



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE CUENCA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**FORMULACIÓN, ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DEL PROYECTO DE
INFRAESTRUCTURA VIAL TIXAN-CHIQUINTAD, ABARCANDO EL
TRAMO ENTRE LAS PROGRESIVAS 1+900 Y 3+800, EN LA CIUDAD DE
CUENCA, PROVINCIA DEL AZUAY**

Trabajo de titulación previo a la obtención del
título de Ingeniero Civil

AUTORES: JORGE IVÁN CÓRDOVA MORENO

JAIME RENE ZHAGÑAY PALAGUACHI

TUTOR: ING. DANIEL LEONIDAS CÁRDENAS JARAMILLO, MSc.

Cuenca - Ecuador

2026

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Jorge Iván Córdova Moreno con documento de identificación N° 0350307849 y Jaime Rene Zhagñay Palaguachi con documento de identificación N° 0302519962; manifestamos que:

Somos los autores 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.

Cuenca, 29 de enero del 2026

Atentamente,



Jorge Iván Córdova Moreno
0350307849



Jaime Rene Zhagñay Palaguachi
0302519962

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

Nosotros, Jorge Iván Córdova Moreno con documento de identificación N° 0350307849 y Jaime Rene Zhagñay Palaguachi con documento de identificación N° 0302519962, 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 autores del Proyecto técnico: “Formulación, análisis y evaluación del proyecto de infraestructura vial Tixan-Chiquintad, abarcando el tramo entre las progresivas 1+900 y 3+800, en la ciudad de Cuenca, provincia del Azuay”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Civil, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada 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.

Cuenca, 29 de enero del 2026

Atentamente,



Jorge Iván Córdova Moreno
0350307849



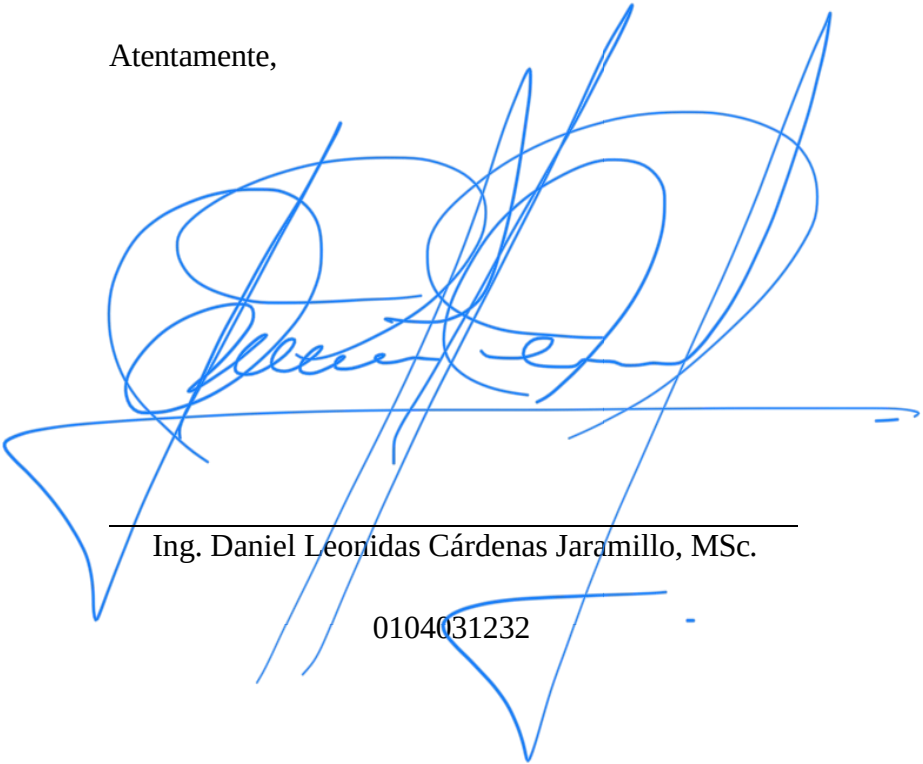
Jaime Rene Zhagñay Palaguachi
0302519962

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Daniel Leonidas Cárdenas Jaramillo con documento de identificación N° 0104031232, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: FORMULACIÓN, ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DEL PROYECTO DE INFRAESTRUCTURA VIAL TIXAN-CHIQUINTAD, ABARCANDO EL TRAMO ENTRE LAS PROGRESIVAS 1+900 Y 3+800, EN LA CIUDAD DE CUENCA, PROVINCIA DEL AZUAY, realizado por Jorge Iván Córdova Moreno con documento de identificación N° 0350307849 y por Jaime Rene Zhagñay Palaguachi con documento de identificación N° 0302519962, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Proyecto técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 29 de enero del 2026

Atentamente,



Ing. Daniel Leonidas Cárdenas Jaramillo, MSc.

0104031232

DEDICATORIA

Este trabajo de titulación es dedicado especialmente para mis padres, agradecerles de todo corazón por ser parte de este proyecto y de mi vida, son el motor para cada día ser una mejor persona y espero algún día poder devolverles la deuda tan grande que tengo con ellos. Son y serán siempre mi inspiración.

Gracias a Dios, por estar conmigo en los momentos donde sentía que debía rendirme, que simplemente nada tenía sentido, poco a poco él me enseñó que todo tiene un propósito y tú decides si lo aprendes y lo superas. “Si Dios conmigo, ¿quién contra mí?”, gracias por siempre ponerme los obstáculos necesarios para forjarme y aprender cada día un poco más.

A mi abuelita Chavi que desde que tengo memoria siempre ha estado conmigo cuidándome y aconsejándome, gracias por ser esa persona que a pesar de saber lo problemas que afrontaba siempre confiaba en mí y en mi futuro.

A mis ñaños, por su cariño y amor tan incondicional que me sirvió en los momentos más difíciles, les agradezco por ser parte de este proceso.

A mi tío Micho que siempre fue ese amigo que me aconsejo para cualquier situación.

Y por último y no menos importante a mi compañero Jaime Zhagñay por ser parte fundamental de la realización de este proyecto.

JORGE IVÁN CÓRDOVA MORENO

DEDICATORIA

Agradezco primero a Dios, el cual me ayudo y me dio la resistencia para poder finalizar este ciclo de vida, por darme la paciencia y sabiduría necesaria para poder afrontar cada capítulo que conllevó todo este proceso académico y no abandonarme nunca.

A mi madre, que me apoyo en todo este proceso siendo ella la principal razón por la cual pude finalizar todo este ciclo académico, que me apoyo en todos los momentos difíciles que pase y por nunca abandonarme, este logro es mas de ella que mío ya que siempre confió en mí y nunca dudo en que lo iba a lograr por eso le agradezco de todo corazón y que sepa que esto fue por y para ella.

A mis hermanas Jessenia, Micaela y Mishel, las cuales directa o indirectamente siempre me estuvieron apoyando, me aconsejaron e hicieron que en los procesos donde me iba a rendir siempre saliera adelante y no me rindiera, hicieron que este ciclo de vida sea más alegre, que lo pueda disfrutar sin centrarme en los problemas y adversidades que se presentaron en el transcurso.

Y finalmente a mi compañero Jorge Córdova, que siempre estuvo conmigo en todo este proceso educativo, gracias por apoyarme y avanzar conmigo a pesar de las adversidades que se presentaron en el camino, por el compromiso y desempeño que hizo al realizar este proyecto conmigo.

JAIME RENE ZHAGÑAY PALAGUACHI

AGRADECIMIENTOS

De la manera más sincera, expresamos nuestro agradecimiento a todas las personas que fueron parte para la realización de este proyecto.

A nuestras familias que siempre supieron darnos esa fuerza para nosotros poder aprender y sobresalir de cualquier dificultad que surgió a lo largo de nuestra etapa universitaria y más importante la confianza que depositaron para llegar hasta este día.

A nuestros amigos, gracias por el respaldo brindado a lo largo de esta etapa académica. Su apoyo incondicional, comprensión y motivación constante fueron fundamentales para superar los desafíos presentados durante el desarrollo de este trabajo. La amistad, el acompañamiento y la confianza fueron significativos para la culminación de este logro académico.

A los docentes que participaron en nuestra formación académica, el más sincero y profundo agradecimiento por sus conocimientos, orientación y acompañamiento a lo largo de este proceso. Su dedicación, profesionalismo y disposición para compartir su experiencia fueron fundamentales para el desarrollo y culminación de este trabajo. Sus enseñanzas han contribuido significativamente a mi crecimiento académico y profesional.

Y a todas las personas que formaron parte directa e indirectamente para la conclusión de este proyecto. Cada palabra, consejo de apoyo ha sido esencial para este logro.

Gracias a todos por ser parte de este camino.

