSES	2DB	71	73	74	70	73	72	68	501
CAMIONES	2DA	3	4	3	0	4	4	4	22
	3A	1	0	1	0	0	1	0	3
		90	94	95	89	96	116	132	712

Nota. Tabla para el conteo del tráfico vehicular. Elaborado por las Autoras

1.1.Determinación del TPDA

5.1.1. Trafico promedio diario horario (TPDH)

Para el cálculo de TPDH se utiliza la siguiente expresión:

$$TPDH = \frac{\textit{Total vehículos contabilizados}}{\textit{Total días contabilizados}}$$

Sin embargo, se debe considerar que las cantidades a usarse en la expresión anterior son los referidos a un periodo de 24 horas, sin embargo, el conteo manual de 12 horas, por lo cual el número de vehículo totales en un día de 24 horas, partiendo de un conteo de solo 12 horas, el Manual de Diseño Geométrico de Carreteras del Ecuador (2003) establece el uso de factores de variación, específicamente el Factor Horario (FH).

Para el presente proyecto se adopta un valor de **FH= 1.2**

Conociendo que el tráfico nocturno es menor de acuerdo a las entrevistas desarrolladas y al no disponer de un conteo automático, considerando que el factor fluctúa entre 1.10 a 1.40 en este tipo de zonas. (Morocho, 2015)

Tabla 4.

Cálculo TPDH

CLASE	TIPO DE VEHICULO	DIAS DE LA SEMANA							TOTAL	FH	FD	TPDH
		LUNES	MARTES	MIERCOLES	JUEVES	VIERNES	SABADO	DOMINGO				
LIVIANOS	2D	15	17	17	19	19	39	60	186	1.2	224	32
BUSES	2DB	71	73	74	70	73	72	68	501	1.2	602	86
CAMIONES	2DA	3	4	3	1	4	4	4	23	1.2	28	4
	3A	1	0	1	0	0	1	0	3	1.2	4	1

Nota. Cálculo del trafico promedio diario horario. Elaborado por las Autoras.

5.1.2. Tráfico promedio diario semanal (TPDS)

Para el cálculo del TPDS se utiliza la siguiente ecuación:

$$TPDS = TPDH * FD$$

Donde el factor diario (FD) se puede calcular con lo siguiente:

$$FD = \frac{\text{Promedio diario semanal}}{\text{Número de vehículos de cada día}}$$

Para el presente proyecto $FD=1$ debido a que el periodo del conteo manual fue de 12 horas durante 7 días.

5.1.3. Tráfico promedio diario mensual (TPDM)

Para calcular el TPDM se utiliza la siguiente ecuación:

$$TPDM = TPDS * FS$$

El FS se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$Fs = \frac{\text{días del mes de conteo}}{28 \text{ días}}$$

Tabla 5.

Valores para el factor semanal

MESES	DIAS	FS
Enero	31	1,1071
Febrero	28	1,0000
Marzo	31	1,1071
Abril	30	1,0714
Mayo	31	1,1071
Junio	30	1,0714
Julio	31	1,1071
Agosto	31	1,1071
Septiembre	30	1,0714
Octubre	31	1,1071
Noviembre	30	1,0714
Diciembre	31	1,1071

Nota. Tabla de los factores para calcular el factor semanal. Elaborado por las Autoras.

En este caso se considera un valor de **FS = 1,07**, considerado para el mes de abril.

5.1.4. Tráfico promedio diario anual (TPDA)

Para el cálculo del TPDA se utiliza la siguiente ecuación:

$$TPDA = TPDM * FM$$

Donde el factor mensual (FM), es un factor que transforma el volumen de tráfico mensual promedio en tráfico promedio diario anual.

El factor FM se calcula como:

$$FM = \frac{\text{Consumo promedio mensual de los combustibles anuales}}{\text{Consumo del mes de conteo}}$$

Para la determinación de FM utilizamos el estudio propuesto por (Paztaz & Pinza, 2020).

Tabla 6.

Factor mensual

MES	FM
ENERO	1.036
FEBRERO	1.121
MARZO	1.002
ABRIL	1.017
MAYO	0.995
JUNIO	0.997
JULIO	0.982
AGOSTO	1.017
SEPTIEMBRE	1.001
OCTUBRE	0.952
NOVIEMBRE	0.996
DICIEMBRE	0.911

Nota. Tabla de los factores para calcular el factor mensual. *Fuente:* (Paztaz & Pinza, 2020)

Entonces se considera un valor de FM = **1.017**

Tabla 7.

Cálculo TPDA.

CLASE	TIPO DE VEHICULO	TS	TPD	FACTOR HORARIO	FACTOR SEMANAL	FACTOR MENSUAL	TPDA	% TPDA	—
LIVIANOS	2D	186	27	1.2	1.07	1.017	35	26.32%	—
BUSES	2DB	501	72	1.2	1.07	1.017	94	70.68%	—
CAMIONES	2DA	22	3	1.2	1.07	1.017	4	3.01%	—
	3A	3	0	1.2	1.07	1.017	0	0.00%	—
TOTAL							133	100.00%	—

Nota. Tabla de cálculo del tráfico promedio diario anual. Elaborado por las Autoras.

$$TPDA = TPD * FH * FD * FS * FM$$

TPDA	133
------	-----

5.1.5. Tráfico de diseño

La predicción del tráfico futuro se establece de 15 o 20 años, sin embargo, también cita que con un mantenimiento adecuado el tráfico de diseño se considera una proyección a 15 años considerando el bajo tráfico permitiendo obtener una estructura vial más económica en relación a una. Esto permitirá tener una inversión económica inicial baja lo que es razonable dada la baja importancia de la vía en relación a otras con mayor circulación en el cantón.

Para el cálculo del tráfico futuro se considera la formula indicada en el Manual de Diseño Geométrico de Carreteras del Ecuador (2003).

$$Tf = Ta * (1 + i)^n$$

Donde:

Tf es el tráfico futuro proyectado.

Ta es el tráfico actual

N es el número de años de proyección

i es la tasa de crecimiento vehicular

En cuanto a la tasa de crecimiento del tráfico se utilizan los valores determinados en un estudio de tráfico cercano del área de estudio (ARIAS & VILLAGÓMEZ CONSULTORES, 2018)

Tabla 8.

Tasa de crecimiento vehicular.

TASAS DE CRECIMIENTO DE TRAFICO (%)		
TIPOS DE VEHICULOS	PERIODO	
	2025 - 2030	2030 - 2040
Livianos	5,7	5,7
Buses	2,18	2,18
Camiones	2,18	2,18

Nota. Estudio del crecimiento vehicular. Fuente: Estudio de impacto de tráfico Santa Mónica – Lumbisí

Tabla 9.

Cálculo del TPDA futuro.

CLASE	TIPO DE VEHICULO	AÑOS															
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
		2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040
LIVIANOS	2D	35	37	39	41	44	46	49	52	55	58	61	64	68	72	76	80
BUSES	2DB	94	96	98	100	102	105	107	109	112	114	117	119	122	124	127	130
CAMIONES	2DA	4	4	4	4	4	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	6
	3A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL		133	137	141	145	150	155	161	166	172	177	183	188	195	201	208	216

Nota. Cálculo del tráfico promedio diario anual futuro. Elaborado por las autoras.

Los tipos de tráficos considerados para el cálculo del tráfico de diseño son:

Tráfico actual (TPDA): corresponde al tráfico vehicular en circulación.

Tráfico futuro (TPDA futuro): es la proyección considerando las tasas de crecimiento vehicular de la tabla 8.

Tráfico generado (TG): es el tránsito de viajes nuevos como resultado de la mejora de la vía generalmente se trata de un porcentaje entre 5 y 25%, para esta investigación se ha considerado un valor de 10% del tráfico futuro debido a que no se espera un incremento significativo del tráfico considerando que no es una vía nueva. Además, el porcentaje adoptado obedece a que el entorno de la vía ya cuenta con una estructura vial y la intervención de esta vía no representa un cambio drástico en la conectividad del sistema vial.

Tráfico en desarrollo (TD): considera el tráfico que se genera como desarrollo del sector al mejorar la vía, para este tipo de tráfico los valores referenciales suelen variar dependiendo la realidad de cada sitio, pero suele adoptarse un 50% del tráfico generado debido a que el desarrollo del sector no solo depende de la creación de la vía. Entonces se adaptará un valor de 50% del tráfico generado considerando que para el sector se prevé un desarrollo progresivo sin acciones que puedan ocasionar un desarrollo potencial a corto o mediano plazo.

se presenta la ecuación siguiente:

$$\text{tráfico de diseño} = TPDA_{\text{futuro}} * TG * TD$$

Tabla 10.

Cálculo del tráfico de diseño.

CLASE	TIPO DE VEHICULO	AÑOS															
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
		2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040
LIVIANOS	2D	40	43	45	47	51	53	57	60	64	67	70	74	79	83	88	92
BUSES	2DB	109	111	113	116	118	121	124	126	129	132	135	137	141	143	147	150
CAMIONES	2DA	5	5	5	5	5	5	6	6	6	6	6	6	6	6	6	7
	3A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL		154	159	163	168	174	179	187	192	199	205	211	217	226	232	241	249

Tráfico
diseño
249

Nota. Cálculo del tráfico de diseño. Elaborado por las autoras.

5.2. Clasificación de la vía

De acuerdo al tráfico futuro la vía corresponde a una colectora tipo IV.

Tabla 11.

Clases de carreteras.

FUNCION	CLASE DE CARRETERA (según MOP)	TPDA (1) (AÑO FINAL DE DISEÑO)
CORREDOR	RI - RII (2)	>8000
ARTERIAL	I	3000-8000
	II	1000-3000
	III	300-1000
	IV	100-300
COLECTORA		
VECINAL	V	<100

Nota. Clasificación de las carreteras. Fuente: MTOP, 2003.

5.3. Ejes equivalentes

Para el cálculo de los ejes equivalentes se considera el método de los factores de equivalencia que trata de evaluar el impacto de las cargas en el pavimento estandarizando las cargas por pasada que corresponde a lo automóviles hacia un eje estándar de referencia. El eje estándar de referencia en la práctica vial se toma como un eje simple con rueda doble que ejerce una carga de 18.000 libras o 8.2 toneladas.

Para estimar los factores de carga se emplea la siguiente ecuación:

$$LEF = \left(\frac{P}{Pref} \right)^n$$

Dónde:

P es la carga del eje a evaluar

Pref es la carga del eje estándar (generalmente 18000 libras)

n exponente que depende tráfico para vehículos pesados n es igual a 4

Tabla 12.*Factores de equivalencia de carga.*

CLASE	TIPO DE VEHICULO	SIMPLE		SIMPLE DOBLE		TANDEM		FACTOR DAÑO
		tons	(P/6.6) ⁴	tons	(P/8.2) ⁴	tons	(P/15) ⁴	
LIVIANOS	2D	7	1.27					1.27
BUSES	2DB	7	1.27	11	3.24			4.50
CAMIONES	2DA	3	0.04	7	0.53			0.57
	3A	7	1.27			20	3.16	4.50

Nota. Factores de equivalencia de carga. Elaborado por las Autoras

Tabla 13.

Número de Repeticiones de Carga Equivalente de un Eje Simple de Ruedas Duales de Carga Standard de 18,000 lb (8.2 Ton.).

CLASE	TIPO DE VEHICULO	FD	Tráfico de diseño	ESAL'S
LIVIANOS	2D	1.27	35	44.45
BUSES	2DB	4.5	94	423
CAMIONES	2DA	0.57	4	2.28
	3A	4.5	0	0

Nota. Repeticiones de cargas equivalentes para un eje simple de ruedas. Elaborado por las Autoras

Lo que se trata es de estandarizar las pasadas de todos los vehículos con relación a un eje para estar que generalmente es dobles de carga 18.000 lb. Se utiliza la ecuación:

$$W18 = N \cdot 365 \cdot fd \cdot fc \cdot \frac{(1 + \gamma)^n - 1}{\gamma}$$

Donde:

N es el número de repeticiones de carga actuales

fd es un factor de dirección

fc es un factor de carril

γ es la tasa de crecimiento por cada tipo de vehículo

n es el número de años de proyección.

Se usa un factor correspondiente a dirección (**fd**) igual a 0.5 debido a que en el conteo no se tienen datos de la dirección de los vehículos contabilizados, por otro lado, el factor carril (**fc**) es igual a 0.9 considerando que la vía tendrá dos carriles uno por cada dirección.

Tabla 14.

Número de ejes equivalentes para diseño de la estructura de la vía.

CLASE	TIPO DE VEHICULO	ESAL'S	fd	fc	W18
LIVIANOS	2D	44.45	0.5	0.9	166103.27
BUSES	2DB	423	0.5	0.9	1217255.70
CAMIONES	2DA	2.28	0.5	0.9	6561.09
	3A	0	0.5	0.9	0.00
Total, de ejes equivalente					1389920.07

Nota. Total, de ejes de equivalencia de carga. Elaborado por las Autoras

CAPÍTULO VI

DISEÑO GEOMÉTRICO

6.1. Velocidad de diseño

Es el parámetro fundamental que rige una circulación segura y cómoda bajo condiciones normales de operación. Sin embargo, su elegibilidad se centra en la clasificación funcional de las vías y la topografía del terreno. Para lo cual, se toma en cuenta los siguientes elementos:

Clasificación de la vía: Según los datos obtenidos en el Capítulo V, el Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA) proyectado es de 249 vehículos.

Tipo de Terreno: El relieve del área de estudio se ha definido como **ondulado**⁴.

Con estos dos parámetros, y de acuerdo a la Tabla 16. Velocidad de diseño del "Manual de Diseño Geométrico de Carreteras del Ecuador (2003)", se establece que para una carretera Tipo IV en relieve ondulado, los valores son:

- Velocidad Recomendada: 60 km/h
- Velocidad Absoluta (para tramos difíciles): 35 km/h

Considerando que se busca un diseño que ofrezca condiciones favorables de seguridad y operación, se adopta la recomendada de 60 km/h para los geométricos del proyecto. Este valor será utilizado para definir los peraltes, distancias y demás componentes del alineamiento vertical y horizontal.

Tabla 15.

Velocidad de diseño

CATEGORIA DE LA VIA		TPDA ESPERADO	VELOCIDAD DE DISEÑO Km/h											
			BASICA				PERMISIBLE EN TRAMOS DIFICILES							
			(RELIEVE/LLANO)						(RELIEVE ONDULADO)		(RELIEVE MONTAÑOSO)			
					Utilizada para el cálculo de los elementos de la sección transversal y otros dependientes de la velocidad.				Utilizada para el cálculo de los elementos de la sección transversal y otros dependientes de la velocidad.				Utilizada para el cálculo de los elementos de la sección transversal y otros dependientes de la velocidad.	
			Reco	Absoluta	Reco	Absoluta	Reco	Absoluta	Reco	Absoluta	Reco	Absoluta	Reco	Absoluta
R-II o R-II (Tipo)		> 8000	120	110	100	95	110	90	95	85	90	80	90	80
I	Todos	3000-8000	110	100	100	90	100	80	0	80	80	60	80	60
II	Todos	1000-8000	100	90	90	85	90	80	85	80	70	50	70	50
III	Todos	800-1000	90	80	85	80	80	60	80	60	60	40	60	40
IV	TIPO 5.5 E.8 y 7	100-800	80	60	80	60	60	35	60	35	50	25	50	25
V	4 y 4E	< 100	60	50	60	50	50	35	50	35	40	25	40	25

Nota. Valores para la velocidad del diseño. Fuente Manual de Diseño Geométrico de Carreteras del Ecuador (2003)

6.2.Velocidad de circulación

Está directamente relacionada en el cuadro siguiente obtenido de la norma:

Tabla 16.

Velocidad de diseño

VELOCIDAD DE DISEÑO EN Km/h	VELOCIDAD DE CIRCULACION EN km/h		
	VOLUMEN	VOLUMEN	VOLUMEN
	DE	DE	DE
	TRANSITO	TRANSITO	TRANSITO
	BAJO	INTERMEDIO	ALTO
25	24	23	22
30	28	27	25
40	37	35	34
50	46	44	42
60	55	51	46
70	63	59	53
80	71	66	57
90	79	73	59
100	86	79	60
110	92	85	61

Nota. Velocidad de diseño. Fuente Manual de Diseño Geométrico de Carreteras del Ecuador (2003).

6.3.Diseño horizontal

Considerando que existen lotes en los márgenes de la vía y modificar el trazado involucraría procesos de expropiación lo cual no es asunto de análisis en el presente proyecto.

Sin embargo, realiza un rediseño de las curvas horizontales respetando el trazado actual.

6.3.1. *Curvas circulares*

Según la normativa del Ministerio de Transporte y Obras Públicas en el alineamiento horizontal, se debe tomar en cuenta el valor del radio de la curva de la sección transversal.

Tabla 17.

Radio mínimo recomendado.

<i>Velocidad de diseño</i>	<i>Radio mínimo recomendado (m)</i>			
km/h	e = 0.10	e = 0.08	e = 0.06	e = 0.04
60	110	120	130	140

Nota. Radio mínimo recomendable. Fuente: Manual de Diseño Geométrico de Carreteras del Ecuador (2003).

6.3.2. *Curvas circulares simples*

Se han realizado diferentes curvas considerando el valor del radio mínimo, sin embargo, se tienen curvas con radios menores debido al trazado actual, por ello se muestra los radios de las curvas:

Tabla 18.*Resumen de curvas horizontales*

Abscisa						
No Curva Horiz	P.K. inicial	P.K. final	Abscisa	Radio	Radio Normativa	Cumple
1	92,95	120,96	0+109.8	20,00		NO
2	146,98	180,9	0+164,07	110,00		SI
3	182,21	204,37	0+193,47	50,00		NO
4	204,45	256,03	0+231,17	80,00		NO
5	323,72	359,06	0+341,49	136,99		SI
6	362,73	399,65	0+381,36	110,00		SI
7	430	448,25	0+439,15	110,00		SI
8	477,7	491,59	0+484,66	110,00		SI
9	509,35	528,66	0+519,03	110,00		SI
10	538,88	551,71	0+545,3	121,36		SI
11	582,89	599,39	0+591,14	220,00		SI
12	619,5	636,58	0+628,05	110,00		SI
13	637	647,87	0+642,45	60,00		NO
14	648,09	667,44	0+657,96	40,00		NO
15	690,03	716,2	0+703,18	110,00		SI
16	717,02	733,29	0+725,17	110,00		SI
17	787,77	807,31	0+797,57	110,00		SI
18	827,19	859,78	0+843,6	110,00		SI
19	868,68	897,81	0+883,33	110,00	110	SI
20	929,5	962,9	0+946,33	109,96		NO
21	971,43	987,59	0+979,52	110,00		SI
22	989,92	1004,99	0+997,49	60,00		NO
23	1019,64	1037,66	1+028.66	147,67		SI
24	1054,78	1067,34	1+061.06	136,89		SI
25	1079,39	1099,22	1+089.33	110,00		SI
26	1121,03	1138,76	1+129.92	100,00		NO
27	1138,83	1153,67	1+146.25	182,89		SI
28	1187,13	1209,59	1+198.36	245,69		SI
29	1211,28	1235,35	1+223.43	70,00		NO
30	1245,05	1276,23	1+260.74	110,00		SI
31	1348,36	1370,51	1+359.47	110,00		SI
32	1374,53	1391,28	1+382.91	336,20		SI
33	1408,16	1413,55	1+410.86	70,00		NO
34	1429,67	1445,77	1+437.73	161,20		SI
35	1446,25	1478,26	1+462.43	90,00		NO
36	1545,82	1567,62	1+556.76	110,00		SI
37	1598,82	1634,77	1+616.82	295,43		SI

38	1658,17	1699,22	1+678.76	203,35	SI
39	1702,05	1748,41	1+725.58	110,00	SI

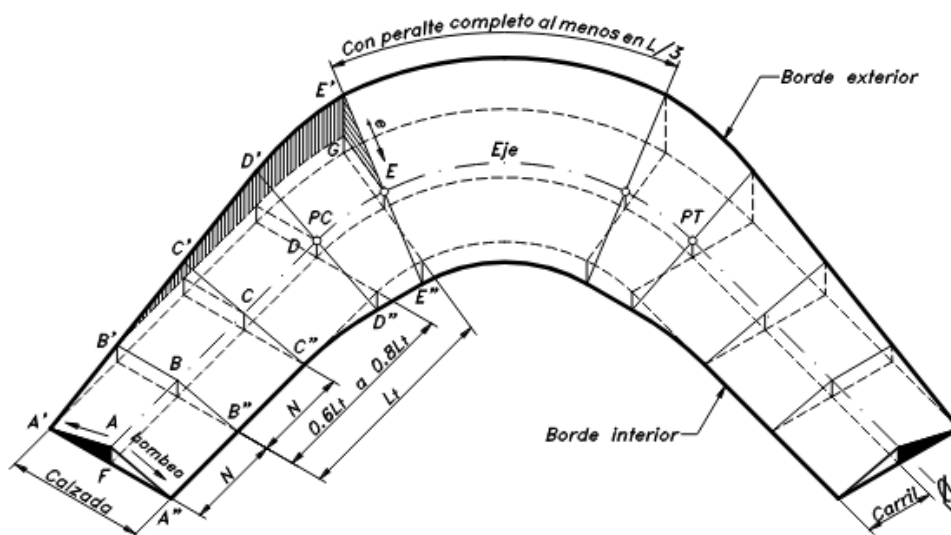
Nota. Resumen de las curvas horizontales dentro de la vía. Elaborado por las autoras.

6.3.3. Peralte de curvas

A continuación, se calcula la longitud para una curva considerando las siguientes variables:

Figura 5.

Esquema desarrollo peralte en curva horizontal.



Nota. Esquema del peralte de una curva horizontal. Fuente Cárdenas, 2013.

$$h = e * b$$

Donde:

h es la sobrelevación en metros del peralte

e es el porcentaje del peralte

b es el ancho de la calzada en metros

$$h = 0.10 * 9 = 0.90 \text{ m}$$

Para esta gradiente tomamos los valores sugeridos por (Cárdenas, 2013)

Tabla 19.