JORGE IVÁN CÓRDOVA MORENO
JAIME RENE ZHAGÑAY PALAGUACHI

Contenido

ÍNDICE DE TABLAS.....	13
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	14
RESUMEN.....	16
ABSTRACT	17
INTRODUCCIÓN	19
CAPÍTULO I.....	21
1.- Problema de estudio	21
1.1.- Planteamiento del problema	21
1.1.- Ubicación	21
1.2.- Antecedentes.....	22
1.2.1.- Crecimiento Poblacional	24
1.3.- Justificación	25
1.4.- Estado del arte.....	26
1.5.- Objetivos.....	27
1.5.1.- Objetivo General.....	27
1.5.2.- Objetivos Específicos	27
CAPITULO II.....	28
2.- Marco Teórico	28
2.1.- Carreteras	29
2.1.2.- Clasificación de carreteras.....	29
2.1.2.1.- Clasificación por capacidad (Función del TPDA)	30
2.2.- Topografía.....	31
2.3.- Tráfico.....	32
2.3.1.- Trafico Promedio Diario Anual (TPDA).....	32
2.3.1.1.- Cálculo de factores del TPDA.....	32
2.3.2.- Tráfico Futuro	33
2.3.2.1.- Crecimiento normal del tráfico actual	33
2.4.- Diseño Geométrico	34
2.4.1.- Velocidad de diseño	35
2.4.1.1.- Relación con la velocidad de circulación	35
2.4.2.- Alineamiento Horizontal.....	37
2.4.2.1.- Curvatura Horizontal y Sobreelevación	38
2.4.2.2.- Factor máximo de Fricción lateral y Tasa de Sobreelevación o Peralte.....	39
2.4.2.3.- Radios Mínimos y sus correspondientes Grados Máximos de Curva	40
2.4.2.4.- Curvas Horizontales de Transición.....	42

2.4.2.5.- Sobreanchos en curva	47
2.4.3.- Distancias de visibilidad	49
2.4.3.1.- Distancia de visibilidad de parada	49
2.4.3.1.1.- Distancia de Visibilidad en Curvas Horizontales	53
2.4.3.2.- Distancia de Visibilidad en Adelantamiento	55
2.4.4.- Alineamiento Vertical	58
2.4.4.1.- Gradientes	58
2.4.4.1.1.- Gradientes Mínimos	60
2.4.4.1.2.- Longitud Crítica de Gradiente.....	60
2.4.4.2.- Curvas Verticales	61
2.4.4.2.1.- Curvas Verticales Convexas	63
2.4.4.2.2.- Curvas Verticales Cóncavas	66
2.5.- Diseño Estructural.....	68
2.5.1.- Capacidad Portante del Suelo.....	68
2.5.1.1.- Ensayo CBR	68
2.5.1.2.- Granulometría	69
2.5.1.3.- Plasticidad.....	69
2.5.1.4.- Humedad	70
2.5.2.- Tipos de Pavimentos.....	70
2.5.2.1.- Pavimento Flexible	70
2.5.2.2.- Pavimento Rígido.....	71
2.5.2.3.- Capa de Rodadura	71
2.5.2.4.- Base	72
2.5.2.5.- Subbase Granular	72
2.5.3.- Diseño de Pavimento Flexible.....	73
2.5.3.1.- Variables de Entrada.....	74
2.5.3.1.1.- Variables de Tiempo	74
2.5.3.1.2.- Variables de Tránsito	75
2.5.3.1.3.- Variable de Confiabilidad.....	75
2.5.3.1.4.- Niveles de Servicialidad	76
2.5.3.1.5.- Propiedades de los materiales.....	77
2.5.3.1.5.1.- Módulo Resiliente (Mr).....	77
2.5.3.1.5.2.- Número Estructural	79
2.5.3.2.- Determinación de Espesores	80
2.5.3.2.1.- Estabilidad y Factibilidad de Construcción.....	80
2.5.3.2.1.1.- Número equivalente de ejes	81

2.5.3.2.1.2.- Factor de distribución por dirección.....	83
2.5.3.2.1.3.- Factor de distribución por carril	83
2.5.3.3.- Espesores mínimos en función del SN.....	84
2.5.3.3.1.- Coeficientes Estructurales	85
2.6.- Drenaje Vial	87
2.6.1.- Cunetas.....	87
2.6.1.1.- Forma de la sección	87
2.6.1.2.- Diseño Hidráulico de Cunetas.....	88
2.6.1.2.1.- Cálculo del caudal en la estructura.....	88
2.6.1.2.2.- Longitud Permisible de Descarga	89
2.6.2.- Alcantarillas	90
2.6.2.1.- Recolección de datos.....	91
2.6.2.2.- Características de diseño.....	92
2.6.2.3.- Análisis Hidrológico	93
2.6.2.4.- Diseño Hidrológico para Alcantarilla	94
2.7.- Señalización	95
2.7.1.- Señalización Vertical.....	95
2.7.1.1.- Clasificación de la señalización vertical	96
2.7.1.2.- Formas de la señalización vertical	96
2.7.1.3.- Colores de la señalización.....	97
2.7.1.4.- Distancias de legibilidad	97
2.7.1.5.- Soportes de señalización	97
2.7.1.6.- Señales comúnmente utilizadas	98
2.7.2.- Señalización Horizontal	101
2.7.2.1.- Clasificación de señalización horizontal.....	101
2.7.2.2.- Colores de la señalización.....	101
2.7.2.3.- Diseño y ubicación de la señalización	102
2.7.2.4.- Líneas Longitudinales.....	102
2.7.2.5.- Doble línea continua.....	103
2.7.2.6.- Líneas de borde de calzada.....	104
2.7.2.7.- Líneas de borde de calzada continuas	104
CAPITULO III.....	105
3.- Metodología	105
3.1.- Levantamiento Topográfico.....	105
3.2.- Estudio de trafico.....	106
3.2.1.- Conteo Vehicular	106

3.2.2.- Clasificación Vehicular	107
3.2.3.- Factores de corrección	108
3.3.- Diseño Estructural.....	111
3.3.1.- Ensayos de laboratorio	111
3.3.1.1.- Extracción de muestras	111
3.3.1.2.- Granulometría	112
3.3.1.3.- Limites	113
3.3.1.3.1.- Limite Liquido	113
3.3.1.3.2.- Limite Plástico.....	113
3.3.1.4.- Ensayo de Proctor Modificado	114
3.3.1.5.- Ensayo CBR	115
3.3.2.- Diseño de pavimento flexible	116
3.3.2.1.- Coeficientes estructurales	116
3.4.- Diseño Geométrico	117
3.4.1.- Curvas de nivel.....	117
3.4.2.- Alineamiento horizontal	117
3.4.3.- Alineamiento Vertical	118
3.4.4.- Sub-ensamblaje	119
3.4.5.- Obra lineal	121
3.4.6.- Secciones Transversales	122
3.4.7.- Drenaje Vial	123
3.4.7.1.- Cunetas.....	123
CAPITULO IV	123
4.- Resultados	123
4.1.- Trafico Promedio Diario Anual (TPDA).....	123
4.2.- Ensayos de laboratorio	124
4.2.1.- Granulometría	124
4.2.2.- Limites	127
4.2.3.- Ensayo de Proctor Modificado	129
4.2.4.- Ensayo CBR	130
4.2.5.- Diseño de Pavimento.....	131
4.2.5.1- Calculo de Ejes Equivalentes de Carga (ESALs)	131
4.2.5.2.- Espesor de diseño.....	132
4.3.- Diseño Geométrico	133
4.3.1.- Velocidad de diseño	133
4.3.2.- Velocidad de Circulación	133

4.3.3.- Diseño Horizontal	133
4.3.3.1.- Peralte	133
4.3.3.2.- Radio mínimo	133
4.3.3.3.- Distancia de visibilidad de parada y rebasamiento	133
4.3.3.4.- Elementos de la curva	134
4.3.4.- Diseño Vertical.....	134
4.3.4.1.- Curvas verticales convexas	134
4.3.4.2.- Curvas verticales cóncavas	135
4.3.4.3.- Movimiento de tierras	135
4.4.- Obras de drenaje vial.....	136
4.4.1.- Estación Meteorológica	136
4.4.2.- Diseño de obra de drenaje	136
4.4.2.1.- Intensidad Máxima de Precipitación	136
4.4.2.2.- Coeficiente de escorrentía.....	137
4.4.2.3.- Calculo de las secciones de la cuneta	138
4.5.- Señalización	140
4.6.- Presupuesto.....	141
CAPITULO V	141
5.1.- Conclusiones.....	141
5.2.- Recomendaciones.....	144
5.3.- Bibliografía.....	145
CAPITULO VI	147
6.- Anexos	147

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Clasificación funcional de las vías en base al TPDA.....	30
Tabla 2 Tasas estimadas de Crecimiento del Tráfico Vehicular	34
Tabla 3 Relación entre velocidad de Diseño y Circulación	36
Tabla 4 Factores de Sobreelevación para diferentes tipos de Áreas	40
Tabla 5 Radios mínimos y grados máximos de curvas horizontales para distintas velocidades de diseño.....	41
Tabla 6 Longitudes de desarrollo de la Sobreelevación en carreteras de dos carriles, en metros	44
Tabla 7 Distancias de visibilidad de parada y de decisión. En Terreno Plano.....	51
Tabla 8 Distancias de visibilidad de parada y de decisión. En Pendiente de bajada y subida.....	52
Tabla 9 Decisión para evitar maniobras.....	53
Tabla 10 Distancias mínimas de diseño para carreteras rurales de dos carriles, en metros.....	57
Tabla 11 Parámetros Básicos	57
Tabla 12 Valores de diseño de Gradientes Longitudinales Máximas	59
Tabla 13 Curvas Verticales Convexas Mínimas	64
Tabla 14 Valores mínimos de diseño del coeficiente "K" para determinar la Longitud de Curvas Verticales Convexas Mínimas	65
Tabla 15 Curvas Verticales Cóncavas Mínimas	67
Tabla 16 Valores mínimos de diseño del coeficiente "K" para la Determinación de la Longitud de Curvas Verticales Cóncavas Mínimas.....	68
Tabla 17 Periodos de Análisis Recomendados según el tipo de Camino y volumen de Tránsito	74
Tabla 18 Niveles de Confiabilidad sugeridos para diferentes carreteras.....	76
Tabla 19 Valores de "K" en función de Esubrasante	78
Tabla 20 Plantilla para el cálculo manual de ESALs	81
Tabla 21 Espesores mínimos de concreto asfáltico y base granular.....	83
Tabla 22 Factores de Distribuciones por Carril (LD) según el número de carriles por dirección	84
Tabla 23 Velocidades de Agua que Erosionan diferentes materiales.....	90
Tabla 24 Valores máximos de velocidades no erosivas en cunetas	90
Tabla 25 Velocidades Máximas permisibles (m/s) para canales estables de alineamiento recto y tirante de 0.90m.....	93
Tabla 26 Distancias de legibilidad	97
Tabla 27 Relación Señalización - Línea de separación de circulación opuesta segmentada.....	102
Tabla 28 Consumo mensual de combustibles en la provincia del Azuay en 2023 (Galones) ...	110
Tabla 29 Cálculo de ITR.....	137
Tabla 30 Cálculo del Área Total.....	137
Tabla 31 Cálculo de Caudal para el método racional	138
Tabla 32 Calculo de caudal por el método racional.....	138
Tabla 33 Calculo de Área, Perímetro Mojado, Radio Hidráulico, Pendiente y Caudal de la Cuneta.....	139

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Vista del tramo vial en Google Earth	22
Ilustración 2 Comparación del crecimiento poblacional entre los años 2015 y 2025.....	24
Ilustración 3 Relación entre la velocidad de Diseño y Circulación.....	36
Ilustración 4 Componentes de la curva circular y espirales	43
Ilustración 5 Elementos de diseño para Curvas Horizontales y Velocidades de Diseño, e.max=6%.....	45
Ilustración 6 Elementos de diseño para Curvas Horizontales y Velocidades de Diseño, e.max=8%.....	46
Ilustración 7 Elementos de diseño para Curvas Horizontales y Velocidades de Diseño, e.max=10%.....	46
Ilustración 8 Elementos de diseño para Curvas Horizontales y Velocidades de Diseño, e.max=12%.....	47
Ilustración 9 Esquema para determinación del sobreechanco de un carril de tránsito en una curva	48
Ilustración 10 Distancia de Parada	50
Ilustración 11 Posición de secciones tipo en curva circular	54
Ilustración 12 Posición de secciones tipo en curva espiral.....	54
Ilustración 13 Etapas de la maniobra para adelantamiento en carreteras de dos carriles.....	56
Ilustración 14 Longitudes Críticas de Gradientes para Diseño.....	61
Ilustración 15 Tipos de Curvas Verticales.....	62
Ilustración 16 Módulo resiliente para bases granulares con más del 5% de finos.....	78
Ilustración 17 Relación entre Mr y CBR para base y subbase	79
Ilustración 18 Determinación del número estructural (SN) en función de las variables del diseño.....	80
Ilustración 19 Procedimiento para determinar espesores mínimos de capas.....	84
Ilustración 20 Grafica para determinar el coeficiente estructural a1 de capas asfálticas en función del módulo resiliente	85
Ilustración 21 Relación entre el coeficiente estructural para base granular y distintos parámetros resistentes	86
Ilustración 22 Relación entre el coeficiente estructural y subbase granular y distintos parámetros resistentes.....	86
Ilustración 23 Dimensiones Típicas de Cunetas Rectangulares.....	88
Ilustración 24 Coeficiente de escorrentía "C"	89
Ilustración 25 Elementos de una Alcantarilla.....	91
Ilustración 26 Soporte normal - Rural.....	98
Ilustración 27 Diseño de Flechas	98
Ilustración 28 Señalización Pare	98
Ilustración 29 Señalización de Ceda el Paso	99
Ilustración 30 Señalización de Doble Vía (R2-2)	99
Ilustración 31 Señalización límite máximo de velocidad	99
Ilustración 32 Señal de Advertencia de destino	100
Ilustración 33 Señalización Curva Cerrada.....	100
Ilustración 34 Señalización Curva y Contracurva cerrada	100
Ilustración 35 Líneas segmentadas de separación de circulación opuesta.....	103
Ilustración 36 Doble línea continua, con ejemplo de tachas a 12 m.....	104
Ilustración 37 Líneas continuas de borde, sin espaldón o berma	105

Ilustración 38	Instrumentos para el levantamiento topográfico (RKT)).....	105
Ilustración 39	Levantamiento Topográfico con RKT.....	106
Ilustración 40	Cámara para el conteo Vehicular	107
Ilustración 41	Formato para la clasificación vehicular.....	108
Ilustración 42	Extracción Calicata 1	111
Ilustración 43	Extracción Calicata 2	111
Ilustración 44	Serie de Tamices utilizados.....	112
Ilustración 45	Ensayo de Limite liquido	113
Ilustración 46	Ensayo de límite plástico realizado en laboratorio	114
Ilustración 47	Ensayo de Proctor Modificado	115
Ilustración 48	Ensayo de CBR realizado en laboratorio.....	116
Ilustración 49	Curvas de nivel en el tramo de estudio.....	117
Ilustración 50	Trazado del alineamiento horizontal sobre curvas de nivel.....	118
Ilustración 51	Perfil longitudinal del terreno y rasante del alineamiento vertical	119
Ilustración 52	Subensamblaje de la vía	120
Ilustración 53	Obra lineal.....	121
Ilustración 54	Secciones Transversales de la vía.....	122
Ilustración 55	Resultados obtenidos del TPDA.....	124
Ilustración 56	Curva Granulométrica - Calicata 1.....	125
Ilustración 57	Curva Granulométrica - Calicata 2.....	126
Ilustración 58	Grafica del límite liquido - Calicata 1	127
Ilustración 59	Límite plástico - Calicata 1	128
Ilustración 60	Grafica del límite liquido - Calicata 2	128
Ilustración 61	Límite plástico - Calicata 2	129
Ilustración 62	Grafica de Ensayo Proctor - Calicata 1	129
Ilustración 63	Grafica de Ensayo de Proctor - Calicata 2.....	130
Ilustración 64	Graficas de Ensayo CBR.....	131
Ilustración 65	Resultados ESALs.....	132
Ilustración 66	Pavimento Flexible.....	132
Ilustración 67	Diseño final de la estructura de pavimento	133
Ilustración 68	Elementos de la curva horizontal	134
Ilustración 69	Curvas Verticales Convexas.....	135
Ilustración 70	Movimiento de Tierra	135
Ilustración 71	Estacion Meteorológica Cuenca-Aeropuerto.....	136
Ilustración 72	Cálculo del ITR con la estación meteorológica CUENCA-AEROPUERTO	136
Ilustración 73	Coeficiente de escorrentía escogido	137
Ilustración 74	Señalización en la vía Tixan-Chiquintad.....	140
Ilustración 75	Presupuesto Estimado para la vía Tixan-Chiquintad.....	141

RESUMEN

El presente trabajo de titulación tiene como finalidad desarrollar el diseño geométrico y estructural del tramo vial **Tixán–Chiquintad**, orientado a mejorar las condiciones de sostenibilidad, accesibilidad y seguridad vial de la infraestructura existente.

El análisis preliminar evidencia un **deterioro avanzado de la superficie de rodadura**, caracterizado por la presencia de fisuras, baches, deformaciones, sistema de drenaje deficiente en ciertas zonas, desprendimientos y pérdida de textura, lo cual reduce la calidad de la circulación y aumenta el riesgo de siniestros. Estas fallas no solo elevan los costos operativos de los vehículos (por ejemplo, consumo de combustible, desgaste de neumáticos y daños mecánicos), sino que también incrementan el tiempo de viaje, afectando la productividad y el acceso a servicios básicos.

Para garantizar un diseño vial coherente y eficiente, el proyecto se sustentó en una fase de diagnóstico y recopilación de información primaria que incluyó levantamientos topográficos, estudios de tránsito vehicular y ensayos geotécnicos. Estos elementos son esenciales para comprender las condiciones del terreno, el comportamiento del suelo y la demanda actual y futura de tráfico. En base en esta información, se definió un trazado geométrico que se adapta a la topografía del área, cumpliendo con los parámetros establecidos por la normativa técnica vigente y considera las proyecciones de crecimiento del tránsito con una estructura de pavimento adecuados

El diseño estructural del pavimento se planteó con base en la caracterización de la capacidad portante de la subrasante, los materiales disponibles en el área de influencia y el tránsito proyectado, con el objetivo de asegurar un comportamiento funcional y una vida útil acorde a las condiciones de operación de la vía. Este enfoque permite determinar de manera precisa la composición y espesores de las capas del pavimento (subrasante mejorada, subbase, base y carpeta asfáltica), garantizando resistencia a las cargas repetidas y minimizando los riesgos de fallas como deformaciones permanentes, fisuración o pérdida de cohesión. Asimismo, el diseño estructural consideró la necesidad de que la vía soporte el crecimiento del tránsito en el mediano y largo plazo, manteniendo niveles de servicio adecuados y reduciendo los costos de mantenimiento

Se diseñó un sistema de drenaje eficiente que incluye elementos superficiales y longitudinales, con la finalidad de evacuar adecuadamente las aguas pluviales y proteger la estructura del pavimento. El control de la escorrentía es fundamental para evitar la saturación de la subrasante, la erosión de los materiales de base y la aparición de fallas prematuras, especialmente en regiones donde las lluvias pueden ser intensas o frecuentes. El diseño de drenaje considera factores como la topografía, el caudal de escorrentía, el tipo de suelo y la capacidad de los desagües, lo cual permite preservar la integridad del pavimento y prolongar su vida útil.