Valores máximos y mínimos de la gradiente de borde

Velocidad específica (km/h)	i	
	máxima (%)	mínima (%)
50	0.77	0.2
60	0.60	0.2
70	0.55	0.2

Nota. Valores máximos y mínimos de la gradiente de borde. Elaborado por las autoras.

$$Lt = \frac{\text{Carril} * (emáx)}{i}$$

$$Lt = \frac{4.50 * (10\%)}{0.60\%} = 75.00 \text{ m}$$

Se calcula la longitud de aplastamiento:

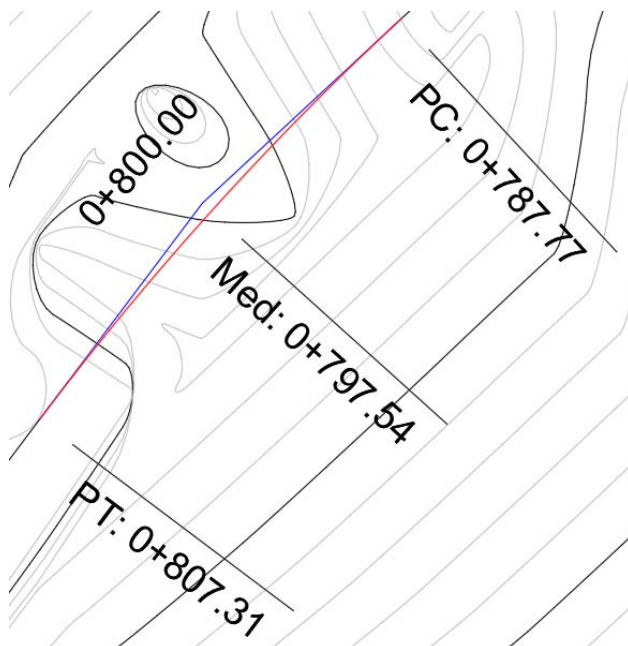
$$N = \frac{\text{Carril} * \text{Bombeo}}{i}$$

$$N = \frac{4.50 * 2\%}{0.60\%} = 15.00 \text{ m}$$

Para la interpretación del desarrollo del peralte se utiliza un ejemplo de curva:

Figura 6.

Curva horizontal 0+800.00



Nota. Esquema de una curva horizontal. Elaborado por las autoras en el programa Civil Cad.

$$R = 110 \text{ m}$$

Abscisa donde termina el bombeo normal: sección a-a'-a''

$$Abscisa = Abscisa \text{ PC} - 0.7 * Lt - N$$

$$Abscisa = 0 + 787.77 - 0.7 * 75 - 15 = 0 + 720.27 \text{ m}$$

Abscisa donde el carril exterior se aplana: sección b-b'-b''

$$Abscisa = Abscisa \text{ PC} - 0.7 * Lt$$

$$Abscisa = 0 + 787.77 - 0.7 * 75 = 0 + 735.27 \text{ m}$$

Abscisa donde el peralte es igual al bombeo: c-c'-c''

$$Abscisa = (Abscisa \text{ sección } b - b' - b'') + N$$

$$Abscisa = 0 + 735.27 + 15 = 0 + 750.27 \text{ m}$$

Abscisa donde empieza el peralte máximo: e-e'-e''

$$Abscisa = Abscisa \text{ PC} + 0.3 * Lt$$

$$Abscisa = 0 + 787.77 + 0.3 * 75 = 0 + 810.27 \text{ m}$$

Considerando que la abscisa es mayor que el PC de la curva, para este caso se recalcula las abscisas considerando una longitud mínima en la velocidad de diseño.

Tabla 20.

Transición mínima de peralte.

Velocidad de diseño km/h	Transición mínima absoluta m
50	28
60	34
70	39

Nota. Valores de transición del peralte. Elaborado por las autoras

Abscisa donde termina el bombeo normal: sección a-a'-a''

$$Abscisa = Abscisa\ PC - 0.7 * Lt - N$$

$$Abscisa = 0 + 787.77 - 0.7 * 34 - 15 = 0 + 748.97\ m$$

Abscisa donde el carril exterior se aplana: sección b-b'-b''

$$Abscisa = Abscisa\ PC - 0.7 * Lt$$

$$Abscisa = 0 + 787.77 - 0.7 * 34 = 0 + 763.97\ m$$

Abscisa donde el peralte es igual al bombeo: c-c'-c''

$$Abscisa = (Abscisa\ sección\ b - b' - b'') + N$$

$$Abscisa = 0 + 763.97 + 15 = 0 + 778.97\ m$$

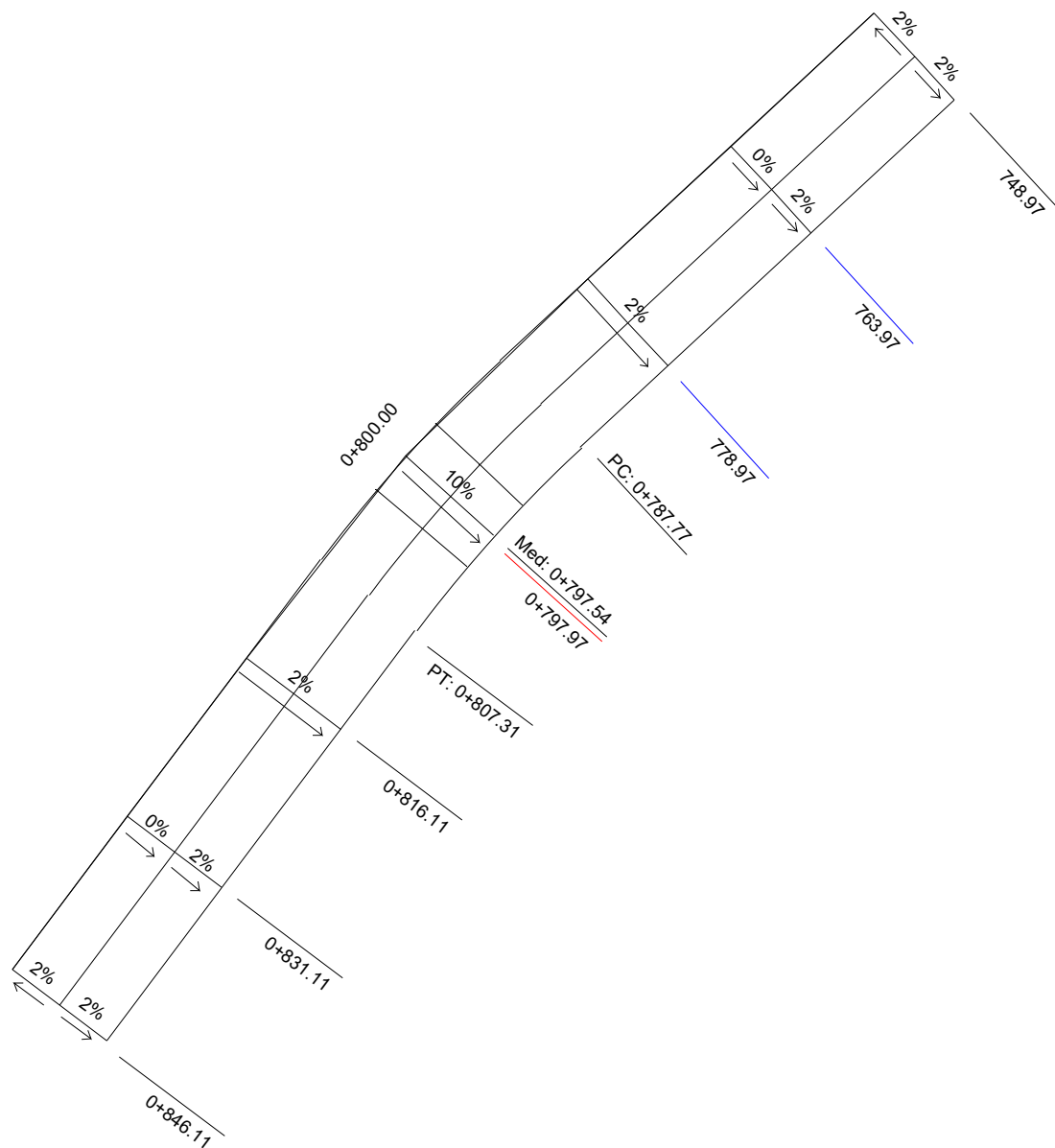
Abscisa donde empieza el peralte máximo: e-e'-e''

$$Abscisa = Abscisa\ PC + 0.3 * Lt$$

$$Abscisa = 0 + 787.77 + 0.3 * 34 = 0 + 797.97\ m$$

Figura 7.

Desarrollo de peralte curva abscisa 0+800.00



Nota. Se nota el desarrollo de peralte hasta alcanzar el máximo en el centro de la curva.

6.3.4. Distancia de visibilidad para parada vehicular

De acuerdo a la siguiente tabla, se presenta la distancia en la que es visible la parada de un vehículo, considerando las normas geométricas:

Tabla 21.*Distancia de visibilidad mínima para parada de un vehículo.*

Criterio de Diseño: Pavimentos mojados y Gradiente Horizontal (0%)							
Velocidad de Diseño-Vd (Kph)	Velocidad de Circulación Asumida - Vc (Kph)	Percepción + Reacción para Drenaje		Distancia de Drenaje "d2"	Distancia de Visibilidad para parada (d=d1+d2)		
		Tiempo (seg)	Distancia Recorrida "d" (m)		Gradiente Cero (m)	Calculada (m)	Redondeada (m)
20	20	2.5	13.89	0.47	3.36	17.25	20
25	24	2.5	16.67	0.44	5.12	21.78	25
30	28	2.5	19.44	0.42	7.29	26.74	30
35	33	2.5	22.92	0.4	10.64	33.56	35
40	37	2.5	5.69	0.39	13.85	39.54	40
45	42	2.5	29.17	0.37	18.53	47.7	50
50	46	2.5	31.94	0.36	22.85	54.79	55
60	55	2.5	38.9	0.35	34.46	72.65	70
70	63	2.5	43.75	0.33	47.09	90.84	90
80	71	2.5	49.31	0.32	62	111.3	110
90	79	2.5	54.86	0.31	79.25	134.11	135
100	86	2.5	59.72	0.30	96.34	156.06	160
110	92	2.5	63.89	0.30	112.51	176.4	180
120	100	2.5	71.53	0.29	145.88	217.41	220

Nota. Distancia de visibilidad mínima para la parada de vehículos. *Fuente:* MTOP, 2003

6.3.5. Distancia de visibilidad para rebasamiento vehicular

Las distancias visibles para el rebasamiento vehicular vienen expresadas de acuerdo a la velocidad y el diseño, por lo que se ha considerado lo indicado en la norma.

Tabla 22.

Distancia de visibilidad mínima para rebasamiento vehicular.

**ELEMENTOS DE LA DISTANCIA DE VISIBILIDAD PARA EL
REBASAMIENTO
EN CONDICIONES DE SEGURIDAD PARA CARRETERAS DE DOS
CARRILES**

Grupo de velocidades-Kph	48-64	64-80	80-96	96-112
Velocidad Promedio para Rebasamiento-Kph	56.00	70.00	84.00	99.00
Maniobra inicial:				
a = aceleración promedio-kph/seg	2.24	2.29	2.35	2.40
t1 = tiempo - seg	3.60	4.00	4.30	4.50
d1 = distancia recorrida - m	44.00	66.00	88.00	112.00
Ocupación del carril del lado izquierdo:				
t2 = tiempo - seg	9.30	10.00	1.70	11.30
d2 = distancia recorrida - m	145.00	196.00	251.00	313.00
Vehículo opuesto:				
d3 = distancia libre entre el vehículo rebasante y el vehículo opuesto	30.00	55.00	76.00	91.00
d4 = distancia recorrida - m	30.00	55.00	76.00	91.00
Distancia de visibilidad para rebasamiento - m				
dt = d1 + d2 + d3 + d4	316	448	583	725

Nota. Distancia de visibilidad mínima para la parada de vehículos. *Fuente:* MTOP, 2003

6.3.6. Sección vial

Para el TPDA obtenido de 249, las Normas Ecuatorianas viales del Ministerio de Transporte y Obras Públicas del Ecuador (MTOP NEVI-12, 2012), establecen que se clasifica como una carretera de 2 carriles tipo C2.

Tabla 23.

Clasificación de carreteras NEVI-12

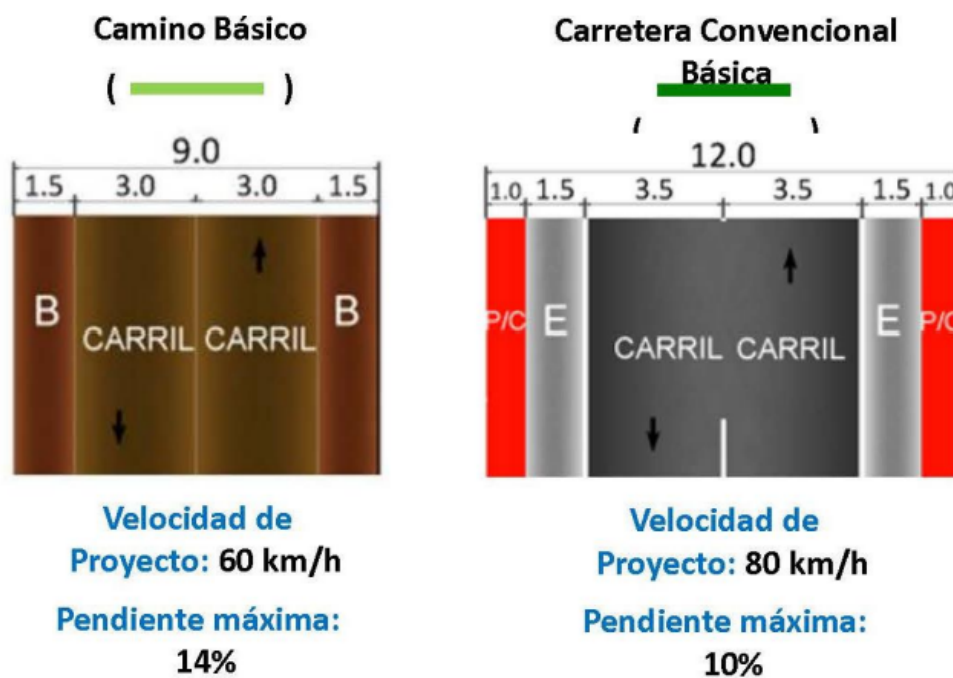
Tabla 2A.202-01 Clasificación funcional de las vías en base al TPDA			
Clasificación Funcional de las Vías en base al TPDA d			
Descripción	Clasificación Funcional	Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA _d) al año de horizonte	
		Límite Inferior	Límite Superior
Autopista	AP2	80000	120000
	AP1	50000	80000
Autovía o Carretera Multicarril	AV2	26000	50000
	AV1	8000	26000
Carretera de 2 carriles	C1	1000	8000
	C2	500	1000
	C3	0	500

Nota. Clasificación de carreteras. Fuente MTOP NEVI-12, 2012

Las carreteras tipo C2 equivalen a carreteras convencional básica y camino básico, el cual puede tener las siguientes secciones viales:

Figura 8.

Sección vial de proyecto



Nota. Elección de la sección vial del proyecto. Fuente MTOP NEVI-12, 2012

Este proyecto cuenta con una velocidad de diseño de 60 km/h se adopta la sección vial de 7.20 metros de ancho. Este ancho cumple con nuestros cálculos y sobre todo satisface a la necesidad de los usuarios.

6.3.7. Espaldones

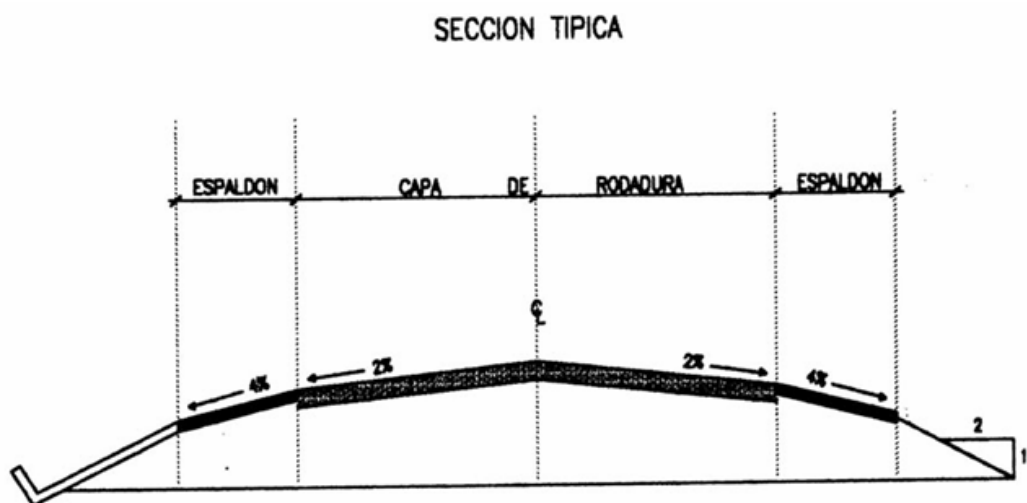
Según los requisitos de las Normas NEVI para el tipo de carretera del proyecto se deberá considerar espaldones de 60 cm en cada lado de la vía.

6.3.8. Pendiente transversal

Para la determinación de la pendiente transversal o también denominado bombeo se utiliza lo indicado en las normas de diseño geométrico del Ministerio de transporte y obras Públicas.

Figura 9.

Bombeo en tramos de tangente

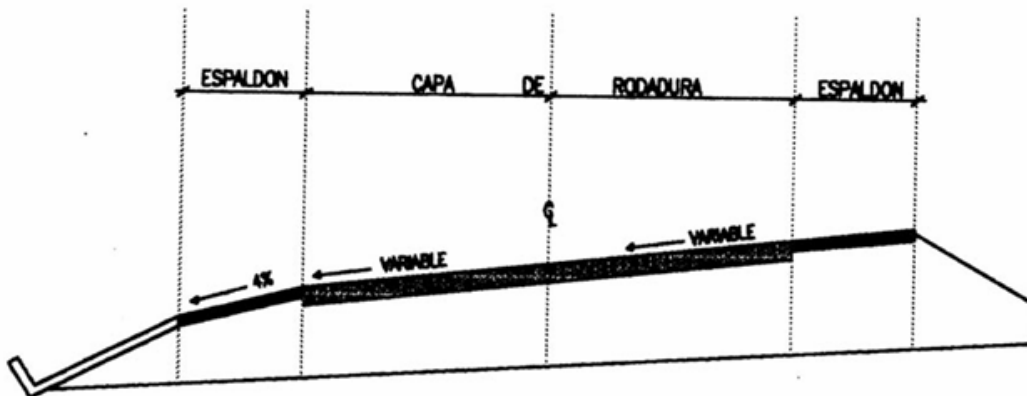


Nota. Sección típica del bombeo en el tramo de tangente. Fuente (MTOP NEVI-12, 2012)

Figura 10.

Bombeo en tramos curvos

SECCION TIPICA



Nota. Sección típica de bombeo en tramos curvos. Fuente (MTOP NEVI-12, 2012)

6.4. Alineamiento vertical

Para el alineamiento vertical se deben considerar valores máximos de la gradiente, según lo recomienda el (MINISTERIO DE TRANSPORTE Y OBRAS PUBLICAS, 2003).

Tabla 24.

Valores máximos para gradientes verticales.

VALORES DE DISEÑO DE LAS GRADIENTES LONGITUDINALES			MAXIMAS					
			(Porcentaje)					
Clase de Carretera			Valor Recomendable			Valor Absoluto		
			L	O	M	L	O	M
R--Io	R--II > 8000	TPDA	2	3	4	3	4	6
I	3000 a 8000	TPDA	3	4	6	3	5	7
II	1000 a 3000	TPDA	3	4	7	4	6	8
III	300 a 1000	TPDA	4	6	7	6	7	9
IV	100 a 300	TPDA	5	6	8	6	8	12
V	Menos de 100	TPDA	5	6	8	6	8	14

Nota. Valores máximos para las gradientes verticales. Fuente MTOP, 2003

6.4.1. Pendientes Longitudinales

En esta sección se analiza el alineamiento vertical del proyecto, verificando que las pendientes longitudinales de la rasante de diseño se encuentren dentro de los límites establecidos por la normativa ecuatoriana. La pendiente es un factor crítico que afecta directamente la velocidad de operación de los vehículos, el consumo de combustible, la seguridad y la capacidad de drenaje.

Criterios Normativos para la Pendiente Máxima

Para determinar la pendiente máxima aplicable al proyecto, se han considerado dos fuentes normativas principales:

- **Manual de Diseño Geométrico de Carreteras (MTOP, 2003)**, en su Tabla 24, establece para una carretera Clase IV en relieve ondulado una pendiente máxima recomendable del 6% y una máxima absoluta del 8%.
- **Norma Ecuatoriana Vial (NEVI-12, 2012)**, en la Figura 8 que define las secciones viales, asocia la sección de "Camino Básico" (9.0 m de ancho) con una pendiente máxima del 14%.

Se elige la sección transversal de "Camino Básico" de 9.0 metros de ancho; pero se considera 7.20 m de ancho en concordancia con la NEVI-12 por la velocidad de diseño de 60 km/h, se establece como criterio principal el límite máximo del **14%** estipulado en dicha norma, por ser la especificación más reciente y directamente asociada a la sección vial elegida.

Verificación de las Pendientes del Proyecto

A continuación, en la Tabla 26, se presentan las pendientes longitudinales diseñadas para los diferentes tramos del proyecto.

Tabla 25.*Pendientes longitudinales.*

Tramo	Abscisa inicial	Abscisa Final	Pendiente
1	0+000.00	0+599.39	10.56
2	0+599.39	0+859.78	4.95
3	0+859.78	1+445.77	11.49
4	1+445.77	1+782.07	14.37
5	1+782.07	1+900.00	2.22

Nota. Pendientes longitudinales para el proyecto. Elaborado por las Autoras

Como se observa en la tabla, las pendientes de la mayoría de los tramos se encuentran dentro del límite máximo del 14%. Sin embargo, el Tramo 4 presenta una pendiente de 14.37%, que excede ligeramente el valor normativo. Esta pendiente se ha mantenido en el diseño debido a las fuertes restricciones topográficas del terreno en esa zona específica, con el fin de optimizar el balance de volúmenes de corte y relleno y minimizar el impacto en las propiedades adyacentes. Se considera una excepción puntual justificada por las condiciones del sitio.

6.4.2. Curvas verticales

Tabla 26.

Resumen de curvas verticales

N° CURVA VERT.	ABSCISA		TIPO (cóncava o convexa)	S1	S2	Lv	A	K real	K min	CONCLU- SION
	PCV	PTV		%	%					
1	0+499	0+699	convexa	10.56	4.95	200	5.61	35.65	12	cumple
2	0+759.78	0+959.78	cóncava	4.95	11.49	200	-6.54	30.58	12	cumple
3	1+370.77	1+520.77	cóncava	11.49	14.22	150	-2.73	54.95	12	cumple
4	1+707.07	1+857.07	convexa	14.22	2.22	150	12	12.50	12	cumple

Nota. Resumen de las curvas verticales. Elaborado por las Autoras

6.4.3. Curva vertical convexa

En el proyecto se tienen 2 curvas verticales convexas las cuales deben cumplir con el siguiente valor mínimo de k.