Adicionalmente, se planteó un esquema de señalización horizontal y vertical acorde a las necesidades del tramo, con el propósito de mejorar la seguridad vial, orientar a los usuarios y reducir el riesgo de accidentes. La señalización constituye un componente esencial de la infraestructura vial, ya que facilita la lectura del camino, advierte sobre condiciones críticas (curvas, cambios de pendiente, intersecciones) y regula el flujo vehicular, contribuyendo a un tránsito más ordenado y seguro. En conjunto, estos elementos estructurales, hidráulicos y de seguridad conforman una solución integral que responde a las necesidades del sector, promoviendo una vía más durable, funcional y segura para los usuarios.

Como resultado, se proporciona una solución técnica completa que responde las demandas presentes y futuras del sector, fomentando una infraestructura de carreteras más segura, funcional y duradera. Por último, se realizó el presupuesto referencial para la ejecución de la obra, cuyo monto asciende a **USD 785.081,44**, permitiendo evaluar la viabilidad económica del proyecto y su proyección como una inversión estratégica para el desarrollo local y la mejora de la calidad de vida de la población.

Palabras Claves: Diseño geométrico, Diseño estructural de pavimentos, Vía rural, Infraestructura vial, Tránsito vehicular, Subrasante, Sistema de drenaje vial, Seguridad vial, Sostenibilidad, Normativa MTOP

ABSTRACT

The objective of this thesis is to develop the geometric and structural design of the Tixán-Chiquintad road section to improve the sustainability, accessibility, and road safety of the existing infrastructure.

The preliminary analysis shows advanced deterioration of the road surface, characterized by cracks, potholes, deformations, poor drainage in certain areas, landslides, and loss of texture, which reduces traffic quality and increases the risk of accidents. These deficiencies not only increase vehicle operating costs (e.g., fuel consumption, tire wear, and mechanical damage), but also increase travel time, affecting productivity and access to basic services.

To ensure a coherent and efficient road design, the project was based on a diagnostic phase and the collection of primary information, including topographic surveys, traffic studies, and geotechnical tests. These elements are essential for understanding terrain conditions, soil behavior, and current and future traffic demand.

Based on this information, a geometric layout was defined that adapts to the topography of the area, complies with the parameters established by current technical regulations, and takes into account traffic growth forecasts with an appropriate pavement structure.

The structural design of the pavement was based on the characterization of the bearing capacity of the subgrade, the materials available in the area of influence, and the projected traffic, with the aim of ensuring functional performance and a service life in line with the operating conditions of the road.

This approach allows for the precise determination of the composition and thicknesses of the pavement layers (improved subgrade, subbase, base, and asphalt surface course), ensuring resistance to repeated loads and minimizing the risk of failures such as permanent deformation, cracking, or loss of cohesion. Likewise, the structural design considered the need for the road to support traffic growth in the medium and long term, maintaining adequate service levels and reducing maintenance costs.

Efficient drainage system designed to include surface and longitudinal elements, with the aim of adequately evacuating rainwater and protecting the pavement structure. Runoff control is essential to prevent subgrade saturation, base material erosion, and premature failure, especially in regions where rainfall can be intense or frequent. The drainage design considers factors such as topography, runoff flow, soil type, and drainage capacity, which helps preserve the integrity of the pavement and extend its service life.

In addition, a horizontal and vertical signage scheme was proposed in accordance with the needs of the section, with the aim of improving road safety, guiding users, and reducing the risk of accidents. Signage is an essential component of road infrastructure, as it facilitates road reading, warns of critical conditions (curves, changes in gradient, intersections), and regulates traffic flow, contributing to more orderly and safer traffic.

Together, these structural, hydraulic, and safety elements form a comprehensive solution that meets the needs of the sector, promoting a more durable, functional, and safer road for users.

As a result, a comprehensive technical solution is provided that meets the current and future demands of the sector, promoting a safer, more functional, and more durable road infrastructure. Finally, a reference budget for the execution of the work was drawn up, amounting to USD 785,081.44, allowing for an assessment of the economic viability of the project and its projection as a strategic investment for local development and improving the quality of life of the population.

Keywords: Geometric design, Structural pavement design, Rural Road, Road infrastructure, Vehicular traffic, Subgrade, Road drainage system, Road safety, Sustainability, MTOP regulations

INTRODUCCIÓN

El presente estudio se centra en el desarrollo del diseño geométrico y estructural de la carretera **Tixán–Chiquintad**, abarcando el tramo comprendido entre las abscisas **1+900 y 3+800**, ubicado en el cantón Cuenca, provincia del Azuay. El trabajo se orienta a proponer soluciones técnicas factibles que permitan optimizar la transitabilidad, incrementar la seguridad vial y garantizar la sostenibilidad de esta vía rural de importancia local. En este sentido, el proyecto busca establecer un diseño integral que responda a las condiciones del entorno y a las necesidades del tránsito, contribuyendo al mejoramiento de la conectividad y al desarrollo socioeconómico de la zona.

La vía **Tixán–Chiquintad** desempeña un papel fundamental en la dinámica socioeconómica del sector, al constituir una de las ramas secundarias viales que conecta los principales corredores de movilidad para la población local y el transporte de productos agrícolas y pecuarios hacia los centros de comercialización y servicios ubicados en la ciudad de Cuenca. En este sentido, la carretera es un elemento clave para

la integración territorial, ya que facilita el acceso a mercados, educación, salud y otras actividades económicas que contribuyen al desarrollo de la parroquia Chiquintad y de las zonas rurales aledañas.

Actualmente la vía presenta deficiencias geométricas y estructurales, las cuales inciden de manera directa en su capacidad operativa, seguridad y durabilidad. El estudio considera elementos geométricos como el alineamiento horizontal y vertical, las curvas, el peralte, las pendientes y las distancias de visibilidad, así como aspectos estructurales relacionados con la selección del tipo de pavimento más adecuado, la capacidad portante de la subrasante y el diseño de un sistema de drenaje eficiente. Este enfoque permite identificar las causas del deterioro existente y proponer una solución de diseño que optimice el funcionamiento de la vía y prolongue su vida útil.

La investigación se desarrolló empleando una metodología técnica que consideró un levantamiento topográfico detallado del tramo de estudio, así como estudios de tránsito vehicular orientados a determinar el Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA) y su proyección futura. Asimismo, se realizaron análisis geotécnicos del suelo mediante ensayos de laboratorio, entre los cuales se incluyó el ensayo CBR, con el objetivo de caracterizar la capacidad portante de la subrasante y las propiedades físicas de los materiales. Con base en estos resultados, se evaluó y definió la estructura de pavimento más adecuada utilizando el método AASHTO 93, el cual permite dimensionar capas del pavimento en función de la demanda vehicular y las condiciones del suelo.

De manera complementaria, se incorporaron criterios de diseño y parámetros establecidos en normativa local e internacional, como la **Norma Ecuatoriana Vial NEVI-12 del MTOP** y las **Normas de Diseño Geométrico del 2003**, con el propósito de asegurar el cumplimiento de los estándares técnicos y ambientales vigentes. Este enfoque permitió sustentar el diseño geométrico y estructural dentro de un marco normativo sólido, garantizando que las soluciones propuestas sean viables, seguras y sostenibles.

Con esto se pretende obtener un diseño vial óptimo que se ajuste de manera adecuada a las condiciones geográficas, geotécnicas y climáticas del área de estudio, con el fin de mejorar la funcionalidad y la seguridad de la carretera. El objetivo es disminuir los costos operativos del transporte, incrementar la vida útil del pavimento y asegurar condiciones apropiadas para el desplazamiento de vehículos y peatones a lo largo del

tramo analizado. Adicionalmente, se busca que el diseño propuesto constituya un referente técnico aplicable a proyectos similares en zonas rurales del Ecuador, aportando criterios de diseño y soluciones constructivas que puedan ser replicadas en contextos análogos.

CAPÍTULO I

1.- Problema de estudio

1.1.- Planteamiento del problema

La vía Tixán–Chiquintad, ubicada en el cantón Cuenca, presenta importantes deficiencias geométricas, estructurales y de drenaje que afectan la seguridad y funcionalidad del tránsito vehicular y peatonal. Entre los principales problemas se identifican trazados inadecuados con radios de curva inferiores a los recomendados, ausencia de sobreelevos en curvas, visibilidad insuficiente y una superficie de rodadura deteriorada, caracterizada por baches, fisuras y ahuellamientos. A ello se suma la inexistencia de un sistema de drenaje adecuado, lo que provoca inundaciones en viviendas cercanas.