Tabla 27.

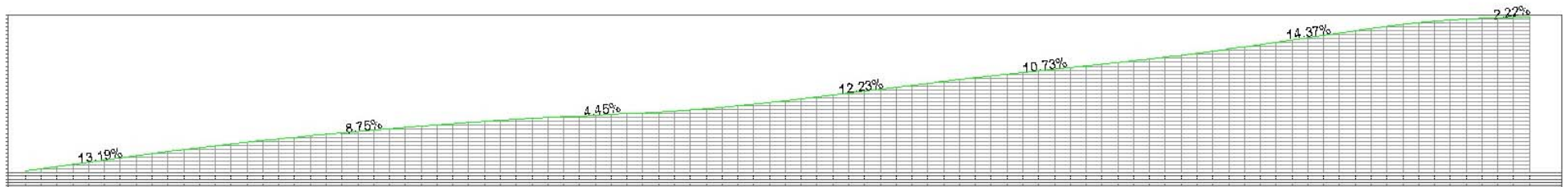
Valores mínimos de K para curvas verticales convexas.

Clase de Carretera			Valor Recomendable			Valor Absoluto		
			L	O	M	L	O	M
R--Io	R--II > 8000	TPDA	115	80	43	80	43	28
I	3000 a 8000	TPDA	80	60	28	60	28	12
II	1000 a 3000	TPDA	60	43	19	43	28	7
III	300 a 1000	TPDA	43	28	12	28	12	4
IV	100 a 300	TPDA	28	12	7	12	3	2
V	Menos de 100	TPDA	12	7	4	7	3	2

Nota. Valores mínimos para el coeficiente k para curvas conexas. Fuente MTOP, 2003

Figura 11.

Perfil longitudinal



Nota. Perfil longitudinal. Elaborado por las autoras en el programa Civil Cad

6.4.4. Curva vertical cóncava

En el proyecto se tienen 2 curvas verticales cóncavas las cuales deben cumplir con el siguiente valor mínimo de K.

Tabla 28.

Valores mínimos de K para curvas verticales cóncavas.

Clase de Carretera			Valor Recomendable			Valor Absoluto		
			L	O	M	L	O	M
R--Io	R--II > 8000	TPDA	115	80	43	80	43	28
I	3000 a 8000	TPDA	80	60	28	60	28	12
II	1000 a 3000	TPDA	60	43	19	43	28	7
III	300 a 1000	TPDA	43	28	12	28	12	4
IV	100 a 300	TPDA	28	12	7	12	3	2
V	Menos de 100	TPDA	12	7	4	7	3	2

Nota. Valores mínimos para el coeficiente k para curvas cóncavas. *Fuente* MTOP, 2003

A continuación, se presenta un resumen de los valores de K para las curvas verticales.

6.4.5. Corte y Relleno

Una vez definidos los alineamientos horizontal y vertical. Este análisis, es fundamental para estimar los costos de construcción, planificar la logística de la obra y optimizar el uso de los materiales excavados.

Para la determinación de los volúmenes de corte y relleno, se empleó el Método de las Áreas Medias (Average End Area Method). Este es el método más utilizado en la práctica de la ingeniería vial por su simplicidad y precisión aceptable.

El proceso se basa en los siguientes pasos:

Generación de Secciones Transversales: Utilizando un software de diseño asistido por computador (CAD), se generaron secciones transversales a lo largo del eje del proyecto. Estas secciones se crearon a intervalos regulares de 10 metros en las tangentes y de 10 metros en las curvas, así como en los puntos de inicio y fin de las mismas.

Cálculo de Áreas: En cada sección transversal, el software superpone el perfil del terreno natural (obtenido del levantamiento topográfico) con la sección de proyecto diseñada (rasante y sección vial típica).

El área de corte es la superficie en la que la sección de proyecto se encuentra por debajo del terreno natural.

El área de relleno es la superficie en la que la sección de proyecto se encuentra por encima del terreno natural.

Cálculo de Volúmenes: El volumen de material entre dos secciones transversales consecutivas se calcula promediando las áreas de las dos secciones y multiplicando el resultado por la distancia (L) que las separa.

La fórmula aplicada es:

$$V=(2A1+A2) \times L$$

Donde:

V Volumen (de corte o relleno) en m³.

A1 Área de la sección transversal en la abscisa inicial en m².

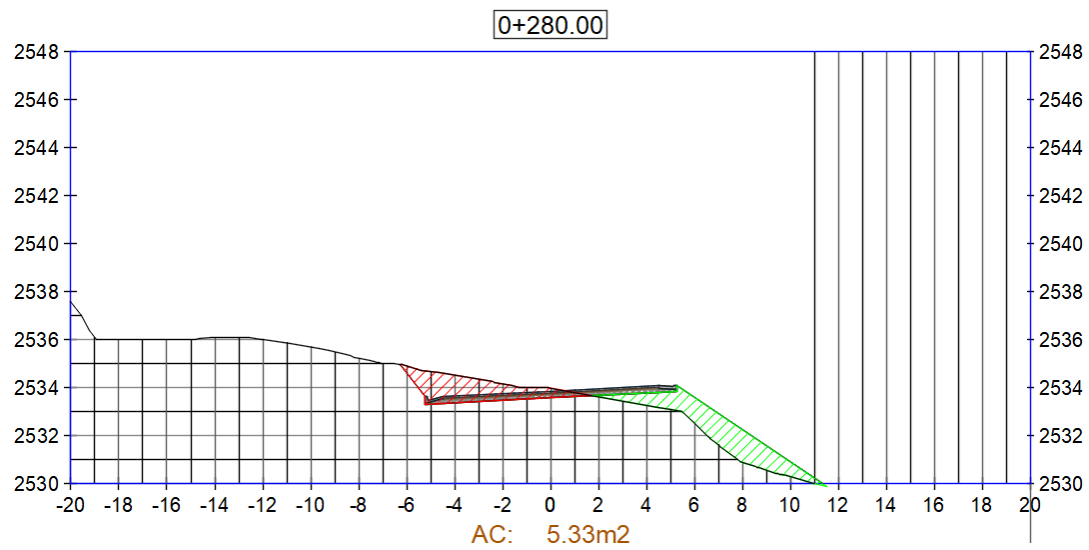
A2 Área de la sección transversal en la abscisa final en m².

L Distancia entre las dos abscisas en m.

Para nuestro proyecto para facilitar este procedimiento obtenemos los datos mediante CIVIL CAD. Los cuales se encuentran en el apartado de anexos.

Figura 12.

Ejemplo de modelo de corte y relleno



Nota. Modelo de un corte y relleno en la vía. Elaborado por las autoras en el programa Civil Cad

CAPÍTULO VII

DISEÑO ESTRUCTURAL DE LA VÍA

7.1. Estudio geotécnico

El estudio de tipo geotécnico en el presente proyecto consiste en realizar calicatas de las cuales se extrajeron muestras para realizar pruebas que permitan obtener las características siguientes del suelo:

- Granulometría
- Contenido de humedad
- Límite líquido
- Límite plástico
- Índice de plasticidad
- Compactación Proctor

7.2.Exploración y muestreo

Tiene como objetivo principal caracterizar las propiedades mecánicas y físicas del suelo que sirvieron como subrasante para la vía¹. Un conocimiento preciso del terreno es indispensable para realizar un diseño estructural.

Planificación de la Exploración

La selección de los puntos de exploración se realizó siguiendo las recomendaciones del Manual de Diseño del Ministerio de Transporte y Obras Públicas, el cual sugiere realizar un sondeo a una distancia de entre 200 y 500 metros para vías nuevas.

Considerando la longitud del proyecto de 1.9 km y la variabilidad observada en el terreno, se determinó la ejecución de tres (3) calicatas a cielo abierto. Estos puntos fueron distribuidos estratégicamente a lo largo del alineamiento para obtener una caracterización representativa de los diferentes tipos de suelo presentes en el corredor vial.

Método de Exploración y Trabajo en Campo

El método de exploración seleccionado fue la excavación de calicatas, ya que permite una inspección visual directa de los estratos del suelo, y también las pruebas necesarias para los ensayos de laboratorio planificados.

El trabajo en campo consistió en lo siguiente:

Excavación: Se excavaron tres calicatas con tamaños aproximados de 1.50 m x 1.00 m, alcanzando una profundidad de 1.50 metros por debajo del nivel del terreno actual. Esta profundidad se consideró adecuada para analizar el material que conformará la subrasante de la nueva estructura vial.

Registro Estratigráfico: Durante la excavación, se realizó un registro detallado de los diferentes estratos de suelo encontrados, describiendo sus características organolépticas como color, textura, humedad aparente, plasticidad y compacidad.

Toma de Muestras: De cada calicata, se tomaron muestras alteradas representativas del estrato que se proyecta como capa de subrasante. Se recolectó un aproximado de 50 kg de material por cada punto de muestreo para garantizar la cantidad suficiente para la ejecución de todos.

Preservación y Transporte: Las muestras extraídas fueron debidamente identificadas en campo con etiquetas que indicaban el nombre del proyecto, el número de la calicata, la profundidad y la fecha de muestreo. Posteriormente, fueron depositadas en sacos de polietileno sellados para preservar su humedad natural durante el transporte al laboratorio.

7.3. Estudio de la subrasante

Una subrasante de buena calidad puede absorber eficientemente los esfuerzos transmitidos por el tránsito, garantizando la durabilidad y previniendo fallas prematuras

como agrietamientos o deformaciones. Por el contrario, una subrasante débil o inestable requerirá capas de pavimento de mayor espesor y costo para compensar sus deficiencias.

Los parámetros específicos que se evalúan en el laboratorio son los siguientes:

Clasificación del Suelo: Se busca identificar el tipo de suelo según los sistemas de clasificación estandarizados SUCS y AASHTO. Esta clasificación se basa en la distribución granulométrica (análisis de tamices) y en las propiedades de plasticidad (Límites de Atterberg), permitiendo predecir el comportamiento general del material, especialmente en presencia de agua.

Características de Compactación: Mediante el ensayo Proctor, se determina la relación entre el contenido de humedad y la densidad del suelo. El objetivo es encontrar la humedad óptima a la cual el suelo alcanza su densidad seca máxima al ser compactado. Este parámetro es fundamental, ya que la subrasante en obra deberá ser compactada hasta un alto porcentaje de esta densidad para asegurar su resistencia y estabilidad.

Capacidad de Soporte (CBR): El ensayo del Californian Bearing Ratio (CBR) es el indicador clave que mide la resistencia del suelo bajo condiciones controladas de humedad y densidad. El valor de CBR obtenido es un dato de entrada indispensable para los métodos de diseño de espesores de pavimento, ya que representa numéricamente la calidad de la subrasante como capa de soporte.

Los resultados de estos ensayos, que se detallan en las secciones siguientes, proporcionarán los datos geotécnicos necesarios para proceder con el diseño estructural de la vía, garantizando que la solución sea técnica y económicamente viable.

7.4. Estudios de laboratorio

7.4.1. Tipos de ensayos

Los ensayos realizados se resumen a continuación:

- Para granulometría se utilizó el ensayo de análisis granulométrico por tamizado y sedimentación con la norma técnica ASTM D422

- Para el contenido de humedad se utilizó el ensayo de determinación del contenido de humedad por secado en horno con la norma técnica D2216
- Para el límite líquido se utilizó el ensayo del dispositivo de Casagrande bajo la norma técnica ASTM D4318
- Para el límite plástico se consideró el ensayo de límite plástico bajo la norma ASTM D4318
- El índice de plasticidad se obtiene mediante la resta del límite plástico con el límite líquido.
- Finalmente, para la compactación se utilizó el Ensayo Proctor Modificado bajo la norma ASTM D1557.

7.4.1.1. Contenido de humedad

Se han obtenido los siguientes resultados de las muestras ensayadas:

➤ Calicata 1

Tabla 29.

Contenido de humedad Calicata 1

Cápsula N°	Masa capsula	Masa capsula + M. Humedad (g)	Masa capsula + M. Seca(g)	Masa Agua	Masa seca	% Humedad
89	25,8	73,2	69,28	3,92	43,48	9,02
7M	27,45	85,3	80,38	4,92	52,93	9,30

Nota. Tabla extraída de las hojas del laboratorio. Elaborado por las Autoras

➤ Calicata 2

Tabla 30.

Contenido de humedad calicata 2

Capsula N°	Masa capsula	Masa capsula + M. Humedad (g)	Masa capsula + M. Seca(g)	Masa Agua	Masa seca	% Humedad
83	29,99	77,98	73,27	4,71	43,28	10,88
J18	27,9	81,39	75,98	5,41	48,08	11,25

Nota: tabla extraída de las hojas del laboratorio. Elaborado por las Autoras

➤ Calicata 3

Tabla 31.

Contenido de humedad Calicata

Capsula N°	Masa capsula	Masa capsula + M. Humedad(g)	Masa capsula + M. Seca(g)	Masa Agua	Masa seca	% Humedad
72	27,85	78,92	73,81	5,11	45,96	11,12
46	26,69	74,3	69,53	4,77	42,84	11,13

Nota: tabla extraída de las hojas del laboratorio. Elaborado por las Autoras

Se ha obtenido que el contenido de humedad en las muestras obtenidas se encuentra en el rango de 20.84 hasta 40.15%.

7.4.1.2. Granulometría

Se han obtenido los siguientes resultados de las muestras ensayadas:

➤ Calicata 1

Tabla 32.

Granulometría calicata 1

ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMICES						
Tamiz N°	Abertura (mm)	Masa Retenida Acumulada (g)	% Acumulado	Ret.	% que pasa	—
N°10	2	3.3	0.965		99.035	
N°40	0.425	13.23	3.868		96.132	
N°200	0.075	110.58	32.329		67.671	

Nota. Tabla extraída de las hojas del laboratorio. Elaborado por las Autoras

➤ Calicata 2

Tabla 33.

Granulometría calicata 2

ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMICES						
Tamiz N°	Abertura (mm)	Masa Retenida Acumulada (g)	% Acumulado	Ret.	% que pasa	—
N°10	2	0.55	0.167		99.833	
N°40	0.425	8.6	2.616		97.384	
N°200	0.075	100.32	30.516		69.484	

Nota. Tabla extraída de las hojas del laboratorio. Elaborado por las Autoras

- Calicata 3

Tabla 34.

Granulometría calicata 3

ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMICES							
Tamiz N°	Abertura (mm)	Masa Acumulada (g)	Retenida	% Acumulado	Ret.	% que pasa	que
N°10	2	0.65		0.205		99.795	—
N°40	0.425	7.98		2.511		97.489	
N°200	0.075	110.88		34.890		65.110	

Nota. Tabla extraída de las hojas del laboratorio. Elaborado por las Autoras

7.4.2. Límites de Atterberg

7.4.2.1. Límite líquido

Se han obtenido los siguientes resultados:

- Calicata 1

ASTM D4318
METODO B un solo punto

Tabla 35.

Límites de Atterberg calicata 1

LIMITE LIQUIDO							
N° de golpes	Capsula N°	Masa capsula	Masa capsula + M. Humedad(g)	Masa capsula + M. Seca(g)	Masa Agua	Masa seca	% Humedad
26	80	21.05	33.54	30.78	2.76	9.73	28.37

Nota. Tabla extraída de las hojas del laboratorio. Elaborado por las Autoras

Límite líquido calicata 1

$$LL = W + K * \log_{10}(N)$$

W=	contenido humedad	0.125
K=	0.12 Y 0.13	
N=	Numero de golpes	

LL=	28.543
------------	--------

➤ Calicata 2

ASTM D4318 METODO B un solo punto
--

Tabla 36.

Límites de Atterberg calicata 2

LÍMITE LIQUIDO							
Nº de golpes	Capsula Nº	Masa capsula	Masa capsula + M. Humedad(g)	Masa capsula + M. Seca(g)	Masa Agua	Masa seca	% Humedad
23	75L	21.36	36.5	33.44	3.06	12.08	25.33

Nota. Tabla extraída de las hojas del laboratorio. Elaborado por las Autoras

$$LL = W + K * \log_{10}(N)$$

W=	contenido humedad	0.125
K=	0.12 Y 0.13	
N=	Numero de golpes	

LL=	25.501
-----	--------

➤ Calicata 3

ASTM D4318
METODO B un solo punto

Tabla 37.

Límites de Atterberg calicata 3

LIMITE LIQUIDO							
Nº de golpes	Capsula Nº	Masa capsula	Masa capsula + M. Húmeda(g)	Masa capsula + M. Seca(g)	Masa Agua	Masa seca	% Humedad
25	96	21.34	36.57	33.56	3.01	12.22	24.63

Nota: tabla extraída de las hojas del laboratorio. Elaborado por las Autoras

$$LL = W + K * \log_{10}(N)$$

W=	contenido humedad	0.125
K=	0.12 Y 0.13	
N=	Número de golpes	

LL=	24.806
-----	--------

7.4.2.2.Límite plástico

Se han obtenido los siguientes resultados:

➤ Calicata 1

Tabla 38.

Límites plástico calicata 1

LIMITE PLASTICO						
Capsula Nº	Masa capsula	Masa capsula + M. Húmeda(g)	Masa capsula + M. Seca(g)	Masa Agua	Masa seca	% Humedad
49	21.07	25.04	24.38	0.66	3.31	19.94
78	21.29	27.48	26.41	1.07	5.12	20.90

Nota. Tabla extraída de las hojas del laboratorio. Elaborado por las Autoras

LP =	20.419
------	--------

➤ Calicata 2

Tabla 39.

Límites plástico calicata 2

LIMITE PLASTICO						
Capsula N°	Masa capsula	Masa capsula + M. Humedad(g)	Masa capsula + M. Seca(g)	Masa Agua	Masa seca	% Humedad
82R	21.09	27.07	26.16	0.91	5.07	17.95
64	21.28	24.24	23.78	0.46	2.5	18.40

Nota. Tabla extraída de las hojas del laboratorio. Elaborado por las Autoras

LP=	18.174
------------	--------

➤ Calicata 3

Tabla 40.

Límites plástico calicata 3

LIMITE PLASTICO						
Capsula N°	Masa capsula	Masa capsula + M. Húmeda(g)	Masa capsula + M. Seca(g)	Masa Agua	Masa seca	% Humedad
73	21.64	27.17	26.3	0.87	4.66	18.67
49	21.12	24.95	24.34	0.61	3.22	18.94

Nota. Tabla extraída de las hojas del laboratorio. Elaborado por las Autoras

LP=	18.807
------------	--------

Respecto al límite plástico se han obtenido valores para las muestras desde **18.81** hasta **20.42%**.

1.1.1.3. Índice de plasticidad

Se muestra el resumen de los datos obtenidos:

Tabla 41.

Índice de plasticidad

INDICE DE PLASTICIDAD	
Calicata	IP
1	8.124
2	7.327
3	6.000

Nota. Tabla extraída de las hojas del laboratorio. Elaborado por las Autoras

7.5. Clasificación de suelos

7.5.1. Método de clasificación SUCS

Según la Sistema Unificado de Clasificación de Suelos existen los siguientes tipos de suelos:

Tabla 42.

Datos obtenidos para la clasificación SUCS

Calicata	Granulometría (pasa)			(% Humedad %)	Límites Atterberg			de Clasificación
	10	40	200		LL	LP	IP	
1	99.035	96.132	67.671	9.155	28.5	20.4	8.1	CL
2	99.833	97.384	69.484	11.067	25.5	18.2	7.3	CL
3	99.795	97.489	65.110	11.126	24.8	18.8	6.0	ML

Nota. Tabla extraída de las hojas del laboratorio. Elaborado por las Autoras

7.5.2. Método clasificación AASHTO

Según el sistema de clasificación AASHTO se tiene los siguientes tipos de suelo por calicata:

Tabla 43.

Datos obtenidos para la clasificación AASHTO

Calicata	Granulometría (pasa)			Humedad (% %)	Límites Atterberg			de Clasificación
	10	40	200		LL	LP	IP	
1	99.035	96.132	67.671	9.155	28.5	20.4	8.1	A6 -IG (4)
2	99.833	97.384	69.484	11.067	25.5	18.2	7.3	A4 - IG (3)
3	99.795	97.489	65.110	11.126	24.8	18.8	6.0	A4 - IG (0)

Nota. Tabla extraída de las hojas del laboratorio. Elaborado por las Autoras

7.5.3. Obtención del Californian Bearing Ratio (CBR)

Como parte del proceso de obtención del CBR es necesario conocer las propiedades como densidad seca máxima y humedad óptima de la subrasante. En ese sentido se realiza el ensayo Proctor de compactación para obtener estos parámetros, a continuación, se muestran los resultados obtenidos de las 3 calicatas ensayadas:

- Calicata 1

Tabla 44.

Ensayo de compactación Proctor Calicata 1

ENSAYO DE COMPACTACION PROCTOR							
N° DE CAPAS	N° GOLPES / CAPA	MASA DEL MARTILLO	ALT. DE CAIDA	MASA INICIAL DE LA MUESTRA (g)			
5	25			3000			

PUNTO N°	1		2		3		4	
Agua Agregada ml	0		60		60		60	
Agua Agregada %	0		2		2		2	
Masa suelo humedo + molde	8118		8230		8252		8218	
Masa del molde	6346		6346		6346		6346	
Masa suelo humedo	1772		1884		1906		1872	
Volumen del molde	935		935		935		935	
Densidad Humeda	1.895		2.015		2.039		2.002	

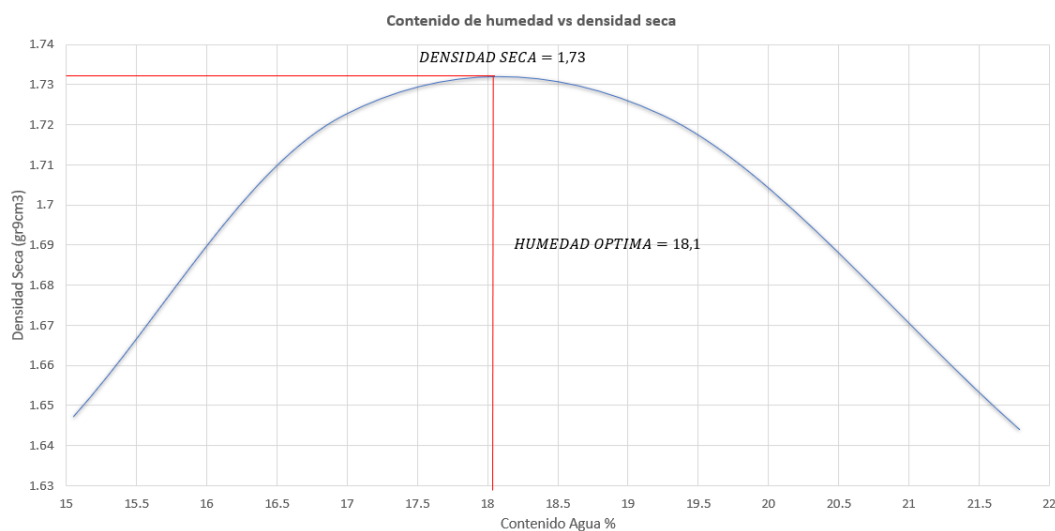
CONTENIDO DE AGUA								
Capsula N°	67	O14	O65	28	44	246	5	25
Cap. + suelo humedo	93.03	97.55	98.03	91.37	95.25	96.51	110.75	111.01
Cap. + suelo seco	84.37	88.47	87.79	82.16	84.36	85.36	96.04	95.49
Masa capsula	26.58	28.42	27.74	27.68	27.69	27.49	28.31	24.46
Masa del agua	8.66	9.08	10.24	9.21	10.89	11.15	14.71	15.52
Masa suelo seco	57.79	60.05	60.05	54.48	56.67	57.87	67.73	71.03
Contenido de agua (%)	14.985	15.121	17.052	16.905	19.217	19.267	21.719	21.850
Prom. Cont. Agua	15.053		16.979		19.242		21.784	
Densidad seca	1.647		1.723		1.723		1.644	

DENSIDAD SECA MAXIMA	1.730
AGUA OPTIMA	18.100

Nota. Tabla extraída de las hojas del laboratorio. Elaborado por las Autoras

Figura 13.