Estas condiciones se agravan durante la temporada lluviosa, cuando el incremento de la erosión y la acumulación de agua aceleran el deterioro de la infraestructura vial, comprometiendo la seguridad de los usuarios y reduciendo la conectividad de la comunidad. La vía tiene una longitud aproximada de **1,9 km** y constituye un eje fundamental para la integración de las comunidades rurales, facilitando el acceso a servicios básicos y a centros de comercialización.

La economía local depende principalmente de actividades agrícolas y ganaderas, cuyo desarrollo requiere una red vial en condiciones óptimas. Sin embargo, el tránsito frecuente de vehículos de carga pesada, sumado a la falta de mantenimiento periódico, ha acelerado el deterioro de la calzada, generando fallas estructurales y procesos erosivos.

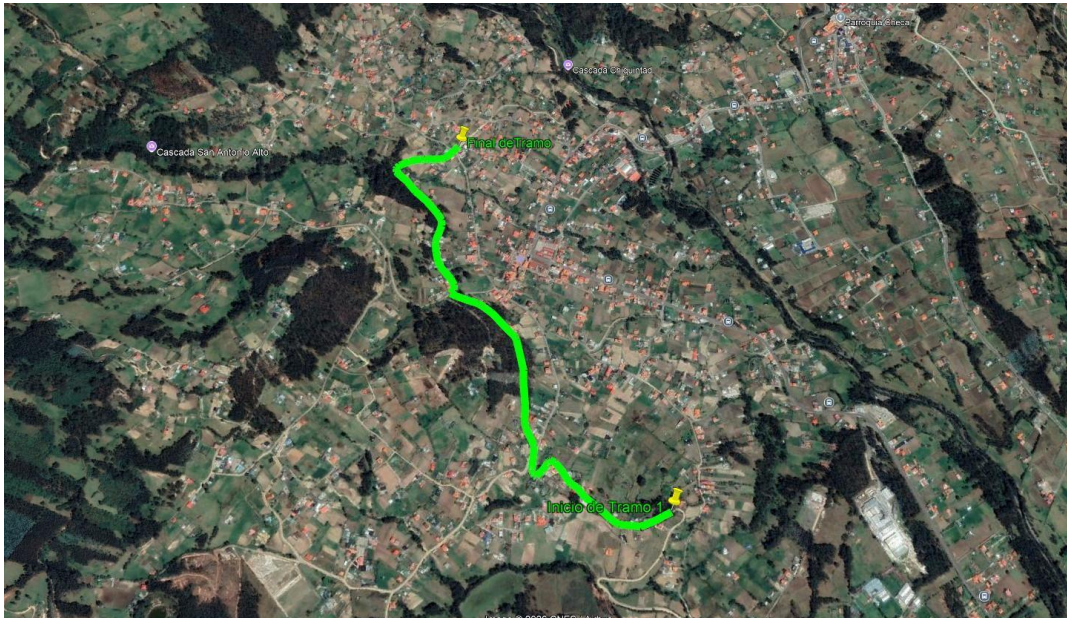
1.1.- Ubicación

La zona de estudio se encuentra entre las abscisas 1+900 y 3+800, se ubica en la ciudad de Cuenca, Provincia del Azuay entre las coordenadas N9688064.601-E722491.687-Z2711.691(2°49'13.8"S78°59'55.0"W,2711.7) hasta N9689234.233-

E721842.420-Z2713.831(2°48'11.9"S79°00'26.5"W,2713.8) con una longitud total de 1,9 km aproximadamente.

Ilustración 1

Vista del tramo vial en Google Earth



Nota. Fuente: Google Earth.

1.2.- Antecedentes

Actualmente, la vía Tixán-Chiquitad, en el cantón Cuenca, presenta múltiples deficiencias tanto en trazados inadecuados con radios menores a los recomendados, falta de sobre anchos en curvas lo que provoca que los vehículos invadan carriles contrarios, visibilidad insuficiente por diseño de curvas verticales u horizontales que no cumplen con la distancia de visibilidad de frenado. También en lo estructural, superficie de rodadura deteriorada es decir presencia de baches, fisuras, ahuellamientos o desprendimientos, inexistencia de drenaje causante de inundaciones en casas vecinas. Lo que dificulta considerablemente el tránsito vehicular y peatonal. Estas deficiencias se acentúan de manera significativa en la temporada lluviosa, cuando el estado de la vía se deteriora con mayor rapidez como consecuencia del incremento en la erosión del terreno y la concentración de agua en diversos puntos vulnerables de la infraestructura vial, situación que compromete la seguridad de los usuarios y reduce la capacidad de conectividad y movilidad hacia la comunidad.

La vía existente tiene una longitud de 1.9 km y se extiende desde las coordenadas N9688064.601-E722491.687-Z2711.691 (2°49'13.8"S78°59'55.0"W,2711.7), hasta las coordenadas N9689234.233-E721842.420-Z2713.831 (2°48'11.9"S79°00'26.5"W,2713) favoreciendo la integración entre las comunidades rurales y optimizando el acceso a los servicios básicos y a los centros de comercialización locales. Gracias a su ubicación, esta vía constituye un elemento esencial para garantizar la movilidad y conectividad de la población.

La economía de la zona se sustenta principalmente en actividades agrícolas, las cuales representan el eje productivo predominante del territorio. La producción agrícola se orienta a los cultivos de ciclo corto y al establecimiento de pastizales destinadas al sustento del ganado, destacándose la cría de bovinos, porcinos y aves de corral.

El adecuado funcionamiento de la cadena de suministro agropecuaria depende de una red vial con condiciones óptimas de transitabilidad que asegure el transporte eficiente, seguro y continuo de productos. Sin embargo, las deficiencias existentes en la infraestructura vial limitan la conectividad y desarrollo económico de la zona.

Otro factor que ha incidido en el deterioro progresivo de la vía corresponde al tránsito constante de vehículos de carga pesada. La elevada frecuencia de circulación, junto con la ausencia de un mantenimiento periódico de la calzada, ha acelerado el deterioro de la estructura vial, provocando deformaciones en la capa de rodadura, fallas estructurales y procesos erosivos por acción hídrica. En consecuencia, se ve comprometida la seguridad de los usuarios y habitantes del sector, aumentando la probabilidad de siniestros viales y reduciendo la eficiencia operativa del transporte en la zona.

Según estudios del GAD Municipal de Chiquintad, los suelos predominantes en la zona de Tixán-Chiquintad son arcillosos, estos suelos se distinguen por presentar elevada plasticidad durante la temporada húmeda y una resistencia al corte reducida cuando se encuentran saturados, lo que provoca inestabilidad en taludes y cunetas, así como un comportamiento expansivo que origina fisuras en los pavimentos, también se encuentran suelos francos, son suelos con una textura balanceada, integrados por proporciones similares de arena, limo y arcilla, lo que les otorga propiedades intermedias entre los suelos arenosos y arcillosos. Estos presentan alta capacidad de retención de agua

y nutrientes, drenaje moderado, y estabilidad estructural relativa, siendo aptos tanto para usos agrícolas como para su empleo como material de subrasante en proyectos de ingeniería civil, siempre que se aseguren condiciones adecuadas de compactación y contenido de humedad.

Considerando esto, es crucial analizar el estado vigente de la infraestructura vial, determinando los factores que contribuyen a su deterioro y planteando alternativas técnicas que mejoren su desempeño y vida útil. La rehabilitación y optimización de esta vía no solo incrementaría la accesibilidad y seguridad para los usuarios locales, sino que también favorecería el desarrollo económico de la región al facilitar el transporte eficiente de bienes y servicios esenciales.

1.2.1.- Crecimiento Poblacional

En los últimos años, la parroquia Chiquintad ha experimentado un marcado crecimiento poblacional, lo que ha dado lugar a una expansión progresiva de las zonas urbanas y rurales. Este desarrollo ha incrementado la demanda de infraestructura vial, ha modificado los patrones de tráfico y exige mayores niveles de servicio y seguridad. Para evidenciar esta evolución, se presenta un análisis comparativo basado en imágenes satelitales de Google Earth, donde se observa un aumento totalmente descontrolado de edificaciones tanto residenciales como comerciales que alteran y modifican el uso del suelo, también se aprecia una expansión a las zonas que antes estaban inhabitadas y ahora están siendo circuladas por un tráfico vehicular y peatonal, haciendo que esto genere una necesidad urgente de intervención vial que ayude a una movilidad más agilizada cumpliendo los criterios del sector.

Ilustración 2

Comparación del crecimiento poblacional entre los años 2015 y 2025



Nota. Fuente: Google Earth.

1.3.- Justificación

El presente estudio abarca la formulación, análisis y evaluación del proyecto de infraestructura vial Tixán-Chiquintad en su trazado geométrico, la cual cumple un rol fundamental en la conectividad y desarrollo socioeconómico de la zona, así elevando la calidad de vida de los residentes del sector Tixán-Chiquintad mediante la mejora de la red vial rural, incrementando la eficiencia de la movilidad, disminuyendo los índices de siniestralidad y agilizando el transporte de bienes y servicios fundamentales.

El proyecto tiene como finalidad superar estas limitaciones mediante un enfoque técnico integral, que combine estudios geotécnicos, diseño geométrico optimizado con software especializado y la aplicación de sistemas de drenaje sostenibles. Se prevé que los resultados no solo fortalezcan la infraestructura vial, sino que también proporcionen bases técnicas robustas para la planificación y ejecución de proyectos de mejoramiento vial rural, optimizando la inversión pública en infraestructura y, principalmente, mejorando la calidad de vida de los habitantes de Tixán-Chiquintad mediante una vía segura, eficiente y funcional a lo largo de todo el año.

La optimización de la red vial no solo incrementará la accesibilidad y seguridad para los habitantes, sino que también ejercerá un efecto positivo sobre la economía local. Una vía en mejores condiciones facilitará el acceso a centros de abastecimiento, mercados y distribuidores, promoviendo una comercialización más eficiente de los productos agropecuarios y generando mayores oportunidades de crecimiento económico para la comunidad.

De igual manera, el diseño de la vía contribuirá a incrementar la seguridad vial al reducir los riesgos vinculados con curvas peligrosas, hundimientos y procesos erosivos en la calzada. La incorporación de un sistema de drenaje eficiente permitirá prevenir la acumulación de agua y mitigar los efectos de la erosión hídrica, prolongando así la vida útil de la infraestructura y asegurando su operación efectiva a largo plazo.

1.4.- Estado del arte

En el contexto ecuatoriano, la situación de las vías rurales presenta múltiples retos. En provincias como Azuay, predominan caminos de lastre con bajo nivel de durabilidad, limitada visibilidad, pendientes no uniformes y falta de peralte adecuado en curvas, lo que incrementa los riesgos de siniestros y dificulta la conectividad de comunidades aisladas. Estas limitaciones han sido ampliamente documentadas en informes técnicos y estudios de movilidad rural, que señalan la necesidad de aplicar criterios de diseño geométrico y estructural adaptados a las condiciones topográficas, climáticas y de tránsito de cada región.

La vía **Tixán-Chiquintad** constituye un ejemplo representativo de estas problemáticas, ya que conecta varias comunidades rurales con centros urbanos y comerciales, pero presenta deficiencias significativas en su estructura y geometría. La intervención técnica y planificada de este tramo busca garantizar la seguridad de los usuarios, mejorar la funcionalidad y reducir los costos de mantenimiento a largo plazo, siguiendo lineamientos de normativas locales y estándares internacionales para el diseño de vías rurales. Este tipo de intervenciones refleja la importancia de integrar estudios topográficos, análisis de tránsito y criterios de ingeniería vial en la planificación de proyectos de infraestructura en zonas rurales.

La normativa nacional vigente, como la Norma Ecuatoriana Vial NEVI-12 y las Normas de Diseño Geométrico del MTOP (2003), establecen los criterios técnicos para el diseño de carreteras, considerando aspectos clave como el tipo de vía, el volumen de tránsito, la velocidad de diseño, el radio mínimo de curvatura, las pendientes máximas y las condiciones topográficas. Estas normas proporcionan el marco de referencia que permite garantizar la funcionalidad y seguridad de las vías proyectadas.

ASHTO 1993 se ha consolidado como la referencia más empleada para el dimensionamiento de carreteras. Esta metodología permite estimar la estructura del pavimento considerando variables fundamentales, tales como el tránsito proyectado expresado en ESALs (Equivalent Single Axle Loads), la capacidad portante del suelo evaluada mediante ensayos de CBR (California Bearing Ratio), la disponibilidad y características de los materiales locales, las condiciones climáticas de la zona y la vida útil esperada del pavimento.

La decisión entre emplear un pavimento flexible o rígido se realiza mediante un análisis técnico integral que prioriza criterios de durabilidad, eficiencia económica y facilidad de mantenimiento a lo largo del horizonte de diseño. La aplicación de este enfoque metodológico garantiza que la estructura del pavimento se adecúe a las cargas de tránsito previstas y a las condiciones específicas del terreno, asegurando la funcionalidad y seguridad de la vía durante su vida útil.

En cuanto a estudios de caso similares, varias tesis y proyectos de titulación en universidades del país han abordado el rediseño de vías rurales con base en estas normativas. En dichos estudios se han identificado problemas recurrentes como el inadecuado manejo de aguas superficiales, la falta de estabilización del terreno y la ausencia de análisis de crecimiento poblacional, lo cual compromete la sostenibilidad de las soluciones implementadas.

La vía Tixán-Chiquintad, objeto de este estudio, representa un ejemplo de infraestructura vial rural con alto potencial de transformación mediante la aplicación técnica de estos lineamientos. Este estudio se integra a una línea de proyectos que buscan adaptar criterios normativos y técnicos al contexto de las vías rurales del Azuay, bajo condiciones geográficas y funcionales particulares.

1.5.- Objetivos

1.5.1.- Objetivo General

- ✓ Realizar el diseño geométrico y estructural de la red vial rural Tixán-Chiquintad, en el cantón Cuenca, asegurando el cumplimiento de las normas vigentes, con el objetivo de garantizar su funcionalidad, seguridad y durabilidad, tomando en cuenta las condiciones geotécnicas del área.

1.5.2.- Objetivos Específicos

- ✓ Ejecutar un levantamiento topográfico integral de la vía rural para caracterizar su trazado existente, pendientes longitudinales y transversales, radios de curva, así como sus atributos planimétricos y altimétricos.
- ✓ Realizar estudios geotécnicos del terreno mediante ensayos de mecánica de suelos, con el fin de determinar la capacidad portante y definir los espesores

y la selección de materiales óptimos para la subrasante y la estructura del pavimento.

- ✓ Cuantificar y clasificar los flujos de tránsito vehicular, identificando los tipos de vehículos y cargas actuantes, para diseñar una estructura pavimentada capaz de soportar las solicitudes presentes y proyectadas.
- ✓ Diseñar la geometría vial, contemplando alineamiento horizontal y vertical, peraltes, pendientes y secciones transversales, asegurando el cumplimiento de la normativa vigente y la garantía de seguridad, comodidad y eficiencia en la circulación.
- ✓ Diseñar un sistema de drenaje eficiente, destinado a la evacuación controlada de escorrentías superficiales y a la mitigación de procesos erosivos en taludes, cunetas y la calzada.
- ✓ Seleccionar y dimensionar los materiales para la estructura del pavimento, considerando criterios de durabilidad, resistencia mecánica y facilidad de mantenimiento, con el objetivo de asegurar la funcionalidad y vida útil de la vía.

CAPITULO II

2.- Marco Teórico

Dentro de la ingeniería civil, el diseño de infraestructura vial es un conjunto de estudios, diseños, obras y acciones técnicas orientadas a la planificación, construcción o mejoramiento de infraestructura destinada al transporte terrestre siendo así un elemento fundamental, ya que involucra el análisis de una variedad de factores (como la topografía, hidrología y demanda del tráfico a futuro) con el objetivo de garantizar la seguridad, funcionalidad y durabilidad de la infraestructura vial.

En este escenario, la carretera Tixán - Chiquintad se vuelve particularmente importante como proyecto vial ya que es un punto estratégico para el crecimiento socioeconómico de la ciudad de Cuenca. Por lo tanto, su proyecto requiere un enfoque integral que combine un correcto estudio de proyecto de alineamientos verticales y horizontales, pendientes permitidas, radios curvos, anchos de calzada y criterios para frenado, base, subbase, subrasante, carpeta asfáltica, hidrología para garantizar cargas operativas, normas medioambientales, seguridad vial a través del cálculo de las capas que componen su estructura.

2.1.- Carreteras

Una carretera es una infraestructura vial que forma parte de la red de transporte terrestre, destinada a permitir la circulación continua y segura de vehículos y personas entre diferentes centros poblados y regiones del país.

El Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTOP) establece la clasificación de las vías en Ecuador considerando el volumen de tránsito y el número de calzadas, incorporando además un criterio funcional que diferencia entre vías corredor, arteriales, colectoras y vecinales. Esta categorización permite definir parámetros específicos para el diseño geométrico y estructural de las carreteras, tomando en cuenta factores como las proyecciones de crecimiento del tráfico, las características del suelo y la topografía del terreno, con la finalidad de garantizar una infraestructura vial que ofrezca niveles de servicio adecuados (MTOP, 2003a).

2.1.2.- Clasificación de carreteras

La categorización de las carreteras establece los rasgos operativos y geométricos que una vía tiene que satisfacer en función del tráfico que maneja y su relevancia.

Según el *Manual de Carreteras del MTOP – Volumen 1: Clasificación Vial* (2018), las carreteras rurales en el Ecuador se dividen en tres categorías principales: primarias, secundarias y terciarias. En el caso específico de la carretera **Tixan-Chiquintad**, su importancia radica en que conecta comunidades rurales dispersas, facilita el acceso a zonas de producción agrícola y ganadera, y comunica con áreas de extracción de materiales pétreos. Estas características permiten clasificarla como una **vía terciaria** dentro del sistema vial nacional.

Estos caminos suelen experimentar un tránsito que varía de bajo a moderado, predominando vehículos ligeros, aunque también es común la circulación de camiones pesados, como los volquetes del Municipio de Cuenca, que frecuentemente transportan materiales. Su función principal es proporcionar acceso básico y enlazar pequeñas localidades con la red vial secundaria o primaria.