Contenido de humedad vs densidad seca calicata 1



Nota. Tabla extraída de las hojas del laboratorio. Elaborado por las Autoras

➤ Calicata 2

Tabla 45.

Ensayo de compactación Proctor Calicata 2

ENSAYO DE COMPACTACION PROCTOR				
N° DE CAPAS	N° GOLPES / CAPA	MASA DEL MARTILLO	ALT. DE CAIDA	MASA INICIAL DE LA MUESTRA (g)
5	25			3000

PUNTO N°	1	2	3	4
Agua Agregada ml	0	60	60	60
Agua Agregada %	0	2	2	2
Masa suelo humedo + molde	8094	8150	8276	8234
Masa del molde	6346	6346	6346	6346
Masa suelo humedo	1772	1884	1906	1872
Volumen del molde	935	935	935	935
Densidad Humeda	1.895	2.015	2.039	2.002

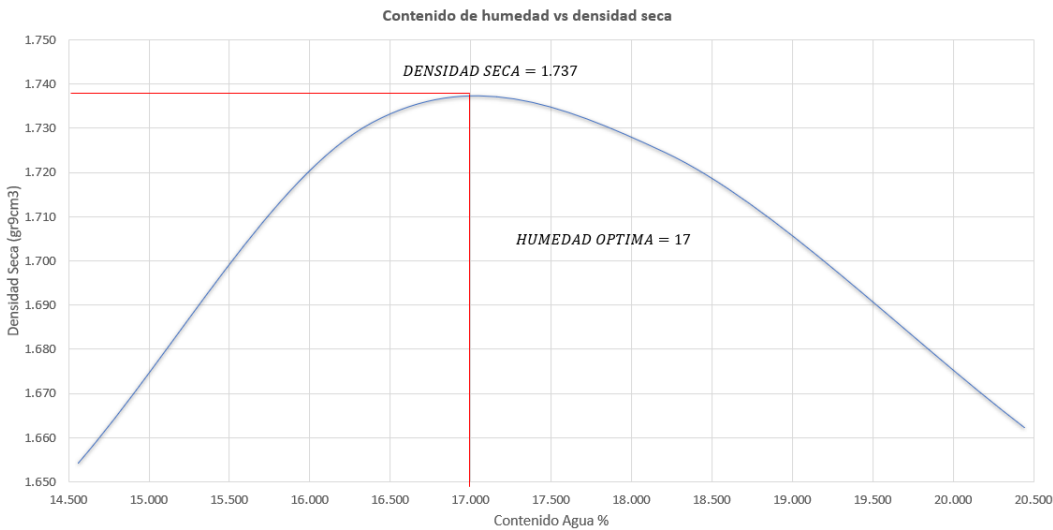
CONTENIDO DE AGUA								
Capsula N°	O16	7M	46	83	O99	302	1015	89
Cap. + suelo humedo	88.39	91.52	92.3	103.14	89.1	91.64	98.89	98.49
Cap. + suelo seco	80.73	83.39	83.03	92.88	79.52	81.88	86.88	86.1
Masa capsula	28.17	27.48	26.69	30	26.89	28.27	27.85	25.77
Masa del agua	7.66	8.13	9.27	10.26	9.58	9.76	12.01	12.39
Masa suelo seco	52.56	55.91	56.34	62.88	52.63	53.61	59.03	60.33
Contenido de agua (%)	14.574	14.541	16.454	16.317	18.203	18.206	20.346	20.537
Prom. Cont. Agua	14.558		16.385		18.204		20.441	
Densidad seca	1.654		1.731		1.725		1.662	

DENSIDAD SECA MAXIMA	1.737
AGUA OPTIMA	17.000

Nota. Tabla extraída de las hojas del laboratorio. Elaborado por las Autoras

Figura 14.

Contenido de humedad vs densidad seca calicata 2



Nota. Tabla extraída de las hojas del laboratorio. Elaborado por las Autoras

➤ Calicata 3

Tabla 46.

Ensayo de compactación Proctor Calicata 3

ENSAYO DE COMPACTACION PROCTOR				
N° DE CAPAS	N° GOLPES / CAPA	MASA DEL MARTILLO	ALT. DE CAIDA	MASA INICIAL DE LA MUESTRA (g)
5	25			3000

PUNTO N°	1	2	3	4
Agua Agregada ml	0	60	60	60
Agua Agregada %	0	2	2	2
Masa suelo humedo + molde	8094	8150	8276	8234
Masa del molde	6346	6346	6346	6346
Masa suelo humedo	1772	1884	1906	1872
Volumen del molde	935	935	935	935
Densidad Humeda	1.895	2.015	2.039	2.002

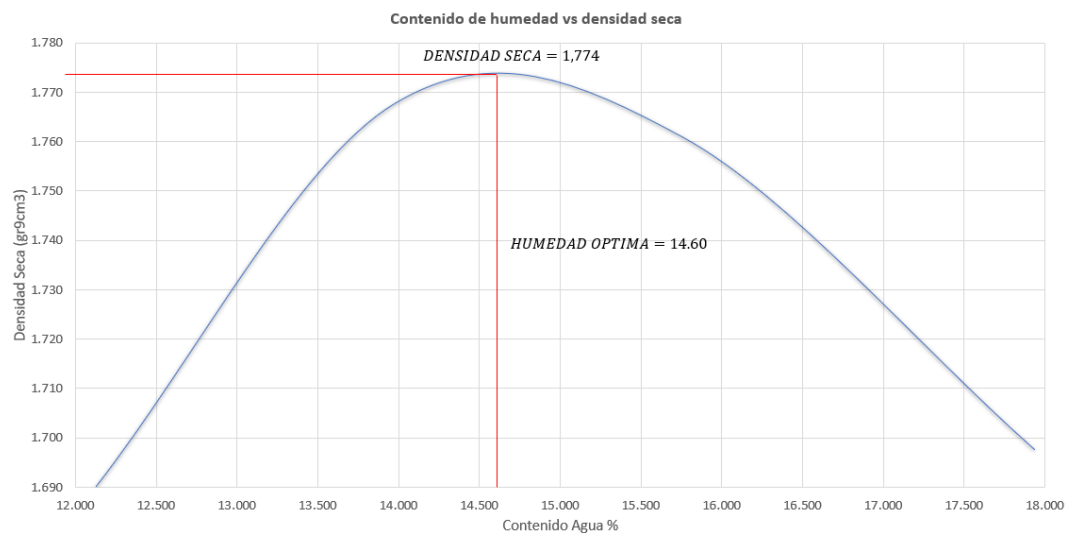
CONTENIDO DE AGUA							
Capsula N°	39	29	301	318	238	72	228
Cap. + suelo humedo	82.55	83.46	86.82	99.91	95.81	91.17	102.84
Cap. + suelo seco	76.79	77.31	79.52	91.03	86.48	82.59	91.28
Masa capsula	29.02	26.91	26.85	28.05	27.58	27.85	26.77
Masa del agua	5.76	6.15	7.3	8.88	9.33	8.58	11.56
Masa suelo seco	47.77	50.4	52.67	62.98	58.9	54.74	64.51
Contenido de agua (%)	12.058	12.202	13.860	14.100	15.840	15.674	17.920
Prom. Cont. Agua	12.130		13.980		15.757		17.937
Densidad seca	1.690		1.768		1.761		1.698

DENSIDAD SECA MAXIMA	1.774
AGUA OPTIMA	14.600

Nota. Tabla extraída de las hojas del laboratorio. Elaborado por las Autoras

Figura 15.

Contenido de humedad vs densidad seca calicata 3



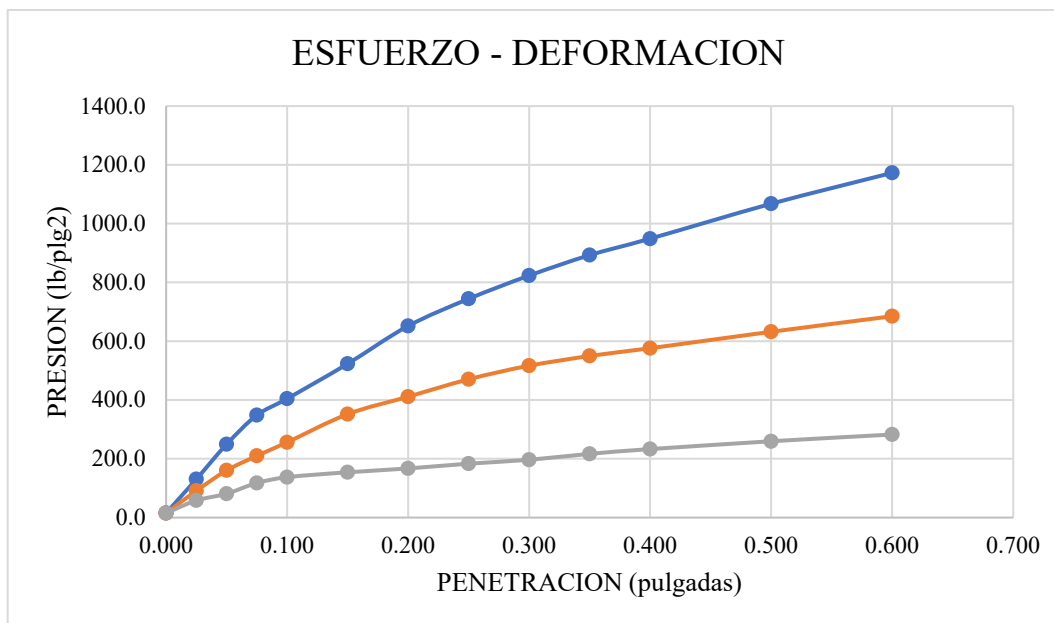
Nota. Tabla extraída de las hojas del laboratorio. Elaborado por las Autoras

A continuación, se muestran los diagramas de Penetración vs Presión por cada ensayo CBR realizado.

➤ CBR 1

Figura 16.

Penetración vs Presión, CBR 1



Nota. Tabla extraída de las hojas del laboratorio. Elaborado por las Autoras

Tabla 47.

Resumen de valores CBR 1

VALORES CORREGIDOS			
Nº Golpes	C.B.R - 0,1"		DENS. SECA
	presión	CBR	
56	383,68	38,4	1,563
25	259,86	26,0	1,490
10	85,83	8,6	1,353

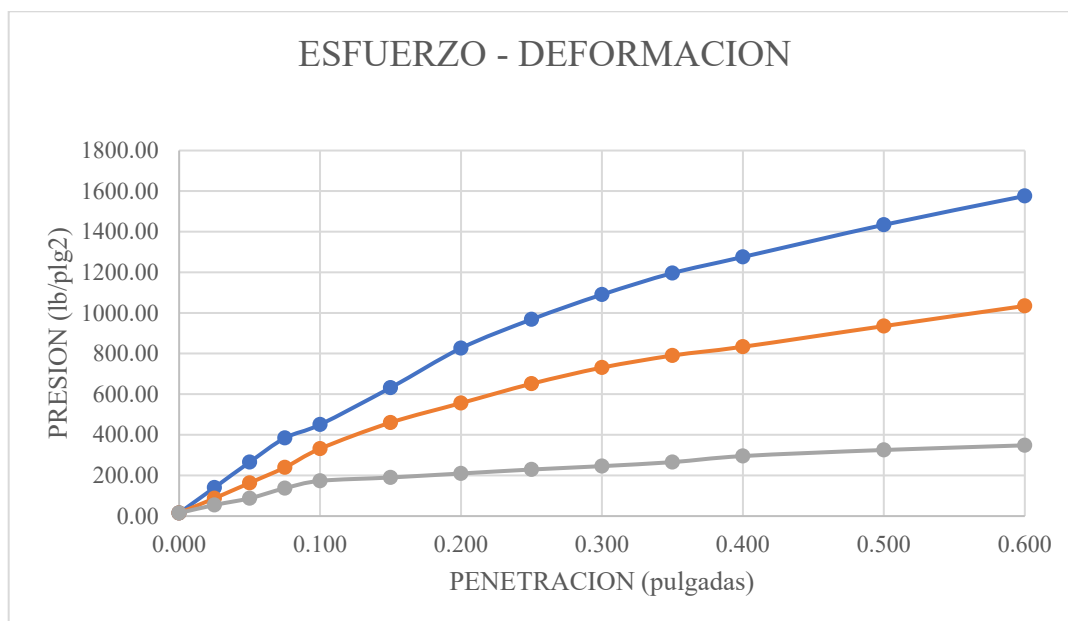
Nº Golpes	C.B.R - 0,2"		DENS. SECA
	presión	CBR (%)	
56	661,46	44,1	1,563
25	460,66	30,7	1,490
10	169,50	11,3	1,353

Nota. Tabla extraída de las hojas del laboratorio. Elaborado por las Autoras

➤ CBR 2

Figura 17.

Penetración vs Presión, CBR 2



Nota. Tabla extraída de las hojas del laboratorio. Elaborado por las Autoras

Tabla 48.

Resumen de valores CBR 2

VALORES CORREGIDOS			
Nº Golpes	C.B.R - 0,1"		DENS. SECA
	presión	CBR	
56	457,31	45,7	1,708
25	336,83	33,7	2,153
10	176,19	17,6	2,055

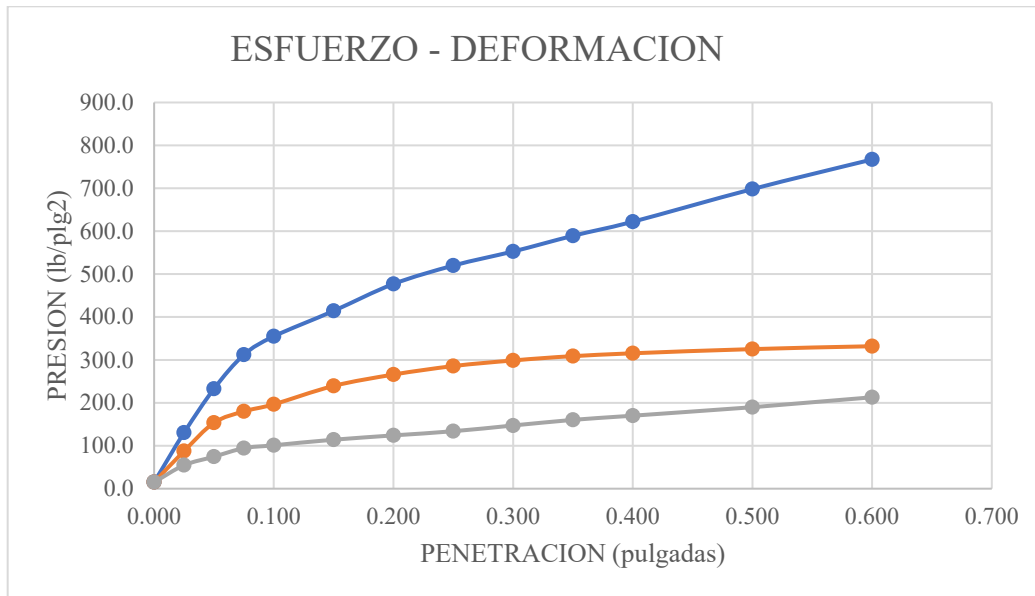
Nº Golpes	C.B.R - 0,2"		DENS. SECA
	presión	CBR (%)	
56	838,83	55,9	1,708
25	564,40	37,6	2,153
10	213,00	14,2	2,055

Nota. Tabla extraída de las hojas del laboratorio. Elaborado por las Autoras

➤ CBR 3

Figura 18.

Penetración vs Presión, CBR 3



Nota. Tabla extraída de las hojas del laboratorio. Elaborado por las Autoras

Tabla 49.

Resumen de valores CBR 3

VALORES CORREGIDOS			
Nº Golpes	C.B.R - 0,1"		
	presión	CBR	DENS. SECA
56	360,26	36,0	1,744
25	199,62	20,0	1,587
10	102,56	10,3	1,462

Nº Golpes	C.B.R - 0,2"		
	presión	CBR (%)	DENS. SECA
56	484,08	32,3	1,744
25	269,90	18,0	1,587
10	125,99	8,4	1,462

Nota. Tabla extraída de las hojas del laboratorio. Elaborado por las Autoras

Tabla 50.

Clasificación del Suelo según su CBR

CBR %	CLASIFICACIÓN
0 a 5	Subrasante Muy Mala
5 a 10	Subrasante Mala
10 a 20	Subrasante Regular a Mala
20 a 30	Subrasante Muy Buena
30 a 50	Sub-Base Buena
50 a 80	Base Buena
80 a 100	Base Muy Buena

Nota. Clasificación del suelo según el CBR. Fuente ASTM D05 American Society of Testing Materials (1883)

Tabla 51.

Datos obtenidos del ensayo CBR

CBR	
Calicata	CBR 95%
1	28
2	34
3	31

Nota. Tabla extraída de las hojas del laboratorio. Elaborado por las Autoras

Tomando en cuenta en rango de valores de la tabla 50, se trata de un suelo con un buen CBR, que se entiende como un material en buenas condiciones lo cual nos evita calcular el mejoramiento en una de las capas del pavimento.

7.6.Diseño del pavimento

7.6.1. Método de diseño

Este diseño se realiza por el método AASHTO 93, que es creado por la Asociación Americana de Funcionarios de Carreteras y Transporte (AASHTO) en cual es un conjunto de normas y procesos utilizados para evaluar las vías.

Este método considera el estudio del tráfico, las condiciones del suelo y los cálculos que son necesarios para asegurar la seguridad y durabilidad de la vía.

7.6.2. Tipo de pavimento

De acuerdo a lo recomendado en la normativa MTOP (2003), con los datos obtenidos, con el perfil longitudinal de la vía y además el tráfico de diseño proyectado es bajo se ha optado por un pavimento articulado.

En este pavimento rígido se opta por colocar adoquines de hormigón con un patrón específico de resistencia, durabilidad y aspecto estético confortable. Suelen ser utilizados en zonas urbanas principalmente por su capacidad de soportar cargas pesadas y sin comprometer si integridad resisten el desgaste.

7.6.2.1. Estructura del pavimento

Debido a que la capa de rodadura es de adoquines la existe una buena distribución de las cargas.

La cama de arena que va entre 3 a 5 cm distribuye las cargas lo cual reduce la concentración de las tensiones en la subbase.

Si la subbase garantiza una buena capacidad portante no es necesaria la base granular. Además del resultado del tráfico proyectado para el año 2040 es pequeño esta es una razón más para que la subbase sea suficiente para resistir las tensiones del tráfico.

Según la normativa si está permitido el uso únicamente de la subbase para pavimentos articulados para un tráfico ligero o moderado. También la normativa no exige la capa granular si las condiciones del terreno son óptimas en nuestro caso obtuvimos un CBR=31% que este valor entra dentro de un rango adecuado.

7.6.2.2. Número de ejes equivalentes (ESALs)

Estos valores se los puede apreciar en las tablas 12, 13 y 14.

7.6.3. Módulo resiliente (M_r)

El módulo resiliente evalúa las propiedades mecánicas de la subrasante mediante su comportamiento no lineal.

7.6.3.1. Subrasante

Siguiendo la fórmula de la normativa AASHTO (1993) y tomando en cuenta que el valor promedio del CBR = 31%, se realiza el cálculo de M_r .

$$\text{Si } CBR > 20\%; M_r = 4326 * \ln CBR + 241(\text{psi})$$

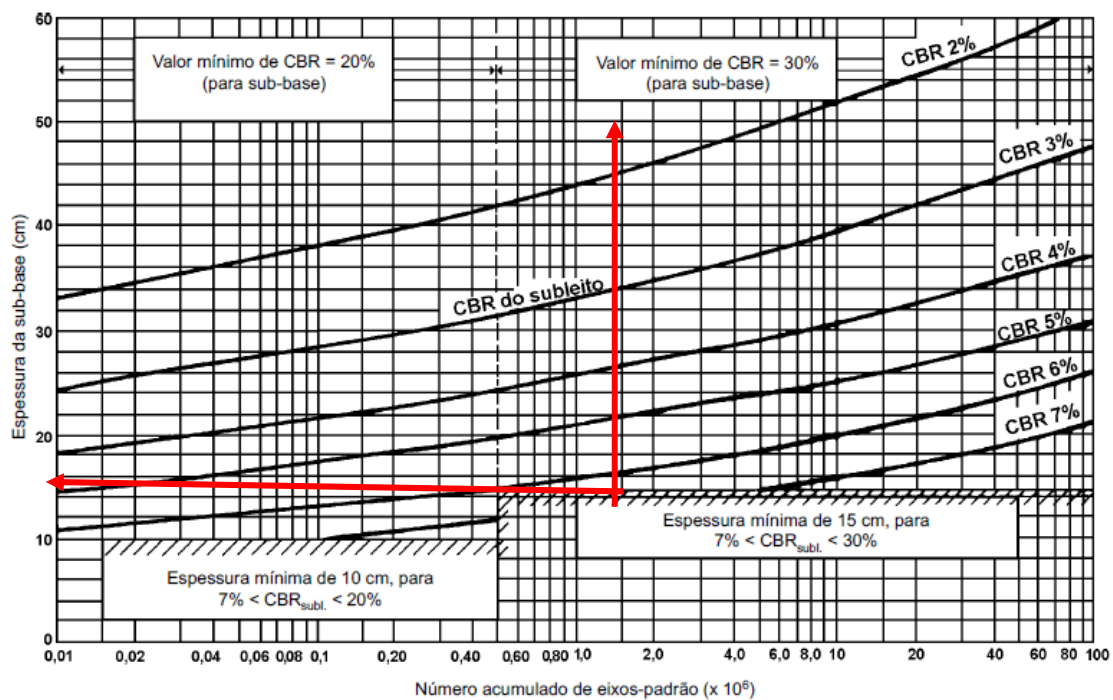
$$M_r = 4326 * \ln(31) + 241(\text{psi}) = 15096.429 \text{ psi}$$

7.6.3.2. Subbase

De acuerdo con las recomendaciones del siguiente nomograma haciendo uso del dato del CBR de la subrasante y el número de ejes equivalentes se procede a determinar el espesor de la subbase.