La clasificación de esta vía implica ciertos requisitos técnicos relacionados con el diseño geométrico y estructural, tales como:

- Velocidades operativas entre 30 y 50 km/h
- Ancho limitado de la carretera (máximo de 6,00 m para el tráfico en ambos sentidos)
- Pendientes con inclinaciones moderadas
- Curvas adecuadas para terrenos montañosos

2.1.2.1.- Clasificación por capacidad (Función del TPDA)

Desde el punto de vista de su capacidad, una carretera es una infraestructura vial que se planea para manejar un volumen diario concreto de tráfico vehicular, garantizando condiciones adecuadas de servicio, seguridad y eficacia. En Ecuador, el Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTO)P) clasifica las carreteras según el Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA) y la cantidad de calzadas. Esta categorización posibilita establecer los parámetros estructurales y geométricos de cada clase de vía, teniendo en cuenta elementos como el terreno, las características del suelo y las proyecciones de crecimiento del tránsito con la finalidad de edificar una red vial segura, funcional y sostenible (MTO)P, 2013b).

Tabla 1

Clasificación funcional de las vías en base al TPDA

Descripción	Clasificación funcional	TPDA – Límite inferior	TPDA – Límite superior
Autopista	AP2	80 000	120 000
Autopista	AP1	50 000	80 000
Autovía o carretera multicarril	AV2	26 000	50 000
Autovía o carretera multicarril	AV1	8 000	26 000
Carretera de 2 carriles	C1	1 000	8 000
Carretera de 2 carriles	C2	500	1 000
Carretera de 2 carriles	C3	0	500

Nota. Fuente: Ministerio de transporte y Obras Públicas, (MTO)P, 2003a).

2.2.- Topografía

La topografía del terreno es un elemento clave en el diseño geométrico de las carreteras, puesto que determina directamente la configuración de elementos como los radios de curvatura, las pendientes longitudinales y las secciones transversales. La inclinación longitudinal de la vía afecta a la seguridad, el confort al conducir y la visibilidad. Por lo tanto, su diseño tiene que adaptarse a las características del terreno.

Asimismo, el radio de curvatura define la geometría de las curvas horizontales y se determina en función de la velocidad de diseño, el tipo de vehículo, la fricción y la supe relevación, buscando garantizar estabilidad y seguridad en el tránsito.

En cuanto a la sección transversal, esta comprende el perfil en corte de la carretera, incluyendo calzadas, bermas, cunetas, taludes y hombros, cuyo diseño debe asegurar la evacuación de aguas, la estabilidad de la estructura y la seguridad vial. El trazado geométrico, que integra el diseño planimétrico y altimétrico de la vía, se fundamenta en estudios topográficos, geotécnicos y de tránsito para optimizar el recorrido y responder a las condiciones del entorno.

Además, el movimiento de tierras, que incluye excavación, relleno y compactación, representa una parte significativa de la complejidad y costo de la obra, especialmente en terrenos escarpados donde se requiere mayor intervención. Todos estos parámetros se establecen considerando la velocidad de diseño, que sirve como referencia para definir los elementos geométricos y asegurar niveles adecuados de servicio, seguridad y eficiencia en la infraestructura vial (MTOP, 2003).

El diseño geométrico y estructural de la carretera rural Tixan-Chiquintad se realizó tomando como base la *Norma de Diseño Geométrico de Carreteras de Segundo y Tercer Orden* emitida por el Ministerio de Obras Públicas (MOP, 2003), la cual establece los criterios técnicos fundamentales para vías rurales, tales como radios mínimos de curvatura, pendientes máximas, distancias de visibilidad, anchos de calzada y secciones tipo, entre otros.

Se implementaron enfoques internacionales, como el Método de Diseño Estructural de Pavimentos de la AASHTO (1993), el cual fue ajustado a las condiciones locales para calcular el espesor de la capa de pavimento flexible, tomando en cuenta el tráfico previsto y la capacidad portante del suelo. Gracias a estas normativas, se pudieron

definir de manera técnica y fundamentada los parámetros necesarios para el diseño vial propuesto, además de clasificar funcionalmente el segmento estudiado como una vía rural colectora.

2.3.- Tráfico

2.3.1.- Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA)

El Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA) es un indicador utilizado para estimar el promedio diario de vehículos que transitan por una carretera durante un año. Su cálculo depende del tipo de vía: en carreteras unidireccionales se considera únicamente el flujo en esa dirección, mientras que en las de doble sentido se suman los volúmenes de ambos carriles; en autopistas, se considera por separado debido al flujo direccional. Idealmente, el TPDA se obtiene de estaciones permanentes de conteo, pero en su ausencia puede estimarse mediante muestreos representativos realizados durante varios días, ajustados con factores estacionales que reflejen la variabilidad del tránsito (MTOP, 2003a).

El Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA) es un indicador que posibilita calcular la cantidad media de vehículos que transitan por una carretera en un solo día durante todo un año. Su cálculo depende del tipo de carretera: en las vías unidireccionales se considera solamente el flujo que va en esa dirección; en las carreteras bidireccionales, se suman los volúmenes de ambos sentidos. El TPDA se consigue, en condiciones óptimas, a partir de estaciones permanentes de conteo. Sin embargo, en la falta de estas estaciones, es posible estimar el TPDA a través de muestreos representativos que se llevan a cabo en diferentes días y después se ajustan con factores estacionales que muestran las fluctuaciones del tráfico. (MTOP, 2003a).

2.3.1.1.- Cálculo de factores del TPDA

Factor mensual (FM): Es un instrumento que convierte el volumen de tránsito mensual en el Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA), reflejando el flujo promedio de vehículos durante el año.

Factor semanal (FS): Este factor transforma el volumen promedio semanal en una estimación del tráfico vehicular mensual

Factor diario (FD): Es un valor que ajusta el promedio diario de vehículos registrados, proyectándolo para representar el tráfico de toda la semana.

Factor horario (FH): Es un coeficiente que permite extrapolar el conteo de vehículos realizado en determinadas horas del día para estimar el volumen total diario de tránsito.

$$TPDA = T_0 * FH * FD * FS * FM \quad (1)$$

Donde:

$T = \text{tráfico observado.}$

2.3.2.- Tráfico Futuro

El pronóstico del tráfico se basa en el volumen de vehículos que circulan en la actualidad y permite anticipar su comportamiento en el futuro, generalmente a 15 o 20 años, considerando el crecimiento natural, el tráfico inducido y la aparición de nuevas actividades. Estas estimaciones son fundamentales para clasificar las carreteras y definir parámetros clave del diseño geométrico, como la velocidad. Además, al comparar la capacidad de la vía con el volumen correspondiente a la trigésima hora anual más alta que representa un momento crítico de demanda se determina el momento en que una carretera requiere ampliación o mejora. En Ecuador se estima que el volumen máximo horario equivale a entre el 5% y el 10% del TPDA (MTOP, 2003a), aunque no existen estudios específicos sobre esta hora pico.

2.3.2.1.- Crecimiento normal del tráfico actual

El tráfico actual corresponde al número de vehículos que circulan por una carretera antes de que se realice una intervención, o bien, en el caso de una vía nueva, al volumen estimado que tendría si ya estuviera en funcionamiento (MTOP, 2003a). Es un flujo vehicular que se cuantifica a través de estudios específicos de tráfico realizados en la zona, los cuales permiten identificar las condiciones reales de operación y demanda sobre la carretera en su estado actual y el tráfico desviado se refiere a aquellos vehículos que modifican su trayectoria habitual y optan por utilizar la vía mejorada como alternativa. Este cambio de ruta se produce cuando los usuarios perciben beneficios, tales como una reducción en el tiempo de viaje, disminución de la distancia recorrida o menores costos de operación. En consecuencia, el tráfico desviado representa la porción

de demanda vehicular que modifica el itinerario de crecimiento normal del tráfico actual para ser utilizado en el proyecto.

En el caso de una carretera de nueva construcción, la estimación del tráfico inicial se determina a partir del análisis del tráfico desviado desde rutas alternativas, así como del tránsito generado por el desarrollo ubicado dentro del área de influencia de la vía.

Ante esta restricción, para proyectar el crecimiento del tráfico a largo plazo se emplean indicadores indirectos, como el consumo de gasolina y diésel, el crecimiento del parque automotor, el Producto Interno Bruto (PIB) y el incremento poblacional. Estas variables permiten establecer, de forma general, tasas aproximadas de incremento del tránsito vehicular en el país (MTOP, 2003a).

Tabla 2

Tasas estimadas de Crecimiento del Tráfico Vehicular

Período	Vehículos livianos (%)	Buses (%)	Camiones (%)
1990 – 2000	5.0	4.0	6.0
2000 – 2010	4.0	3.5	5.0

Nota. Fuente: Ministerio de Transporte y Obras Públicas, (MTOP, 2003a).