Figura 19.

Nomograma para los valores de los nomogramas



Nota. Nomograma para determinar espesores de la subbase. Fuente AASHTO (1993)

Considerando que se tiene alrededor de 1.4×10^6 de ejes equivalentes y un CBR de la subrasante de 31%, el espesor determinado en el nomograma resulta de 15cm.

7.6.3.3. *Capa de rodadura, adoquinado*

En este proyecto se seguirá la Norma NTE INEN 1488 en la que se expresan valores adecuados para el diseño con adoquines, se debe seguir la siguiente tabla.

Tabla 52.

Resistencia característica de los adoquines

TIPO DE USO	No. DE VEHÍCULOS POR DÍA MAYORES DE 3T BRUTAS	EQUIVALENTE TOTAL DE REPETICIONES DE EJE ESTÁNDAR DESPUÉS DE 20 AÑOS	FORMA RECOMENDADA DE ADOQUÍN	RESISTENCIA CARACTERÍSTICA (Mpa) COMPRESIÓN A LOS 28 DÍAS
Peatonal	0	0	A, B, C	20
Estacionamiento y Calles	0-150	0-450000	A, B, C	30
Caminos secundarios y calles principales	150-1500	450000-4500000	A	40

Nota. Valores para la característica de los adoquines. Fuente Norma NTE INEN 1488

A partir de la tabla anterior se establece que podemos elegir entre los tipos A, B o C para el tipo de adoquín. Por lo tanto, se elige la forma Tipo C que es un adoquín hexagonal el cual que se utiliza comúnmente y esto mejora la eficiencia al momento de llevar a cabo la obra. Esta forma de adoquín forma unas trabas ayudando a evitar el deslizamiento.

7.6.3.4. *Capa de rodadura*

Para determinar el espesor de la capa de rodadura, en este caso siendo el adoquín se tiene en cuenta el número de ejes equivalentes tal y como señala la tabla a continuación.

Tabla 53.

Valores de espesor según tráfico

Tráfico	Espesor (cm)
$N \leq 5.0 \times 10^5$	8
$5.0 \times 10^5 < N < 10^7$	8
$N \geq 10^7$	10

Nota. Espesores en cm según el tráfico. Fuente normativa

Tomando en cuenta que se tiene un valor de ejes equivalentes para nuestro diseño de 1.4×10^6 y dicho valor se encuentra entre 5.0×10^5 y 1×10^7 se opta por seleccionar un espesor de 8 cm.

7.6.3.5. Cama de arena

Las recomendaciones para el diseño de la MOP f 001 (2002) indica que para la cama de arena se utiliza un espesor de aproximadamente 5 cm de espesor a lo largo de toda la superficie en donde se coloca el pavimento articulado.

Este espesor es muy importante debido a que ayuda a la distribución de cargas, garantiza la estabilidad, corrige las irregularidades que puede existir y sobre todo ayuda a evitar los problemas que pueden provocar los asentamientos.

Espesor para la cama de arena 5 cm.

7.6.4. Consideraciones técnicas

7.6.4.1. Juntas de adoquines

La disposición de los adoquines debe ser planeada, el grosor de la junta debe encontrarse dentro del rango entre 3 y 5 mm de acuerdo a lo recomendado en las Especificaciones Técnicas de la MOP - 001- F 2002, el espacio que se genera llamada junta se rellena con arena o polvo de piedra de trituración.

Valor del grosor para la **junta = 5mm.**

7.6.4.2. Vigueta de confinamiento

La vigueta de confinamiento en nuestro proyecto es de vital importancia debido a su relación con el confinamiento y la estabilidad, este elemento nos ayuda a la funcionabilidad del pavimento articulado.

En este proyecto las viguetas de confinamiento nos ayudan a que los adoquines no se desplacen teniendo en cuenta que la vía está en un terreno inclinado.

Para el diseño de las viguetas se toma las recomendaciones de MTOP (2003).
Teniendo así:

Altura teniendo ya los espesores adecuados establecemos un valor de 30 cm que no compromete a integridad de la capa de rodadura, esto ayuda a mantener los adoquines en su lugar y no se desplacen.

Ancho los valores están entre 15 y 20 cm para nuestro caso se adopta 15 cm de acuerdo a la ubicación.

Longitud el ancho coincide con el ancho de la vía

Resistencia se coloca un hormigo de resistencia 300 kg/cm², se elige como mínimo la misma resistencia para las viguetas de confinamiento.

Ubicación Teniendo en cuenta que nuestras pendientes longitudinales varían entre 2 al 14% se opta por ubicarlas con un espaciamiento de 30 a 60 m sin embargo también es posible evaluar los valores de las pendientes de la siguiente manera:

Pendientes mayores a 10% espaciamiento de 20 m, pendientes mayores a 5% espaciamiento de 25 m y para las pendientes menores de 5% espaciamientos de 60 m.

7.6.4.3.Consideraciones finales del diseño estructural de la vía

Teniendo en cuenta que en la vía no existe un trazado vial, y no se prevé la construcción de bordillos; las cunetas harán el papel de confinamiento del pavimento articulado. Esta decisión basada en brindar una solución más económica garantizando que

la vía tenga un drenaje y funcionamiento correcto. Implementar las cunetas es la opción más económica además estas están conectadas al sistema de alcantarilla que asegura la evacuación de los caudales, en nuestro proyecto nos sirve como confinamiento lateral.

7.6.4.4. Ancho del pavimento

Conforme a las especificaciones de la MTOP la calzada incluye 2 carriles destinados al tránsito vehicular.

Tabla 54.

Ancho de la vía

ANCHOS DE LA CALZADA		
Clase de Carretera	Ancho de la Calzada (m)	
	Recomendable	Absoluto
R-I o R-II >8000 TPDA	7.30	7.30
I 3000 a 8000 TPDA	7.30	7.30
II 1000 a 3000 TPDA	7.30	6.50
III 300 a 1000 TPDA	6.70	6.00
IV 100 a 300 TPDA	6.00	6.00
V Menos de 100 TPDA	4.00	4.00

Nota. valores para el ancho de la vía. Fuente: MTOP (2003)

7.6.4.5. Ancho de espaldones estables

Al ser una vía clase IV, el Manual de diseño geométrico de carreteras del Ecuador -2003 sugiere 60cm como ancho del espaldón.

7.6.4.6. Gradiente transversal para pavimentos

Valor adoptado 2% según recomienda el Manual de diseño geométrico de carreteras del Ecuador -2003.

7.6.4.7. Gradiente trasversal de espaldones

Recomendación de la normativa para el gradiente

Tabla 55.*Valores para la gradiente transversal para espaldones*

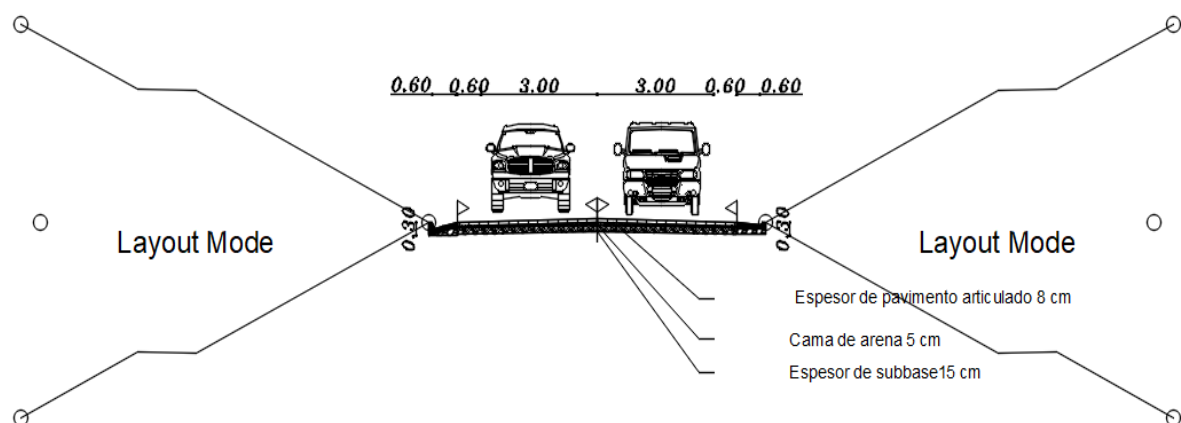
GRADIENTE TRASNSVERSAL PARA ESPALDONES (PORCENTAJES)		
Clase de Carretera	Tipos de Superficie (m)	Gradiente Transversal %
R-I o R-II >8000 TPDA	Carpeta de concreto asfáltico	4.00
I 3000 a 8000 TPDA	Doble tratamiento superficial bituminoso (DTSB) o carpeta	4.00
II 1000 a 3000 TPDA	Doble tratamiento superficial bituminoso (DTSB) o superficie estabilizada	4.00
III 300 a 1000 TPDA	Superficie estabilizada, grava	4.00
IV 100 a 300 TPDA	D.T.S.B. O capa granular	2.00 a 4.00

Nota. Valores para la gradiente transversal para los espaldones. Fuente MTOP (2003)

Para que exista una simetría con respecto a los valores de gradientes se opta por elegir una gradiente del 2% facilitando el drenaje de agua lluvia.

7.6.4.8. Modelo estructural del pavimento

Esquema con la estructura de la vía calculada, colocando los diferentes datos y espesores.

Figura 20.*Modelo estructural del pavimento articulado.*

Nota. Modelo estructural del pavimento articulado. Elaborado por las autoras usando el programa Civil Cad.

CAPÍTULO VIII

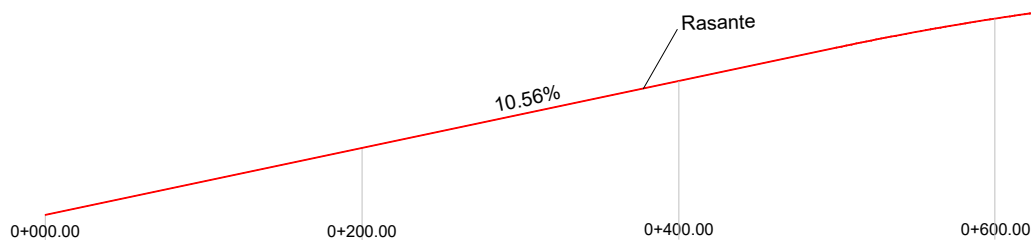
DRENAJE VIAL

8.1. Drenaje superficial

Para el drenaje superficial se consideran las pendientes viales longitudinales, así como el bombeo de la vía y peralte de curvas. A continuación, se muestran las pendientes longitudinales.

Figura 21.

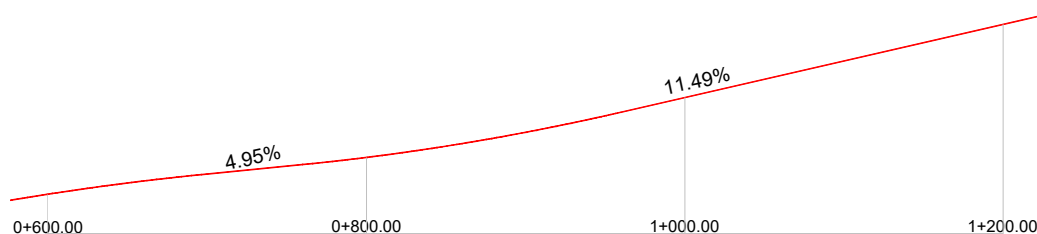
Pendiente longitudinal abscisas 0+000 hasta 0+600



Nota. Elaborado por las autoras usando el programa Civil Cad

Figura 22.

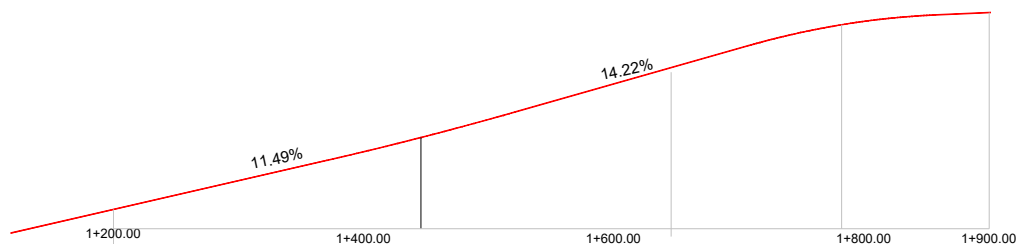
Pendiente longitudinal abscisas 0+600 hasta 1+200



Nota. Elaborado por las autoras usando el programa Civil Cad

Figura 23.

Pendiente longitudinal abscisas 0+600 hasta 1+200



Nota. Elaborado por las autoras usando el programa Civil Cad

Para la determinación del caudal de diseño para el drenaje superficial se considera el método racional.

$$Q = \frac{C * i * A}{360}$$

Dónde:

Q es el caudal en m³/s

C es el coeficiente de escorrentía

I es la intensidad de precipitación en mm/h

A es el Área de drenaje en hectáreas (Ha)

Al ser una zona rural la escorrentía superficial llegará a la vía principalmente de los taludes y laderas, así como también la precipitación que recibirá la misma superficie vial.

Figura 24.

Drenaje superficial



Nota. Esquema de la escorrentía superficial. Fuente (Dominguez, S.f.)

8.2.Estado actual del drenaje existente

En la actualidad la vía carece de obras de drenaje vial según se puede identificar en las siguientes imágenes:

Figura 25.

Estado actual de vía abscisa 0+200



Nota. Fotografía del estado de la vía. Elaborado por las Autoras

Figura 26.

Estado actual de vía abscisa 0+700



Nota. Fotografía del estado de la vía. Elaborado por las Autoras

La carencia de drenaje ha generado problemas propios de la escorrentía superficial entre estos se pueden mencionar erosión de la capa de rodadura, pérdida del material pétreo de la vía y formación de baches.

8.3. Selección de obra hidráulica

Considerando que la vía carece de todo tipo de drenaje se considera pertinente realizar los siguientes puntos con el fin de diseñar las obras hidráulicas:

- Establecer los puntos de concentración y direcciones de flujo
- Identificar las áreas de aportación de escorrentía superficial
- Determinar los periodos de retorno
- Calcular los caudales de diseño
- Finalmente diseñar las obras hidráulicas pertinentes pudiendo ser (cunetas, alcantarillas, sumideros, badenes, puentes, drenaje subterráneo)

Para el procedimiento de diseño se considera la información recopilada durante el presente proyecto estos son:

- Levantamiento topográfico de la vía y fajas topográficas
- Geometría de la carretera (pendientes)

En ese sentido se ha previsto el diseño de drenaje lateral y drenaje transversal a la vía. Para el drenaje lateral de la vía es conveniente la construcción de cunetas laterales cuyo revestimiento será de hormigón que se ubicaran en las márgenes de la vía.

Así mismo se considera necesario realizar alcantarillas a cada 200 metros esto con el fin de que la acumulación de caudal no sea significativa de manera que obligue a diseñar secciones de drenaje lateral más grandes lo que implica un perjuicio económico.

8.3.1. Parámetros de evaluación

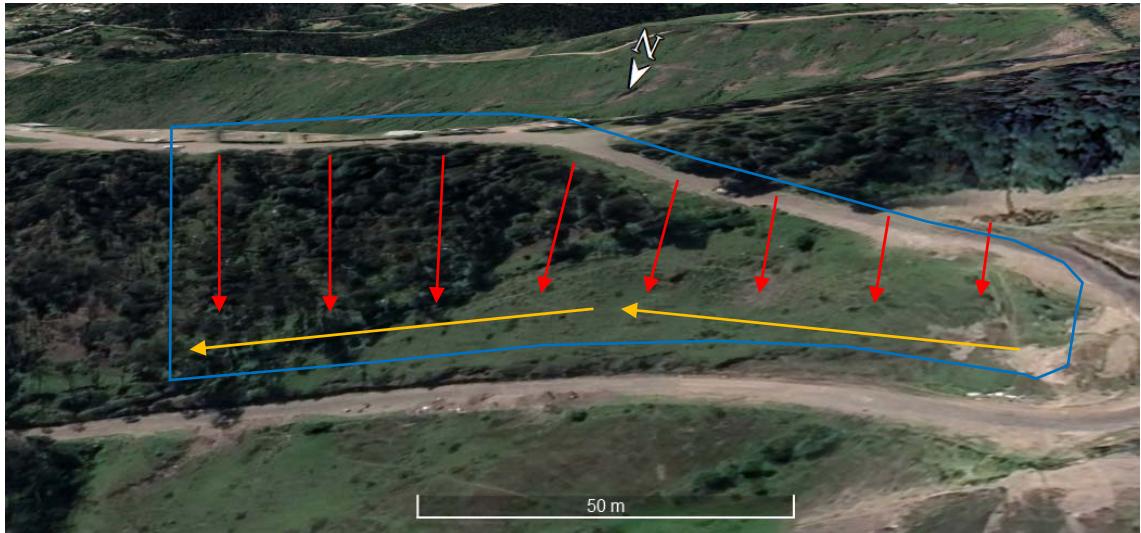
Como se explica en párrafos anteriores para el presente diseño de drenaje superficial se emplea el método racional, el cual en términos generales depende de las siguientes variables:

Área de aportación, esta área se determina en función de las pendientes naturales del terreno pues esto determina el sentido de flujo de la escorrentía superficial.

A continuación, se muestra un ejemplo para establecer el área de aportación del tramo entre las abscisas 1+800 hasta 1+900.

Figura 27.

Drenaje superficial abscisa 1+800 hasta 1+900



Nota. En la gráfica anterior de color azul se muestra el polígono cuya área se debe contabilizar para el cálculo del caudal de diseño. De color rojo se muestran flechas que indican el sentido de flujo de la escorrentía superficial finalmente de color naranja se muestra el sentido de flujo de la escorrentía superficial en las obras de drenaje lateral. Elaborado por las autoras usando el programa Google Earth Pro

8.4.Diseño de la obra hidráulica correspondiente

8.4.1. Parámetros de diseño

Se han considerado los siguientes parámetros de diseño para el drenaje lateral:

- Tiempo de concentración mínimo de 10 minutos
- Periodo de retorno de 25 años

Y para el drenaje transversal se considera lo siguiente:

- Tiempo de concentración mínimo de 10 minutos
- Periodo de retorno de 100 años

Con estos valores definidos se puede obtener el valor de la intensidad de precipitación, para esto se considerará las ecuaciones establecidas en el estudio DETERMINACIÓN DE ECUACIONES PARA EL CÁLCULO DE INTENSIDADES MÁXIMAS DE PRECIPITACIÓN del INAMHI. (INAMHI, 2015).

Para lo anterior es necesario ubicar la estación meteorológica más cercana al sitio de estudio y que cuente con la ecuación para determinar la intensidad de precipitación dentro del estudio de referencia.

La estación IZOBAMBA se ubica en Amaguaña y es la más cercana al sitio del proyecto.

Figura 28.

Ubicación estación Izobamba



Nota. Ubicación de la estación Izobamba. Fuente Google Maps

Tabla 56.*Ecuaciones para el cálculo de la intensidad de precipitación*

ESTACIÓN		INTERVALOS DE TIEMPO	ECUACIONES
CÓDIGO	NOMBRE	(minutos)	
M0002	LA TOLA	5 < 20	$i = 106.539 * T^{0.2210} * t^{-0.2286}$
		20 < 120	$i = 433.713 * T^{0.1955} * t^{-0.6505}$
		120 < 1440	$i = 1433.657 * T^{0.1922} * t^{-0.9982}$
M0003	IZOBAMBA	5 < 30	$i = 164.212 * T^{0.1650} * t^{-0.4326}$
		30 < 120	$i = 371.072 * T^{0.1575} * t^{-0.6771}$
		120 < 1440	$i = 929.503 * T^{0.1614} * t^{-0.8773}$

Nota. Ecuaciones para calcular la intensidad de precipitación. Fuente INAMHI 2015

La intensidad de precipitación entonces se obtiene a través de la siguiente ecuación:

$$I = 164.212 * T^{0.1650} * t^{-0.4326}$$

Donde:

I es la intensidad de precipitación en mm/h

T es el periodo de retorno en años

t es el tiempo de concentración en minutos

Para el drenaje lateral se calcula la intensidad de precipitación:

$$I = 164.212 * 25^{0.1650} * 10^{-0.4326}$$

$$I = 103.15 \text{ mm/h}$$

Para el drenaje transversal se calcula la intensidad de precipitación:

$$I = 164.212 * 100^{0.1650} * 10^{-0.4326}$$

$$I = 129.66 \text{ mm/h}$$

Respecto al coeficiente de escorrentía (C) que es un valor adimensional el cual relaciona la cantidad de fluye se considerará los siguientes valores 0.45 para las áreas de la vegetación y 0.70 para las áreas de la vía. (Rubio, 2021).

A continuación, se muestran las áreas de aportación por cada tramo de la vía:

Tabla 57.

Áreas de drenaje

Abscisa	CUNETA IZQUIERDA		CUNETA DERECHA	
	Vía (Ha)	Talud (Ha)	Vía (Ha)	Talud (Ha)
1+900	0,045	-	0,045	0,9236
1+800	0,126	-	0,126	0,9981
1+600	0,105	-	0,105	0,2280
1+400	0,104	-	0,104	0,4798
1+200	0,099	-	0,099	0,9056
1+000	0,091	-	0,091	1,2324
0+800	0,102	-	0,102	2,1472
0+600	0,071	-	0,071	3,2305
0+400	0,098	-	0,098	0,0814
0+200	0,067	-	0,113	-

Nota. Áreas para el cálculo del drenaje. Elaborado por las Autoras

Figura 29.

Ejemplo de cálculo de las áreas.



Nota. Cálculo de área de aportación. Elaborado por las autoras utilizando el programa Google Earth Pro.

Se calcula los caudales de diseño para el drenaje lateral.

Tabla 58.*Caudales de diseño drenaje lateral*

CUNETA IZQUIERDA			CUNETA DERECHA		
A1 vía (Ha)	A1talud (Ha)	Q izq (m3/s)	A2 vía (Ha)	A2talud (Ha)	Q dere (m3/s)
0,045		0,009	0,045	0,924	0,010
0,126	-	0,025	0,054	0,998	0,012
0,105	-	0,021	0,075	0,228	0,015
0,104	-	0,021	0,076	0,480	0,016
0,099	-	0,020	0,081	0,906	0,017
0,091	-	0,018	0,089	1,232	0,019
0,102	-	0,020	0,078	2,147	0,018
0,071	-	0,014	0,109	3,231	0,026
0,098	-	0,020	0,082	0,081	0,017
0,067	-	0,013	0,113	-	0,023
Máximo valor m3/s		0,025			0,026
Máximo valor lt/s		25,272			25,880

Nota. Caudales para el diseño del drenaje lateral. Elaborado por las autoras

Entonces el caudal de diseño para la cuenta izquierda es de 25.272 lt/s y el caudal para la cuneta derecha es de 25.880 lt/s.

Ahora calculamos los caudales para el drenaje transversal considerando la intensidad de precipitación calculada.

Tabla 59.*Caudales de diseño drenaje transversal*

CUNETA IZQUIERDA			CUNETA DERECHA			
A1 vía (Ha)	A1talud (Ha)	Q izq (m3/s)	A2 vía (Ha)	A2talud (Ha)	Q dere (m3/s)	Q alc.(m3/s)
0,045	-	0,009	0,045	0,924	0,010	0,019
0,126	-	0,025	0,054	0,998	0,012	0,037
0,105	-	0,021	0,075	0,228	0,015	0,036
0,104	-	0,021	0,076	0,480	0,016	0,037
0,099	-	0,020	0,081	0,906	0,017	0,037
0,091	-	0,018	0,089	1,232	0,019	0,038
0,102	-	0,020	0,078	2,147	0,018	0,039
0,071	-	0,014	0,109	3,231	0,026	0,040
0,098	-	0,020	0,082	0,081	0,017	0,036
0,067	-	0,013	0,113	-	0,023	0,036
Máximo valor m3/s		0,025			0,026	0,040
Máximo valor lt/s		25,272			25,880	40,141

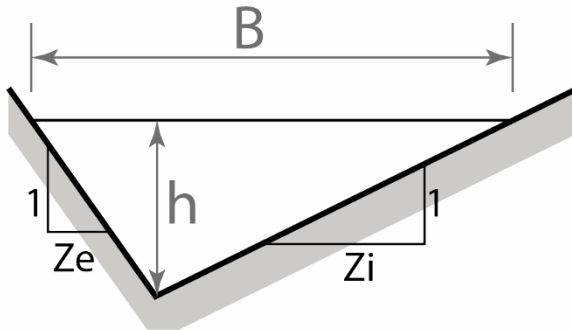
Nota. Datos de los caudales para el drenaje transversal. Elaborados por las autoras

En la tabla anterior se muestra el caudal de diseño por cada alcantarilla ubicadas cada 200 metros. Valor máximo de 40.141 lt/s.

8.4.2. Dimensiones

Para el dimensionamiento de las cunetas se utiliza la ecuación de Manning.

Figura 30. Sección triangular para cunetas



Nota. Esquema de una sección triangular para una cuneta. Fuente (Dominguez, S.f.)

Donde:

B: Espejo de agua

H: Altura de la cuneta

Ze: Talud del lado menor

➤ **Zi:** Talud del lado mayor

En la práctica se recomienda usar valores de Zi mayores o iguales a 3 y para Ze de 4.

A continuación, se muestran las fórmulas hidráulicas a utilizar:

➤ Área

$$A = \frac{(Zi + Ze) * h^2}{2}$$

➤ Perímetro mojado

$$R = (\sqrt{1 + Zi^2} + \sqrt{1 + Ze^2}) * h$$

➤ Radio hidráulico

$$R = \frac{(Zi + Ze) * h}{2 * (\sqrt{1 + Zi^2} + \sqrt{1 + Ze^2})}$$

➤ Ecuación de Manning

$$Q = \frac{1}{n} * A * R^{\frac{2}{3}} * S^{\frac{1}{2}}$$

Donde:

Q es el caudal en m³/s

n es el coeficiente de Manning 0.013 **para hormigón**

A es el área de la sección en m²

R es el radio hidráulico en m

S es la pendiente en m/m

Tabla 60.

Dimensiones necesarios cuneta izquierda

CUNETA IZQUIERDA		
CAUDAL (Q) (m ³ /s)	0,025	
ANCHO SOLERA (b)	0	
TALUD (Z) (m)	1	
RUGOSIDAD (n)	0,013	
PENDIENTE (S) (m/m)	0,1437	
RESULTADOS		
TIRANTE NORMAL (y)	0,0918	m
AREA HIDRAULICA (A)	0,0084	m ²
ESPEJO DE AGUA (T)	0,1836	m
PERIMETRO (p)	0,2596	m
RADIO HIDRAULICO ®	0,5404	m
VELOCIDAD (v)	2,9669	m/s

Nota. Dimensiones de la cuenta Elaborado por Las autoras en el programa H canales.

Se toma en cuenta un coeficiente de rugosidad de Manning de 0.013 característico para el hormigón.

Tabla 61.*Dimensiones necesarios cuneta derecha*

CUNETA DERECHA		
CAUDAL (Q)	0,026m ³ /s	
ANCHO SOLERA (b)	0	
TALUD (Z)	1m	
RUGOSIDAD (n)	0,013	
PENDIENTE (S)	0,1437m/m	
RESULTADOS		
TIRANTE NORMAL (y)	0,0932	m
AREA HIDRAULICA (A)	0,0087	m ²
ESPEJO DE AGUA (T)	0,1863	m
PERIMETRO (p)	0,2635	m
RADIO HIDRAULICO ®	0,0329	m
VELOCIDAD (v)	2,9961	m/s

Nota. Dimensiones de la cuneta Elaborado por Las autoras en el programa H canales

Según la normativa española 5.1-IC de 1965. La velocidad máxima para evitar la erosión en el hormigón es de 4,5 m/s y en nuestro caso se tiene en el punto más crítico una velocidad de 3m/s aproximadamente por lo tanto esta velocidad no afectara el revestimiento de la cuneta.

Tabla 62.

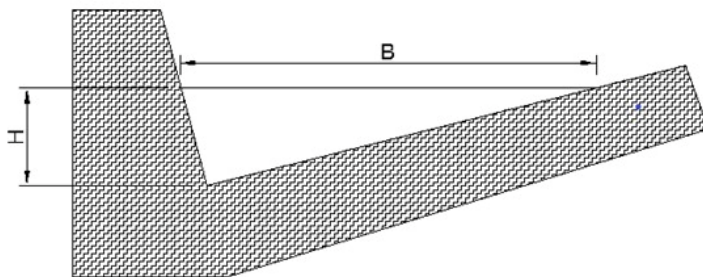
Dimensionamiento en H canales cuneta izquierda

CUNETA IZQUIERDA		
TIRANTE MINIMO 30CM		
DATOS		
TIRANTE NORMAL (y)	0,3	m
ANCHO SOLERA (b)	0	m
TALUD (Z)	1	
RUGOSIDAD (n)	0,013	
PENDIENTE (S)	0,1437	m/m
RESULTADOS		
CAUDAL (Q)	0,587	
VELOCIDAD (v)	6,519	m/s
ESPEJO DE AGUA (T)	0,6	m
TIRANTE (Y)	0,3	
AREA HIDRAULICA (A)	0,09	m ²
B	0,6	m
H	0,3	m

Nota. Redimensionamiento de la cuneta Elaborado por Las autoras en el programa H canales.

Figura 31.

Esquema de la cuneta izquierda



Nota. Esquema de la cuneta izquierda. Elaborado por las autoras usando el programa Civil Cad.

Tabla 63.

Dimensionamiento en H canales cuneta derecha

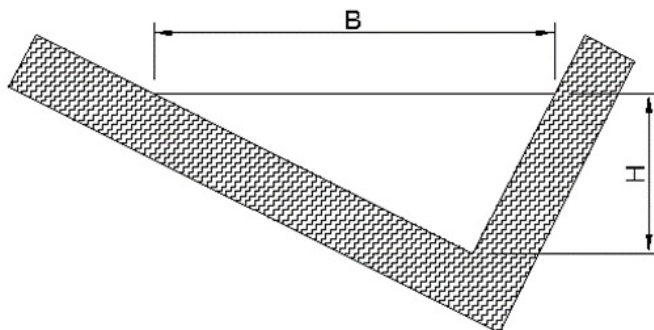
CUNETA DERECHA		
TIRANTE MINIMO 30CM		
DATOS		
TIRANTE NORMAL (y)	0,3	m
ANCHO SOLERA (b)	0	m
TALUD (Z)	1	
RUGOSIDAD (n)	0,013	
PENDIENTE (S)	0,1437	m/m
RESULTADOS		
CAUDAL (Q)	0,587	
VELOCIDAD (v)	6,519	m/s
ESPEJO DE AGUA (T)	0,6	m
TIRANTE (Y)	0,3	
AREA HIDRAULICA (A)	0,09	m ²
B	0,6	m
H	0,3	m

Nota: Redimensionamiento de la cuneta Elaborado por Las autoras en el programa H canales.

En este caso la velocidad es alta en comparación a la cuneta del borde derecho y esto se debe al alta pendiente longitudinal que se tiene en el punto crítico analizado.

Figura 32.

Esquema de la cuneta derecha



Nota. Esquema de la cuneta derecha. Elaborado por las autoras usando el programa Civil

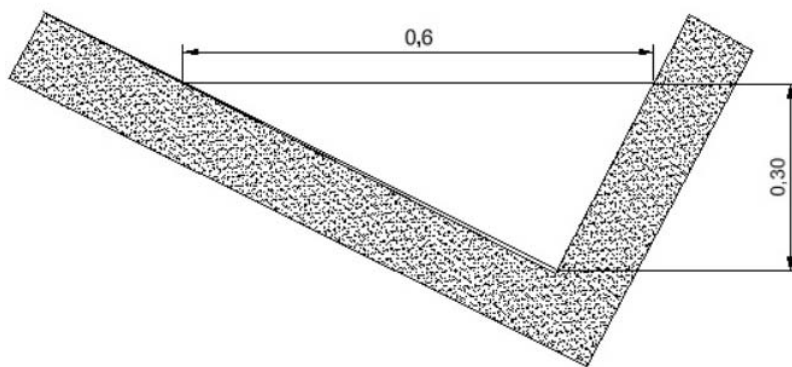
Cad

Se adopta una medida eficiente de 200 m de longitud entre puntos de descarga para cunetas ya que es una medida eficiente para la capacidad hidráulica de las cunetas la cual se adopta a las características de la vía.

Las cuentas miden de 0,6 m de ancho por 0,30 m de alto, dimensiones las cuales aseguran un correcto funcionamiento las cuales se ajustan a las necesidades del proyecto.

Figura 33.

Esquema con dimensiones de la cuneta



Nota. Esquema de la cuneta. Elaborado por las autoras usando el programa Civil Cad.

8.4.3. 8.4.3 Alcantarillas

Las alcantarillas son estructuras importantes dentro del sistema de drenaje vial ya que permiten que el agua cruce por debajo de la vía sin afectar la integridad del pavimento.

Para determinar los caudales se utilizó el método racional considerando las características del terreno, la pendiente y el uso de suelo.

8.4.4. Parámetros de diseño

Se han considerado los siguientes parámetros de diseño para el diseño de alcantarillas:

- Periodo de retorno de 25 años para garantizar seguridad ante lluvias intensas.

- Coeficiente de rugosidad de Manning de 0.022 para tubería nueva

Dimensionamiento

Se utiliza la ecuación de Manning para calcular el tamaño adecuado de las alcantarillas.

$$Q = \frac{1}{n} * A * R^{\frac{2}{3}} * S^{\frac{1}{2}}$$

Donde:

Q es el caudal en m³/s

n es el coeficiente de Manning 0.011 **para PVC**

A es el área de la sección en m²

R es el radio hidráulico en m

S es la pendiente en m/m

Para el proyecto se adopta una pendiente de 4% que es el valor de pendiente máxima.

A continuación, se muestran las fórmulas hidráulicas a utilizar:

- Área

$$A = \frac{(\theta - \text{sen}(\theta)) * D^2}{8}$$

- Perímetro

$$R = \frac{(\theta * D)}{2}$$

- Manning

$$v = \frac{1}{n} * R^{\frac{2}{3}} * S^{\frac{1}{2}}$$

Cálculo del diámetro

Se usa la fórmula de Manning

$$Q = \frac{1}{n} * A * R^{\frac{2}{3}} * S^{\frac{1}{2}}$$

Para tubería circular llena

$$A = \frac{\pi}{4} * D^2$$

$$R = \frac{D}{4}$$

$$Q = \frac{1}{n} * \left(\frac{\pi}{4} * D^2\right) * \left(\frac{D}{4}\right)^{\frac{2}{3}} * S^{\frac{1}{2}}$$

$$D^{8/3} = \frac{0.040 * 0.011}{\frac{\pi}{4} * \left(\frac{1}{4}\right)^{2/3} * 0.04^{1/2}}$$

$$D = 0.156$$

Después de realizar los cálculos necesarios se obtiene 0.156 m de diámetro, el cual es un diámetro demasiado pequeño para la alcantarilla por lo cual se decide utilizar un diámetro de 0.30 m para así obtener un buen funcionamiento, ya que reduce el riesgo de taponarse y facilita para el mantenimiento necesario.

Tabla 64.

Dimensionamiento de alcantarilla

TUBERIA DE CRUCE DE VIA		
CAUDAL (Q)	0,04	m3/s
DIAMETRO (d)	0,30	m
RUGOSIDAD (n)	0,011	PVC
PENDIENTE (S)	0,04	m/m
RESULTADOS		
TIRANTE NORMAL (y)	0,0849	m
AREA HIDRAULICA (d)	0,0165	m2
ESPEJO DE AGUA (T)	0,2703	m

Nota. Dimensionamiento de la alcantarilla. Elaborado por las autoras

Figura 34.

Comprobación en H canales

Datos:		
Caudal (Q):	0.040	m ³ /s
Diámetro (d):	0.30	m
Rugosidad (n):	0.011	
Pendiente (S):	0.04	m/m



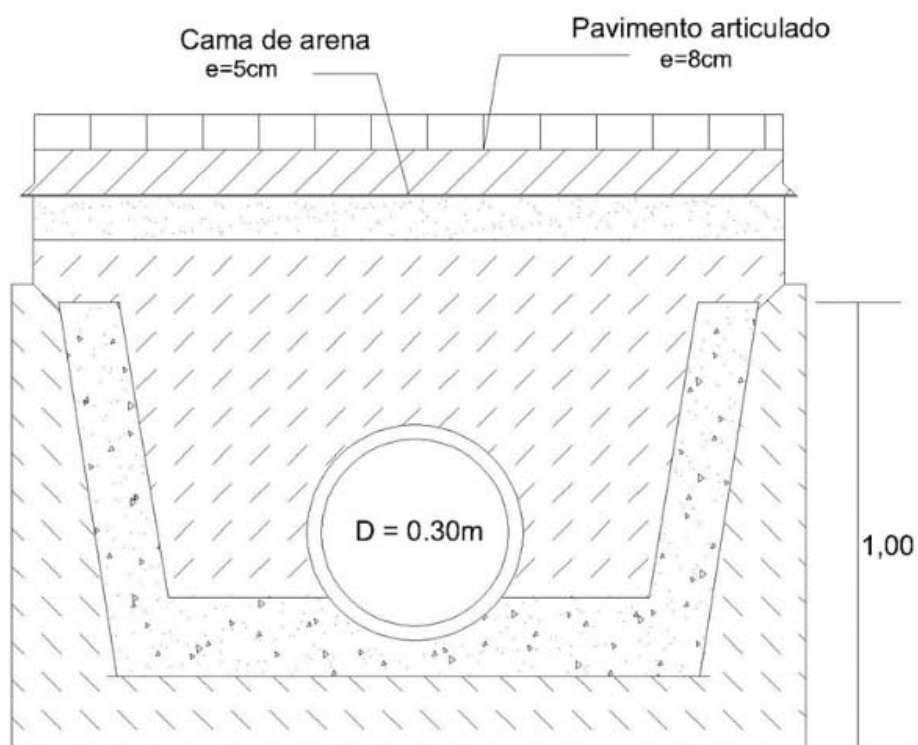
Resultados:		
Tirante normal (y):	0.0849	m
Área hidráulica (A):	0.0165	m ²
Espejo de agua (T):	0.2703	m
Número de Froude (F):	3.1454	
Tipo de flujo:	Supercrítico	
Perímetro mojado (p):	0.3367	m
Radio hidráulico (R):	0.0489	m
Velocidad (v):	2.4307	m/s
Energía específica (E):	0.3861	m-Kg/Kg

Nota. Dimensiones de cruce de tubería. Elaborada por las autoras en el programa H canales.

Se ubica las alcantarillas cada 200 metros ya que ahí se ubican los lugares adecuados para realizar la descarga de la alcantarilla. Además, permite de una manera segura manejar los caudales parciales y evitar que las cunetas acumulen demasiada agua lo cual podría provocar daños en la vía.

Figura 35.

Dimensionamiento de la alcantarilla



Nota. Esquema de las dimensiones de una alcantarilla. Elaborado por las autoras en el programa Civil Cad

CONCLUSIONES

Se efectuó el diseño geométrico y estructural para el mejoramiento de 1.900 km de la Avenida Ilaló, cumpliendo con el objetivo general del proyecto. La solución técnica propuesta se fundamenta en las regulaciones del Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTOP) y la Norma Ecuatoriana Vial (NEVI-12), garantizando una mejora sustancial en la operatividad, seguridad y durabilidad de la vía.

El levantamiento topográfico permitió generar un modelo digital del terreno preciso, georreferenciado mediante puntos de control (BMs), que sirvió como base indispensable para el trazado del alineamiento horizontal y vertical. Esta información fue crucial para adaptar el diseño a las condiciones existentes del sitio y para el cálculo de los volúmenes de obra.

El estudio de tráfico determinó un Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA) de diseño de **249 vehículos/día**, lo que clasifica a la vía como una **Carretera Colectora Tipo IV** según la normativa del MTOP. A partir de la composición vehicular, se calculó una carga de diseño de **1389920.07 ejes equivalentes (ESALs)** para un período de 15 años, valor que define el nivel de sollicitación para el diseño del pavimento.

El análisis geotécnico, realizado a través de tres calicatas, reveló que la subrasante está compuesta principalmente por suelos finos clasificados como arcillas y limos arenosos (CL y ML según SUCS) y A-4 y A-6 según AASHTO. Los resultados de los ensayos CBR indicaron una capacidad de soporte buena, lo que justifica una estructura de pavimento articulado para distribuir adecuadamente las cargas del tráfico.

Se diseñó una sección transversal de 7.20 metros, con dos carriles de 3.0 metros cada uno y espaldones de 0.6 metros, para una velocidad de diseño de 60 km/h. El diseño geométrico se adaptó en gran medida al trazado existente para minimizar el impacto; sin embargo, debido a fuertes restricciones topográficas, algunas curvas horizontales no

cumplen el radio mínimo recomendado y un tramo de pendiente (14.37%) excede ligeramente el máximo normativo del 14%.

Se proyectó un sistema de drenaje vial integral, inexistente en la vía actual. El diseño incluye cunetas triangulares de hormigón para el drenaje longitudinal y alcantarillas de cruce cada 200 metros para la evacuación transversal del agua de escorrentía, solucionando así los problemas de erosión y deterioro prematuro del pavimento.

RECOMENDACIONES

Control de Calidad en la Construcción: Se recomienda que durante la fase constructiva se realice un estricto seguimiento de los planos de diseño geométrico y estructural presentados en este trabajo. Es fundamental asegurar que la plataforma se construya respetando los anchos, pendientes, espesores y niveles definidos para garantizar la correcta funcionalidad del proyecto.

Manejo de la Subrasante: Dado que los suelos de la subrasante presentan una capacidad de soporte buena. Se deberá verificar que se alcance un mínimo del 95% en la densidad seca máxima para el ensayo Proctor Modificado, asegurando que el contenido de humedad se mantenga en el valor óptimo. Esto es vital para que la subrasante alcance la capacidad portante asumida en el diseño.

Señalización Preventiva: Debido a que ciertas curvas horizontales y un tramo de pendiente no están acordes a la normativa por restricciones del trazado existente, es imperativo implementar una adecuada señalización vial preventiva. Se recomienda instalar señales que adviertan sobre curvas peligrosas, pendientes pronunciadas y que establezcan límites de velocidad reducidos en estos tramos críticos para mitigar el riesgo de accidentes.

Mantenimiento del Sistema de Drenaje: Se recomienda establecer una planificación en mantenimiento rutinario que empiece por la limpieza periódica de cunetas y alcantarillas, especialmente antes y mejor aún en tiempos de lluvia. Esto evitará la obstrucción del sistema y los consecuentes daños por agua en la estructura de la vía.

Estudios Futuros: Para futuras intervenciones o ampliaciones de la vía, se sugiere realizar un estudio y diagnóstico de factibilidad para la adquisición de los predios necesarios que permitan corregir el alineamiento geométrico y ajustarlo completamente a la normativa vigente. Asimismo, se sugiere realizar aforos vehiculares de seguimiento

cada 3 a 5 años para validar las tasas de crecimiento proyectadas y planificar futuras rehabilitaciones.

BIBLIOGRAFÍA

- Almeida, M. (2025). Análisis comparativo de los métodos de suelo pavimento duro (hormigón) x flexible (asfalto). *Revista Científica Multidisciplinar Núcleo del conocimiento* .
- Arias & Villagómez Consultores. (2018, octubre). Estudio de impacto de tráfico: Proyecto Santa Mónica – Sector Lumbisí. https://www7.quito.gob.ec/mdmq_ordenanzas/comisiones%20del%20concejo/Usos%20de%20Suelo/2018/2018-10-22/10.%20G-2017-170303/Informaci%C3%B3n/5.%20Estudio%20de%20Impacto%20de%20Tráfico%20_%20S.%20MOV.%20DMQ%20_SANTA%20MONICA/Estudio%20de%20Impacto%20de%20Tra+
- Cárdenas, J. (2013). *Diseño geométrico de carreteras*. ECOE Ediciones.
- Correa, J. (2012). *Tipologías del turismo Alternativo en el Valle de Tumbaco*. [Tesis de grado, Universidad Israel. Repositorio USRAEL.] <http://repositorio.uisrael.edu.ec/handle/47000/727>
- Dominguez, C. (S.f.). *Introducción al drenaje vial y urbano [Manual Técnico]*. Instituto Ecuatoriano de Obras Públicas. <http://www.obraspublicas.gob.ec/manuales/drenaje-vial-urbano>
- Espinosa, J. (2016). *Las vías de comunicación*. Conadex. Editorial.
- Fernández, R., & Dextre, J. (2022, enero). *Elementos de la teoría del tráfico vehicular*. [Informe técnico]. Universidad Nacional de Ingeniería. https://www.researchgate.net/profile/Rodrigo-Fernandez-11/publication/365740517_Elementos_de_la_teoría_del_tráfico_vehicular/links/642ec978609c170a13fb4202/Elementos-de-la-teoria-del-trafico-vehicular.pdf
- Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquial Rural de Tumbaco. (2020). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del GAD Tumbaco 2020*. [Informe técnico] <https://tumbaco.gob.ec/wp-content/uploads/2021/07/PDOTTUMBACO2020nov.pdf>

- Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) (2015). *Determinación de ecuaciones para el cálculo de intensidades máximas de precipitación*. [Informe técnico]. Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI). <https://servicios.inamhi.gob.ec/>
- Ministerio de Transporte y Obras Públicas. (2003). *Especificaciones técnicas MOP-001-F-2002*. https://www.obraspublicas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2021/01/MPR_Chimborazo_Cumanda_Especificaciones-Tecnicas-MOP-001-F-2002.pdf
- Ministerio de Transporte y Obras Públicas. (2025). *Ministerio de Transporte y Obras Públicas*. <https://www.obraspublicas.gob.ec/>
- Moale, A., & Rivera, E. (2019). *Estabilización química de suelos arcillosos con cal para su uso como subrasante en vías terrestres de la localidad de Villa Rica*. [Tesis de licenciatura, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas]. Repositorio Academico UPC. https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/648846/Moale_Q_A.pdf?seq=
- Morocho, L. (2015). *Para obtener el número de vehículos totales en un día de 24 horas, partiendo de un conteo de solo 12 horas, el Manual de Diseño Geométrico de Carreteras del Ecuador (2003) establece el uso de factores de variación, específicamente el Factor Horario (FH)* [Tesis de grado, Universidad del Azuay].
- Ministerio de Transporte y Obras Públicas. (2012). *Norma para estudios y diseños viales: NEVI-12, volumen 2A*. [Manual técnico]. Ministerio de Transporte y Obras Públicas. https://www.obraspublicas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/12/01-12-2013_Manual_NEVI-12_VOLUMEN_2A.pdf
- Ospina, J. (2002). *Diseño geométrico de vías* [Trabajo de grado especialización, Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín]. <https://www.academia.edu/download/55513650/disec3b1o-geomc3a9trico-de-vc3adas-john-jairo-agudelo.pdf>
- Paztaz, C., & Pinza, M. (2020). *Análisis de reformas geométricas para acceso a la parroquia San José de Ayora en el km 182 de la Panamericana E35* [Tesis de

- grado, Universidad Politécnica Salesiana]. Repositorio Institucional UPS. https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/19529/1/UPS%20-%20TTS215.pdf?utm_source=chatgpt.com
- Reyes, J. (2013). *Las condiciones de la vía Manduro–“Y” de Alto Shicama–Batancocha y su incidencia en la circulación vehicular*. [Tesis de grado, Universidad Técnica de Ambato]. Repositorio UTA. <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstreams/004d1ca6-6f66-473b-b743-00c13fa3a157/download>
- Rondón, H., Zafra, C., & Chaves, S. (2018). Behavior of a hot mix asphalt using blast furnace slag and gilsonite. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 30(10), Article 04018267. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0001339](https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0001339)
- Rubio, M. (2021, abril 8). *Estimación del Coeficiente de Escorrentía “C” y su análisis a través de variables determinantes de la respuesta hidrológica mediante el estudio de tres cuencas urbanas de la ciudad de Cuenca-Ecuador* [Tesis de grado, Universidad de Cuenca]. Repositorio Digital Universidad de Cuenca. <https://rest-dspace.ucuenca.edu.ec/server/api/core/bitstreams/f93393df-869e-42b3-b726-b8b963173fed/content>
- Santillán, V. (2014, enero). *Presión urbana sobre áreas rurales: transformación territorial en la parroquia de Tumbaco. Caso de estudio comunas Leopoldo N. Chávez y Tola Chica*. [Tesis de maestría, FLACSO Ecuador]. Repositorio Bibliográfico Nacional de Educación Intercultural Bilingüe, Etnoeducación e Interculturalidad: <https://repositoriointerculturalidad.ec/jspui/bitstream/123456789/3689/2/TFLACSO-2014VNSS.pdf>
- Tarrillo, L. (2023, mayo 3). *Evaluación del sistema de drenaje sobre el pavimento del Jirón Los Sauces urbanización el Ingenio-Cajamarca* [Tesis de grado, Universidad Nacional de Cajamarca]. Repositorio Institucional UNC. <https://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/5715>
- Tornero, R. (2018). *Establecimiento de una metodología utilizando sistema de información geográfica para transformar las coordenadas universal transversal*

mercator del sistema provisional sudamericano 1956 al sistema geodesico mundial 1984 de los predios rurales del Valle de Huaura [Tesis de grado,, Universidad Nacional Federico Villareal]. Repositorio Institucional UNFV. <https://repositorio.unfv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.13084/2305/Tornero%20Matos%20Roger%20Jaime.pdf?sequence=1>

ENSAYO DE CBR

MOLDE No.:	1.0	2.0	3.0
Golpes/capa:	56	25	10
Masa compact (g)	11428	11480	10950
Masa molde (g)	7192	7462	7250
Volumen (cm ³)	2120	2120	2129

Dens. Hum. (g/cm³) 1.998 1.895 1.738

CONTENIDO DE AGUA DE MOLDEO: DENS. MAXIMA:

Cap. N°	228	311	J18	29	72	301
Masa húmeda (g)	98.04	116.53	103.65	97.26	103.5	110.95
Masa seca (g)	82.74	97.09	87.13	81.9	86.65	92.45
Masa capsula (g)	26.77	28.48	28.04	23.91	27.82	26.84
(%) agua	27.3	28.3	28.0	26.5	28.6	28.2
(%) agua promedio	27.8		27.2		28.4	
Dens. Seca:	1.563	1.490		1.353		

DURANTE LA SATURACION:

ESPONJAMIENTO:	dial	%	dial	%	dial	%
DIAS:	0		0.0	0	0.0	0
1	0		-0.06	0	-0.06	0
2	47		0.96	50	1.02	62
3	83		1.74	65	1.35	78

PORCENTAJE DE AGUA ABSORBIDA:

Masa saturada	11064.0	11010.0	11096.0
(% W) absorbida	-8.59	-285.71	3.95

CONTENIDO DE AGUA LUEGO DE LA SATURACION

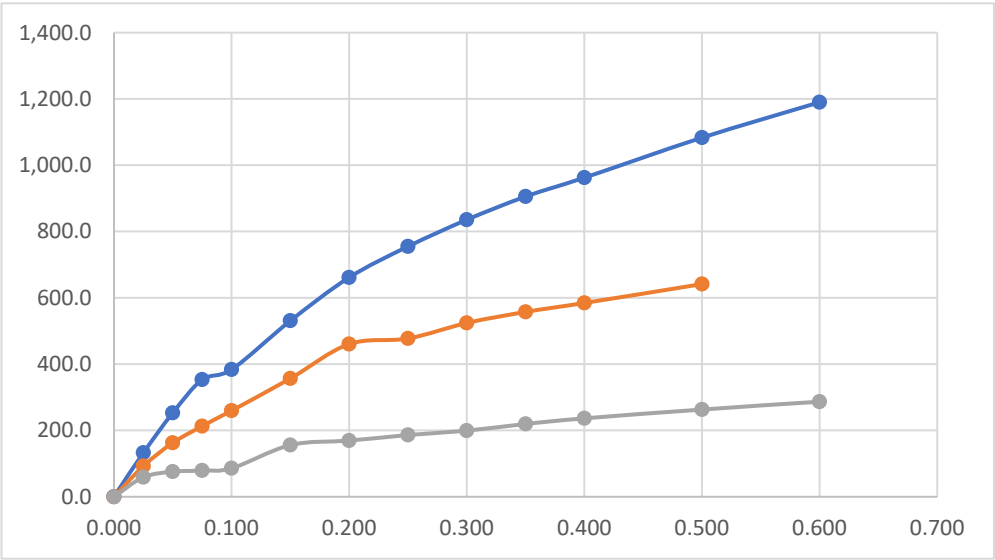
Masa húmeda (g)	101.8	94.8	94.8	121.9	106.3	105.3
Masa seca (g)	85.6	80.4	80.5	105.8	77.5	73.2
Masa capsula (g)	27.6	28.5	27.3	89.1	66.8	63.3
w (%):	27.9	27.8	27.1	27.7	227.2	27.1
w(%) prom.:	27.9		27.4		127.2	

PENETRACION CTE. DEL ANILLO = 10.0400

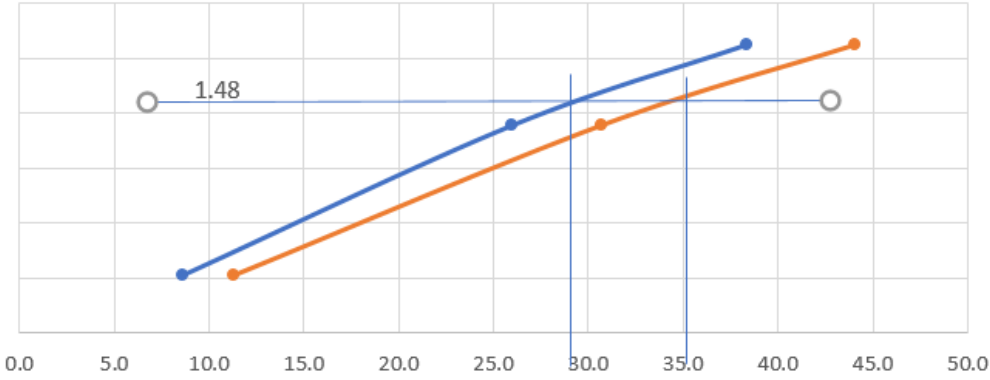
penetracion (pulgadas)	dial	presion lb/plg ²	dial	presion lb/plg ²	dial	presion lb/plg ²
0.000	0	0.0	0	0.0	0	0.0
0.025	35	133	23	93	13	59
0.050	71	253	44	163	18	76
0.075	101	354	59	213	19	79
0.100	110	384	73	260	21	86
0.150	154	531	102	357	42	156
0.200	193	661	133	461	46	169
0.250	221	755	138	477	51	186
0.300	245	835	152	524	55	200

0.350	266	906	162	558	61	220
0.400	283	963	170	584	66	236
0.500	319	1083	187	641	74	263
0.6	351	1190	203	694.9	81	286.6

Nota.- La presión corregida se determina en el gráfico esfuerzo - deformación



CBR 1



Penetración	Densidad Estándar	C.B.R (%)
0,1"	95%	28.00
0,2"	95%	35.00

28

MOLDE No.:	4.0	5	6
Golpes/capa:	56	25	10
Masa compact (g)	11428	11480	10950
Masa molde (g)	7192	7462	7250
Volumen (cm ³)	2120	2120	2129

1.738

DENS. MAXIMA:

Cap. N°	1	331	318	63	36	13
Masa húmeda (g)	97.41	97.97	96.33	88.8	88.12	93.78
Masa seca (g)	87.26	87.76	86.27	79.88	79.22	84.05
Masa capsula (g)	27.77	27.23	27.31	27.32	26.76	27.28
(%) agua	17.1	16.9	17.1	17.0	17.0	17.1
(%) agua promedio	17.0		17.0		17.1	
Dens. Seca:	1.708		1.620		1.485	

ESPONJAMIENTO:		dial	%	dial	%	dial	%
DIAS:		0		0.0	0	0.0	0
1	3	-0.02	7	0.07	5	0.02	
2	3	-0.02	7	0.07	5	0.02	
3	9	0.11	8	0.09	5	0.02	

Masa saturada	11494.0	11618.0	11220.0
(% W) absorbida	1.56	-285.71	7.30

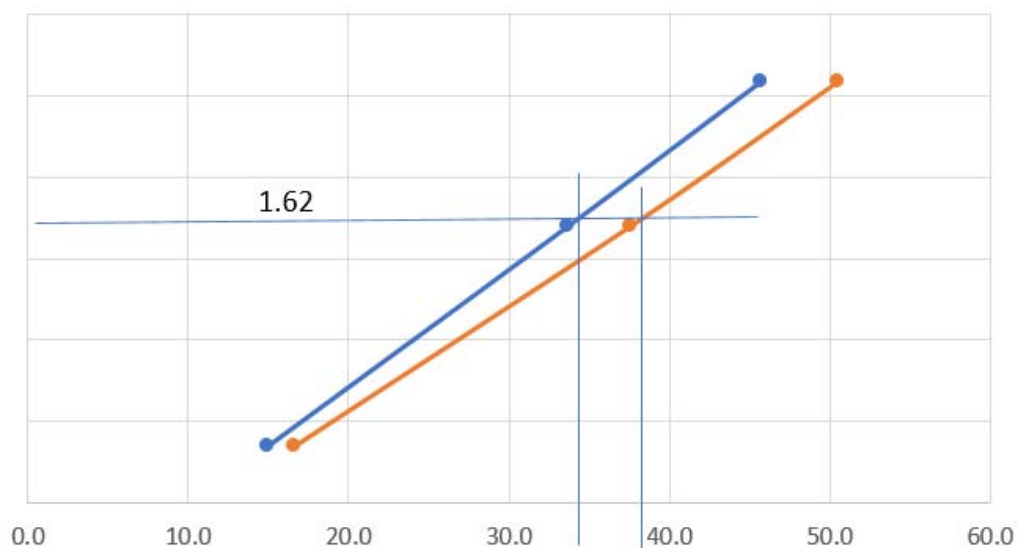
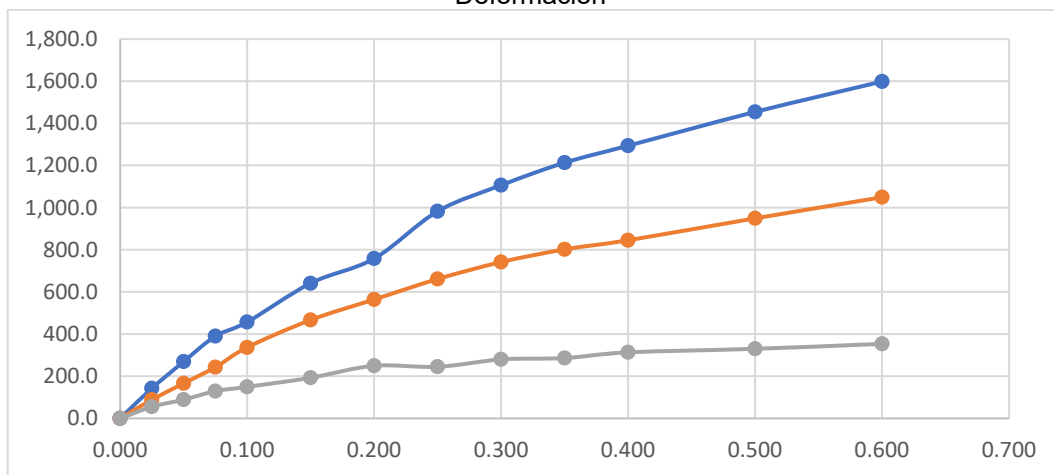
Masa húmeda (g)	105.5	100.9	107.2	121.9	106.3	105.3
Masa seca (g)	93.5	89.7	94.1	106.2	120.5	111.0
Masa capsula (g)	26.1	27.9	28.5	93.4	103.3	95.2
w (%):	17.8	18.0	20.0	29.0	28.9	27.6
w(%) prom.:		17.9		24.5		28.3

10.0400

penetracion (pulgadas)	dial	presion lb/plg ²	dial	presion lb/plg ²	dial	presion lb/plg ²
0.000	0	0.0	0	0.0	0	0.0

0.025	38	143	22	89	12	56
0.050	76	270	45	166	22	89
0.075	112	390	68	243	34	129
0.100	132	457	96	337	40	149
0.150	187	641	135	467	53	193
0.200	222	759	164	564	70	250
0.250	289	983	193	661	73	245
0.300	326	1107	217	742	79	280
0.350	358	1214	235	802	81	287
0.400	382	1294	248	846	89	313
0.500	430	1455	279	949	94	330
0.6	473	1599	309	1,049.7	101	353.6

Nota.- La presión corregida se determina en el gráfico esfuerzo - Deformación



Penetración	Densidad Estándar	C.B.R (%)
--------------------	--------------------------	------------------

0,1" 95% 34.00

0,2" 95% 36.40

C.B.R RECOMENDADO 34

ENSAYO DE CBR

MOLDE No.:	7.0	8	9
Golpes/capa:	56	25	10
Masa compact (g)	11808	11486	11380
Masa molde (g)	7688	7684	7878
Volumen (cm ³)	2087	2105	2105

Dens. Hum. (g/cm ³)	1.974	1.806	1.664
CONTENIDO DE AGUA DE MOLDEO:	DENS. MAXIMA:		

Cap. N°	327	99	222	321	77	7
Masa húmeda (g)	87.26	95.81	93.69	90.03	103.33	90.21
Masa seca (g)	79.95	87.46	85.51	82.53	94.28	82.56
Masa capsula (g)	27.22	20.75	26.97	27.61	29.09	26.86
(%) agua	13.9	12.5	14.0	13.7	13.9	13.7
(%) agua promedio	13.2		13.8		13.8	
Dens. Seca:	1.744		1.587		1.462	

DURANTE LA SATURACION:

ESPONJAMIENTO:	dial	%	dial	%	dial	%
DIAS:	0	0.0		0.0		0.0
1	4	-0.04	8	0.05	7	0.02
2	4	-0.04	8	0.05	8	0.05
3	4	-0.04	9	0.07	9	0.07

PORCENTAJE DE AGUA ABSORBIDA:

Masa saturada	12022.0	11764.0	11770.0
(% W) absorbida	5.19	-302.10	11.14

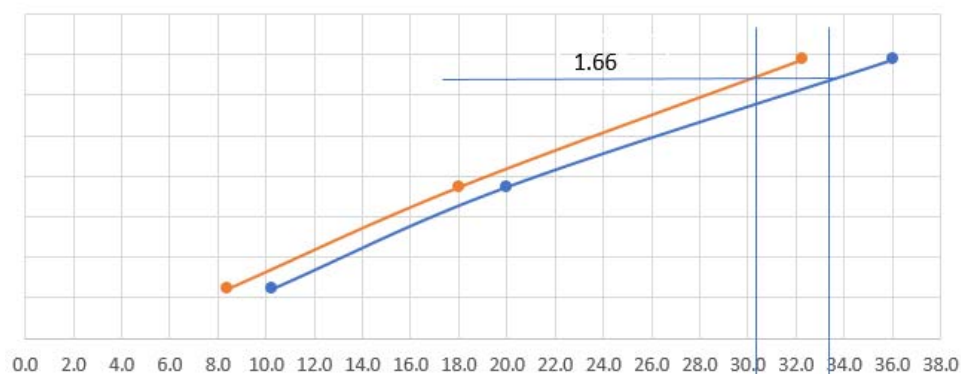
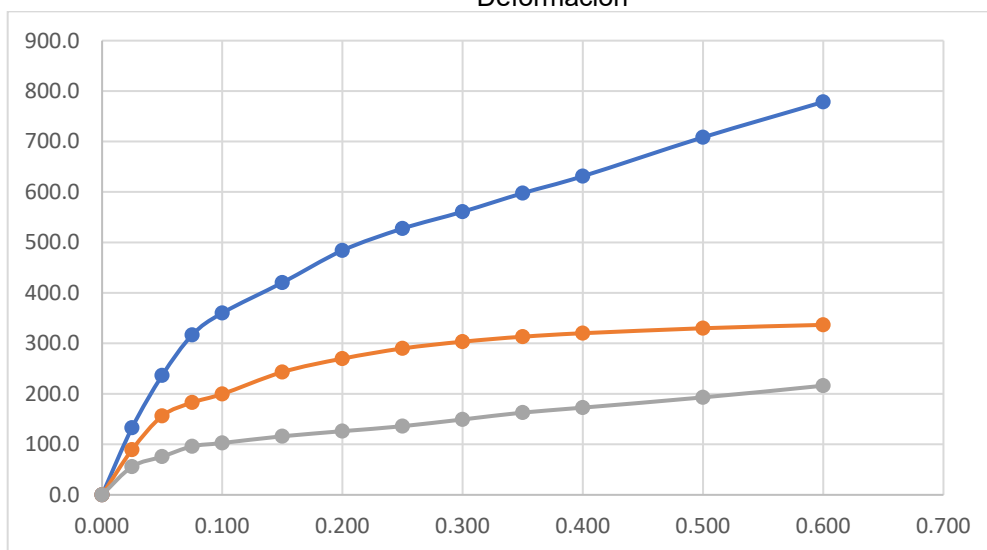
CONTENIDO DE AGUA LUEGO DE LA SATURACION

Masa húmeda (g)	92.7	100.9	107.2	121.9	106.3	105.3
Masa seca (g)	82.0	99.6	111.0	105.2	99.9	100.5

Masa capsula (g)	14.0	87.9	96.5	92.1	86.3	86.5
w (%):	27.6	27.3	27.3	29.3	27.2	26.8
w(%) prom.:		27.5		28.3		27.0

PENETRACION		CTE. DEL ANILLO = 10.0400					
penetracion (pulgadas)	dial	presion lb/plg ²	dial	presion lb/plg ²	dial	presion lb/plg ²	
0.000	0	0.0	0	0.0	0	0.0	
0.025	35	133	22	89	12	56	
0.050	66	236	42	156	18	76	
0.075	90	317	50	183	24	96	
0.100	103	360	55	200	26	103	
0.150	121	420	68	243	30	116	
0.200	140	484	76	270	33	126	
0.250	153	528	82	290	36	136	
0.300	163	561	86	303	40	149	
0.350	174	598	89	313	44	163	
0.400	184	631	91	320	47	173	
0.500	207	708	94	330	53	193	
0.6	228	779	96	336.8	60	216.3	

Nota.- La presión corregida se determina en el gráfico esfuerzo - Deformación



Penetración	Densidad Estándar	C.B.R (%)
0,1"	95%	31.00
0,2"	95%	33.00
C.B.R RECOMENDADO		31

Volume Report

Client: Prepared
by:
 Client Preparer
 Your
 Client Company
 Company Name
 Address 123 Main
 1 Street
 Date: 26/07/2025 11:14:19

Aignment: ALINEACION
 Sample Line Group: GLM-1
 Start Sta: 0+000.00
 End Sta: 1+900.24

Station	Cut Area (Sq.M.)	Cut Volume (Cu.M.)	Reusable Volume (Cu.M.)	Fill Area (Sq.M.)	Fill Volume (Cu.M.)	Cum. Cut Vol. (Cu.M.)	Cum. Reusable Vol. (Cu.M.)	Cum. Fill Vol. (Cu.M.)	Cum. Net Vol. (Cu.M.)
0+000.00	3.15	0	0	0	0	0	0	0	0
0+010.00	0.04	15.96	15.96	2.58	12.89	15.96	12.89	12.89	3.07
0+020.00	0	0.19	0.19	3.16	28.69	16.14	41.58	41.58	-25.44
0+030.00	0	0	0	3.48	33.19	16.14	74.77	74.77	-58.63
0+040.00	0	0	0	6.85	51.66	16.14	126.43	126.43	-110.29
0+050.00	0	0	0	8.26	75.58	16.14	202.01	202.01	-185.86
0+060.00	0	0	0	12.09	101.74	16.14	303.74	303.74	-287.6
0+070.00	0	0	0	19.25	156.68	16.14	460.42	460.42	-444.28
0+080.00	0	0	0	21.21	202.28	16.14	662.7	662.7	-646.56

0+090.00	0	0	0	18.83	200.18	16.14	862.89	862.89	-846.75
0+100.00	0	0	0	13.26	161.68	16.14	1,024.56	1,024.56	-1,008.42
0+110.00	0	0	0	3.55	85.54	16.14	1,110.10	1,110.10	-1,093.96
0+120.00	0.45	2.29	2.29	0.09	17.92	18.43	1,128.02	1,128.02	-1,109.59
0+130.00	3.54	20	20	0.04	0.65	38.43	1,128.67	1,128.67	-1,090.23
0+140.00	3.1	33.21	33.21	0.49	2.66	71.64	1,131.32	1,131.32	-1,059.68
0+150.00	6.61	48.2	48.2	0.68	5.93	119.84	1,137.25	1,137.25	-1,017.41
0+160.00	3.19	47.84	47.84	0.14	4.28	167.68	1,141.53	1,141.53	-973.84
0+170.00	4.08	35.82	35.82	0.04	0.97	203.5	1,142.49	1,142.49	-938.99
0+180.00	4.17	40.52	40.52	0.07	0.59	244.02	1,143.08	1,143.08	-899.06
0+190.00	1.23	25.95	25.95	5.16	28.31	269.96	1,171.39	1,171.39	-901.42
0+200.00	0	5.78	5.78	14.55	105.9	275.74	1,277.29	1,277.29	-1,001.55
0+210.00	0	0	0	19.74	177.73	275.74	1,455.02	1,455.02	-1,179.28
0+220.00	0.94	4.42	4.42	12.85	167.01	280.16	1,622.03	1,622.03	-1,341.87
0+230.00	3.97	23.43	23.43	18.31	161.52	303.58	1,783.55	1,783.55	-1,479.97
0+240.00	0.09	19.43	19.43	17.08	184.67	323.01	1,968.22	1,968.22	-1,645.21
0+250.00	2.4	11.88	11.88	7.44	128.73	334.89	2,096.94	2,096.94	-1,762.06
0+260.00	3.16	26.94	26.94	5	63.99	361.83	2,160.93	2,160.93	-1,799.10
0+270.00	6.35	47.55	47.55	3.87	44.34	409.39	2,205.27	2,205.27	-1,795.89
0+280.00	3.95	51.51	51.51	3.56	37.17	460.89	2,242.44	2,242.44	-1,781.55
0+290.00	0	19.46	19.46	2.25	29.79	480.35	2,272.24	2,272.24	-1,791.88
0+300.00	0.14	0.67	0.67	5.14	37.43	481.02	2,309.67	2,309.67	-1,828.65
0+310.00	0.62	3.76	3.76	8.97	70.56	484.78	2,380.23	2,380.23	-1,895.44
0+320.00	0.06	3.38	3.38	11.59	102.8	488.16	2,483.03	2,483.03	-1,994.87
0+330.00	0.45	2.57	2.57	8.18	96.22	490.73	2,579.25	2,579.25	-2,088.53
0+340.00	1.21	8.48	8.48	9.73	85.69	499.21	2,664.95	2,664.95	-2,165.74
0+350.00	0	6.19	6.19	25.43	167.82	505.4	2,832.77	2,832.77	-2,327.36
0+360.00	0	0	0	41.85	320.65	505.4	3,153.42	3,153.42	-2,648.01
0+370.00	0	0	0	49.46	434.35	505.4	3,587.76	3,587.76	-3,082.36

0+380.00	0	0	0	52.81	479.83	505.4	4,067.60	4,067.60	-3,562.19
0+390.00	0	0	0	54.99	510.76	505.4	4,578.35	4,578.35	-4,072.95
0+400.00	0	0	0	57.17	536.91	505.4	5,115.27	5,115.27	-4,609.86
0+410.00	0	0	0	58.56	578.67	505.4	5,693.94	5,693.94	-5,188.53
0+420.00	0	0	0	50.75	546.56	505.4	6,240.50	6,240.50	-5,735.09
0+430.00	0	0	0	24.55	376.53	505.4	6,617.03	6,617.03	-6,111.63
0+440.00	0	0	0	5.16	145.96	505.4	6,762.99	6,762.99	-6,257.59
0+450.00	0	0	0	4.97	50.52	505.4	6,813.51	6,813.51	-6,308.10
0+460.00	3.51	17.54	17.54	0.03	24.98	522.95	6,838.49	6,838.49	-6,315.54
0+470.00	10.64	70.74	70.74	0	0.13	593.69	6,838.62	6,838.62	-6,244.93
0+480.00	17.03	138.1	138.1	0	0	731.79	6,838.62	6,838.62	-6,106.83
0+490.00	24.32	205.37	205.37	0	0	937.16	6,838.62	6,838.62	-5,901.46
0+500.00	28.19	262.58	262.58	0	0	1,199.75	6,838.62	6,838.62	-5,638.88
0+510.00	31.41	298.02	298.02	0	0	1,497.76	6,838.62	6,838.62	-5,340.86
0+520.00	29.86	304.37	304.37	0	0	1,802.13	6,838.62	6,838.62	-5,036.49
0+530.00	27.36	284.49	284.49	0	0	2,086.62	6,838.62	6,838.62	-4,752.00
0+540.00	25.91	266.34	266.34	0	0	2,352.96	6,838.62	6,838.62	-4,485.66
0+550.00	20.51	229.63	229.63	0	0	2,582.59	6,838.62	6,838.62	-4,256.03
0+560.00	16.57	185.4	185.4	0	0	2,767.99	6,838.62	6,838.62	-4,070.63
0+570.00	14.04	153.08	153.08	0	0	2,921.07	6,838.62	6,838.62	-3,917.55
0+580.00	9.85	119.46	119.46	0	0	3,040.52	6,838.62	6,838.62	-3,798.10
0+590.00	7.71	88.34	88.34	3.31	16.26	3,128.86	6,854.88	6,854.88	-3,726.02
0+600.00	5.25	65.49	65.49	0.1	16.66	3,194.35	6,871.54	6,871.54	-3,677.19
0+610.00	2.52	38.86	38.86	1.32	7.1	3,233.22	6,878.65	6,878.65	-3,645.43
0+620.00	1.97	22.45	22.45	19.27	102.95	3,255.67	6,981.60	6,981.60	-3,725.93
0+630.00	0.71	13.83	13.83	25.26	204.6	3,269.49	7,186.20	7,186.20	-3,916.71
0+640.00	0	3.54	3.54	42.63	339.45	3,273.03	7,525.65	7,525.65	-4,252.62
0+650.00	0	0	0	12.93	295.94	3,273.03	7,821.58	7,821.58	-4,548.55
0+660.00	0.41	2.24	2.24	3.37	75.25	3,275.27	7,896.83	7,896.83	-4,621.56

0+670.00	0.07	2.58	2.58	8.73	57.54	3,277.84	7,954.37	7,954.37	-4,676.53
0+680.00	0	0.36	0.36	13.53	111.34	3,278.21	8,065.71	8,065.71	-4,787.51
0+690.00	0	0	0	7.51	105.23	3,278.21	8,170.95	8,170.95	-4,892.74
0+700.00	0.67	3.42	3.42	0.33	38.57	3,281.63	8,209.52	8,209.52	-4,927.89
0+710.00	5.7	32.46	32.46	0.02	1.68	3,314.09	8,211.20	8,211.20	-4,897.11
0+720.00	8.15	69.78	69.78	1.77	8.81	3,383.87	8,220.01	8,220.01	-4,836.14
0+730.00	18.47	130.85	130.85	0	9.22	3,514.73	8,229.23	8,229.23	-4,714.50
0+740.00	25.39	218.39	218.39	0	0	3,733.12	8,229.23	8,229.23	-4,496.11
0+750.00	33.9	296.46	296.46	0	0	4,029.58	8,229.23	8,229.23	-4,199.65
0+760.00	39.69	367.96	367.96	0	0	4,397.54	8,229.23	8,229.23	-3,831.68
0+770.00	50.84	452.66	452.66	0	0	4,850.21	8,229.23	8,229.23	-3,379.02
0+780.00	50.25	505.45	505.45	0	0	5,355.65	8,229.23	8,229.23	-2,873.57
0+790.00	12.42	312.74	312.74	0	0	5,668.40	8,229.23	8,229.23	-2,560.83
0+800.00	21.82	173.55	173.55	0	0	5,841.95	8,229.23	8,229.23	-2,387.28
0+810.00	31.21	267.4	267.4	0	0	6,109.35	8,229.23	8,229.23	-2,119.88
0+820.00	25.35	282.78	282.78	0	0	6,392.13	8,229.23	8,229.23	-1,837.10
0+830.00	6.25	157.21	157.21	0	0	6,549.34	8,229.23	8,229.23	-1,679.89
0+840.00	0	30.72	30.72	24.89	113.63	6,580.06	8,342.86	8,342.86	-1,762.80
0+850.00	2.78	14.45	14.45	10.81	165.25	6,594.51	8,508.11	8,508.11	-1,913.60
0+860.00	2.01	24.3	24.3	3.99	70.33	6,618.81	8,578.43	8,578.43	-1,959.62
0+870.00	0.02	10.17	10.17	4.72	43.52	6,628.98	8,621.95	8,621.95	-1,992.98
0+880.00	1.12	5.79	5.79	0.88	26.98	6,634.77	8,648.93	8,648.93	-2,014.16
0+890.00	11.67	63.09	63.09	0	4.24	6,697.87	8,653.17	8,653.17	-1,955.30
0+900.00	7.33	94.4	94.4	0	0	6,792.27	8,653.17	8,653.17	-1,860.91
0+910.00	15.32	113.25	113.25	0	0	6,905.52	8,653.17	8,653.17	-1,747.66
0+920.00	40.31	278.15	278.15	0	0	7,183.67	8,653.17	8,653.17	-1,469.50
0+930.00	48.63	444.7	444.7	0	0	7,628.37	8,653.17	8,653.17	-1,024.80
0+940.00	51.13	482.14	482.14	0	0	8,110.51	8,653.17	8,653.17	-542.67
0+950.00	46.33	472.62	472.62	0	0	8,583.13	8,653.17	8,653.17	-70.05

0+960.00	24.09	341.49	341.49	0	0	8,924.61	8,653.17	8,653.17	271.44
0+970.00	29.86	267.92	267.92	0	0	9,192.53	8,653.17	8,653.17	539.36
0+980.00	17.66	233.56	233.56	0.08	0.41	9,426.10	8,653.59	8,653.59	772.51
0+990.00	14.03	156.74	156.74	0.39	2.41	9,582.83	8,655.99	8,655.99	926.84
1+000.00	3.59	87.25	87.25	2.08	13.28	9,670.08	8,669.27	8,669.27	1,000.81
1+010.00	8.24	58.85	58.85	0	10.8	9,728.93	8,680.08	8,680.08	1,048.85
1+020.00	13.86	110.52	110.52	4.41	22.06	9,839.45	8,702.13	8,702.13	1,137.32
1+030.00	0	70.18	70.18	12.19	81.62	9,909.63	8,783.76	8,783.76	1,125.87
1+040.00	0	0	0	16.28	141.03	9,909.63	8,924.79	8,924.79	984.84
1+050.00	0	0	0	40.93	286.06	9,909.63	9,210.85	9,210.85	698.78
1+060.00	0	0	0	37.36	382.65	9,909.63	9,593.50	9,593.50	316.12
1+070.00	0	0	0	32.94	341.04	9,909.63	9,934.54	9,934.54	-24.91
1+080.00	0	0	0	47.21	400.76	9,909.63	10,335.30	10,335.30	-425.67
1+090.00	0	0	0	35.14	392.45	9,909.63	10,727.75	10,727.75	-818.12
1+100.00	0	0	0	14.19	237.97	9,909.63	10,965.71	10,965.71	-1,056.09
1+110.00	0	0	0	43.72	289.57	9,909.63	11,255.28	11,255.28	-1,345.65
1+120.00	0	0	0	33.4	385.6	9,909.63	11,640.88	11,640.88	-1,731.26
1+130.00	0	0	0	20.92	264.24	9,909.63	11,905.12	11,905.12	-1,995.49
1+140.00	3.4	17.42	17.42	28.03	235.61	9,927.05	12,140.73	12,140.73	-2,213.68
1+150.00	0	17	17	34.77	314.03	9,944.05	12,454.76	12,454.76	-2,510.71
1+160.00	6.62	33.1	33.1	16.91	258.42	9,977.14	12,713.17	12,713.17	-2,736.03
1+170.00	4.22	54.2	54.2	24.59	207.51	10,031.34	12,920.68	12,920.68	-2,889.34
1+180.00	0	21.1	21.1	21.29	229.43	10,052.44	13,150.11	13,150.11	-3,097.66
1+190.00	0.55	2.77	2.77	7.16	142.25	10,055.21	13,292.36	13,292.36	-3,237.14
1+200.00	31.88	162.19	162.19	8.35	77.54	10,217.41	13,369.90	13,369.90	-3,152.49
1+210.00	46.32	387.13	387.13	7.25	78.35	10,604.54	13,448.25	13,448.25	-2,843.71
1+220.00	42.91	412.36	412.36	8.08	81.23	11,016.90	13,529.48	13,529.48	-2,512.58
1+230.00	44.06	404.56	404.56	13.35	117.83	11,421.46	13,647.31	13,647.31	-2,225.85
1+240.00	23.4	318.8	318.8	9.76	123.44	11,740.26	13,770.76	13,770.76	-2,030.50

1+250.00	2.73	134.59	134.59	3.61	65.79	11,874.85	13,836.55	13,836.55	-1,961.70
1+260.00	0	13.27	13.27	7.5	55.28	11,888.12	13,891.82	13,891.82	-2,003.70
1+270.00	0	0	0	21.41	138.24	11,888.12	14,030.06	14,030.06	-2,141.95
1+280.00	0	0	0	22.17	208.75	11,888.12	14,238.82	14,238.82	-2,350.70
1+290.00	0.47	2.34	2.34	23.1	226.38	11,890.46	14,465.20	14,465.20	-2,574.73
1+300.00	0.07	2.72	2.72	20.39	217.45	11,893.18	14,682.65	14,682.65	-2,789.47
1+310.00	3.64	18.59	18.59	5.15	127.71	11,911.77	14,810.36	14,810.36	-2,898.59
1+320.00	13	83.22	83.22	0.17	26.64	11,994.99	14,836.99	14,836.99	-2,842.00
1+330.00	6.8	99	99	3.77	19.73	12,093.99	14,856.72	14,856.72	-2,762.73
1+340.00	9.83	83.16	83.16	0.67	22.24	12,177.15	14,878.96	14,878.96	-2,701.81
1+350.00	25.4	176.18	176.18	0	3.37	12,353.33	14,882.33	14,882.33	-2,529.00
1+360.00	20.32	229.17	229.17	0	0	12,582.50	14,882.33	14,882.33	-2,299.83
1+370.00	26.95	237.91	237.91	0	0	12,820.41	14,882.33	14,882.33	-2,061.92
1+380.00	26.43	266.9	266.9	0	0	13,087.31	14,882.33	14,882.33	-1,795.02
1+390.00	25.52	259.72	259.72	0	0	13,347.03	14,882.33	14,882.33	-1,535.30
1+400.00	29.23	273.74	273.74	0	0	13,620.77	14,882.33	14,882.33	-1,261.57
1+410.00	28.7	287.77	287.77	0	0	13,908.54	14,882.33	14,882.33	-973.79
1+420.00	34.62	312.01	312.01	0	0	14,220.55	14,882.33	14,882.33	-661.79
1+430.00	25.72	301.72	301.72	0.12	0.62	14,522.27	14,882.95	14,882.95	-360.68
1+440.00	12.61	191.66	191.66	1.73	9.26	14,713.94	14,892.21	14,892.21	-178.28
1+450.00	0	63.05	63.05	7.29	45.09	14,776.98	14,937.30	14,937.30	-160.32
1+460.00	4.76	24.46	24.46	7.53	70.65	14,801.44	15,007.94	15,007.94	-206.5
1+470.00	0.12	25.06	25.06	17.88	120.56	14,826.51	15,128.51	15,128.51	-302
1+480.00	0	0.59	0.59	26.79	218.39	14,827.09	15,346.90	15,346.90	-519.8
1+490.00	0	0	0	32.5	296.44	14,827.09	15,643.34	15,643.34	-816.24
1+500.00	0	0	0	30	312.51	14,827.09	15,955.85	15,955.85	-1,128.76
1+510.00	0	0	0	20.39	251.96	14,827.09	16,207.81	16,207.81	-1,380.72
1+520.00	0	0	0	10.73	155.63	14,827.09	16,363.45	16,363.45	-1,536.35
1+530.00	0	0	0	3.84	72.88	14,827.09	16,436.32	16,436.32	-1,609.23

1+540.00	4.14	20.7	20.7	0.03	19.35	14,847.80	16,455.68	16,455.68	-1,607.88
1+550.00	18.15	111.02	111.02	0	0.14	14,958.82	16,455.82	16,455.82	-1,497.00
1+560.00	29.62	236.28	236.28	0	0	15,195.09	16,455.82	16,455.82	-1,260.72
1+570.00	38.57	338.59	338.59	0	0	15,533.69	16,455.82	16,455.82	-922.13
1+580.00	35.68	371.24	371.24	0	0	15,904.93	16,455.82	16,455.82	-550.89
1+590.00	31.9	337.91	337.91	0	0	16,242.84	16,455.82	16,455.82	-212.98
1+600.00	22.22	270.62	270.62	0	0	16,513.46	16,455.82	16,455.82	57.64
1+610.00	13.4	179.02	179.02	0	0	16,692.48	16,455.82	16,455.82	236.66
1+620.00	10.02	117.61	117.61	0	0.02	16,810.09	16,455.84	16,455.84	354.25
1+630.00	7.49	88.01	88.01	0.29	1.43	16,898.10	16,457.27	16,457.27	440.83
1+640.00	3.56	55.2	55.2	1.27	7.79	16,953.31	16,465.07	16,465.07	488.24
1+650.00	8.27	59.13	59.13	0.28	7.74	17,012.44	16,472.80	16,472.80	539.63
1+660.00	14.18	112.23	112.23	0	1.38	17,124.67	16,474.19	16,474.19	650.48
1+670.00	22.37	184.57	184.57	0	0	17,309.24	16,474.19	16,474.19	835.05
1+680.00	27.25	250.53	250.53	0	0	17,559.77	16,474.19	16,474.19	1,085.58
1+690.00	33.83	308.46	308.46	0	0	17,868.23	16,474.19	16,474.19	1,394.04
1+700.00	34.41	344.05	344.05	0	0	18,212.28	16,474.19	16,474.19	1,738.09
1+710.00	30.49	329.5	329.5	0	0	18,541.78	16,474.19	16,474.19	2,067.59
1+720.00	19.77	254.58	254.58	0	0	18,796.36	16,474.19	16,474.19	2,322.17
1+730.00	20.51	202.38	202.38	0	0	18,998.73	16,474.19	16,474.19	2,524.54
1+740.00	26.87	237.26	237.26	0	0	19,235.99	16,474.19	16,474.19	2,761.80
1+750.00	32.76	298.57	298.57	0	0	19,534.56	16,474.19	16,474.19	3,060.37
1+760.00	40.24	364.98	364.98	0	0	19,899.54	16,474.19	16,474.19	3,425.35
1+770.00	47.59	439.15	439.15	0	0	20,338.69	16,474.19	16,474.19	3,864.50
1+780.00	56.9	522.46	522.46	0	0	20,861.15	16,474.19	16,474.19	4,386.96
1+790.00	71.8	643.53	643.53	0	0	21,504.68	16,474.19	16,474.19	5,030.49
1+800.00	72.11	719.59	719.59	0	0	22,224.26	16,474.19	16,474.19	5,750.08
1+810.00	51.57	618.43	618.43	0	0	22,842.70	16,474.19	16,474.19	6,368.51
1+820.00	36.5	440.37	440.37	0	0	23,283.07	16,474.19	16,474.19	6,808.88

1+830.00	26.82	316.59	316.59	0	0	23,599.67	16,474.19	16,474.19	7,125.48
1+840.00	20.44	236.28	236.28	0.09	0.45	23,835.95	16,474.64	16,474.64	7,361.31
1+850.00	16.89	186.67	186.67	1.02	5.53	24,022.61	16,480.17	16,480.17	7,542.44
1+860.00	15.68	162.89	162.89	1.98	14.97	24,185.50	16,495.14	16,495.14	7,690.36
1+870.00	14.91	152.99	152.99	2.46	22.18	24,338.49	16,517.32	16,517.32	7,821.18
1+880.00	14.3	146.06	146.06	2.87	26.61	24,484.55	16,543.93	16,543.93	7,940.62
1+890.00	12.07	131.85	131.85	3.76	33.12	24,616.40	16,577.05	16,577.05	8,039.35
1+900.00	7.64	98.55	98.55	8.79	62.76	24,714.94	16,639.80	16,639.80	8,075.14

EVIDENCIAS

ENSAYOS EN LABORATORIO	
CONTENIDO DE HUMEDAD	LIMITES DE ATTERBERG
	
	
	