2.4.- Diseño Geométrico

El diseño geométrico de una carretera constituye una etapa fundamental dentro de la planificación y desarrollo de proyectos viales, ya que define la configuración física de la vía y su integración con el entorno natural. A través de este proceso se establecen los elementos que influyen directamente en la seguridad, eficiencia, funcionalidad y comodidad del tránsito vehicular. Entre dichos elementos se incluyen las pendientes longitudinales, los radios de curvatura, las distancias de visibilidad, el alineamiento horizontal y vertical, así como las secciones transversales. La correcta elaboración del diseño geométrico requiere un equilibrio entre las condiciones topográficas del terreno, las características del tránsito previsto y los criterios técnicos establecidos por la normativa vigente.

2.4.1.- Velocidad de diseño

La velocidad de diseño se define como la velocidad máxima a la cual un vehículo puede circular de manera segura bajo condiciones normales de tránsito y clima. Este parámetro se establece considerando diversos factores, tales como la jerarquía de la vía, la topografía del terreno, el uso del suelo y el volumen de tránsito previsto. La velocidad de diseño resulta determinante para la definición de los elementos geométricos de la carretera, tanto en el alineamiento horizontal como en el vertical. Asimismo, se recomienda mantener una velocidad constante a lo largo de cada tramo de la vía y, cuando sea necesario realizar variaciones, estas deben efectuarse de forma gradual para asegurar una adecuada adaptación del conductor, procurando que la diferencia de velocidad entre tramos consecutivos no exceda los 20 km/h (MTOP, 2003a).

La selección tiene que fundamentarse en las circunstancias más favorables del recorrido y permanecer entre 5 y 10 km como mínimo. A pesar de que se admiten valores mínimos establecidos según las regulaciones, se recomienda elegir velocidades más altas siempre que sea factible.

En zonas de topografía plana o suavemente ondulada, con baja densidad poblacional y carreteras que presentan altos volúmenes de tránsito, resulta justificable la adopción de velocidades de diseño más elevadas, particularmente cuando los beneficios asociados a una mayor eficiencia operativa compensan los costos adicionales de construcción que ello implica (MTOP, 2003a).

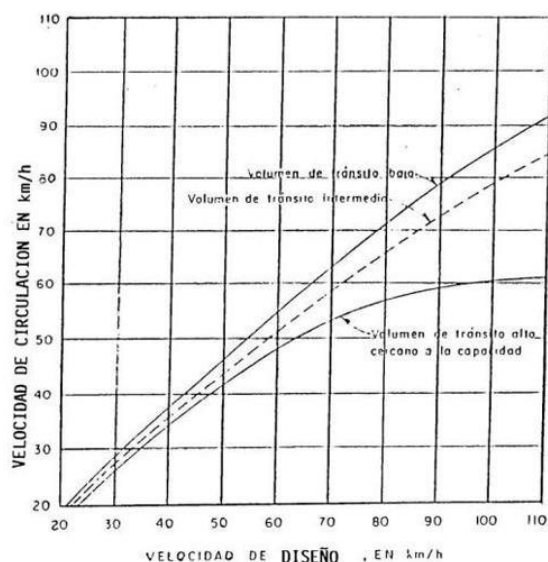
2.4.1.1.- Relación con la velocidad de circulación

La rapidez de circulación se define como la velocidad real en la que un vehículo viaja a lo largo de una sección específica de la carretera, calculada mediante la relación entre la distancia recorrida y el tiempo empleado. Este parámetro es un indicador esencial de la calidad del servicio que ofrece una carretera, por lo cual durante el diseño es crucial evaluarlo, en particular cuando se examinan distintos niveles de demanda vehicular. A medida que la cantidad de tránsito aumenta, la velocidad de circulación suele bajar debido a la interacción entre los vehículos. En situaciones cercanas a la saturación, esta velocidad se encuentra en función principalmente del nivel de congestión existente y no tanto de la velocidad de diseño.

En consecuencia, las vías deben proyectarse de manera que garanticen una operación eficiente, evitando niveles de tráfico que afecten negativamente su capacidad y desempeño (MTOP, 2003a).

Ilustración 3

Relación entre la velocidad de Diseño y Circulación



Nota. Fuente: Ministerio de Transporte y Obras Públicas, (MTOP, 2003a).

Tabla 3

Relación entre velocidad de Diseño y Circulación

Velocidad de diseño (km/h)	Volumen de tránsito bajo (km/h)	Volumen de tránsito intermedio (km/h)	Volumen de tránsito alto (km/h)
25	24	23	22
30	28	27	26
35	37	35	34
40	46	44	42
50	55	51	48
60	63	59	53
70	71	66	57
80	79	73	59

90	86	79	60
100	92	85	61

Nota. Fuente: Ministerio de Transporte y Obras Públicas, (MTOP, 2003a).

2.4.2.- Alineamiento Horizontal

Es uno de los componentes esenciales del diseño geométrico de una carretera, pues establece la disposición de la vía en planta y afecta directamente la seguridad, el confort y la eficacia del tránsito vehicular. Una definición precisa asegura un tránsito apropiado entre secciones rectas y curvas, lo que garantiza a los usuarios una conducción predecible y estable.

El alineamiento horizontal de una carretera es la proyección del eje vial en el plano horizontal y establece el diseño en planta de la vía. Este alineamiento se compone principalmente de dos clases de componentes: curvas (que pueden ser circulares o de transición) y tramos rectos o tangentes, los cuales posibilitan la realización de alteraciones paulatinas en la dirección durante todo el trayecto.

Este alineamiento está conformado por una sucesión de tangentes y curvas horizontales. Las tangentes corresponden a tramos rectilíneos en los que el eje vial mantiene una dirección constante, mientras que las curvas horizontales permiten enlazar de manera progresiva dos tangentes con diferentes rumbos. Las curvas pueden ser de tipo circular simple o incluir curvas de transición, cuya función principal es introducir gradualmente la curvatura y el peralte, reduciendo las fuerzas laterales que actúan sobre los vehículos y mejorando el confort y la seguridad del tránsito.

El diseño del alineamiento horizontal debe considerar parámetros técnicos como el radio mínimo de curvatura, el peralte, la fricción lateral y las distancias de visibilidad, los cuales están estrechamente relacionados con la velocidad de diseño adoptada. Un radio de curvatura insuficiente o una transición inadecuada puede incrementar el riesgo de siniestros, especialmente en condiciones de alta velocidad, tránsito intenso o climatología adversa.

Desde el punto de vista operativo, un alineamiento horizontal bien diseñado contribuye a mantener velocidades uniformes, reduce maniobras bruscas de los conductores y mejora la capacidad y el nivel de servicio de la vía. Por esta razón, en

proyectos viales es indispensable que el diseño del alineamiento horizontal se realice conforme a los criterios y parámetros establecidos en la normativa vigente, garantizando su compatibilidad con el tránsito proyectado y las condiciones del entorno (MTOP, 2003a).

2.4.2.1.- Curvatura Horizontal y Sobreelevación

Al diseñar curvas horizontales, es fundamental tener en cuenta las condiciones geométricas que afectan directamente la seguridad de la circulación. Hay situaciones concretas en las que las fuerzas dinámicas que inciden sobre los vehículos, la centrípeta y la centrífuga tienen un impacto en su estabilidad, en particular cuando se pasa de una sección recta a una curva o viceversa, o cuando se fusionan curvas verticales y horizontales. Para asegurar una operación segura y eficaz de la vía, estas condiciones demandan que se apliquen criterios técnicos que restrinjan algunos parámetros (MTOP, 2013b).

En el diseño de curvas horizontales es necesario analizar dos situaciones principales:

- Tangente seguida de curva horizontal: cuando un vehículo pasa de un tramo recto a uno curvo, aparece una fuerza centrífuga que puede afectar su estabilidad si la curva no está correctamente diseñada.
- Alineamiento combinado de tangente con curvas horizontal y vertical: en este caso intervienen tanto las fuerzas centrípetas y centrífugas como el comportamiento de los vehículos pesados en pendientes, los cuales suelen desplazarse a baja velocidad en ascensos y a velocidades elevadas en descensos.

La formulación matemática que considera estos aspectos, junto con la velocidad de diseño, se emplea para el cálculo adecuado de las curvas horizontales con la siguiente formula:

$$e + f = \frac{V^2}{127R} \quad (2)$$

Donde:

e= Tasa de sobreelevación en fracción decimal.

f= Factor de fricción lateral, que es la fuerza de fricción dividida por la masa perpendicular al pavimento.

V= Velocidad de diseño, en kilómetros por hora.

R= Radio de curva, en metros.

2.4.2.2.- Factor máximo de Fricción lateral y Tasa de Sobreelevación o Peralte

El coeficiente de fricción lateral, un parámetro clave en el diseño de curvas, depende principalmente del estado y tipo de las llantas, las características y condición del pavimento, así como de la velocidad a la que circula el vehículo. En cuanto a la sobreelevación o peralte, su definición está condicionada por factores como el clima, el carácter urbano o rural de la vía, la presencia frecuente de vehículos de baja velocidad y la topografía del área.

Los valores del coeficiente de fricción lateral disminuyen a medida que aumenta la velocidad y varían según el tipo de infraestructura vial: oscilan entre 0.17 y 0.10 para carreteras rurales y urbanas con velocidades de 30 a 110 km/h; entre 0.30 y 0.16 en vías urbanas de baja velocidad (30 a 70 km/h); y entre 0.33 y 0.15 en giros de intersecciones para velocidades de 20 a 70 km/h.

El peralte resulta especialmente importante en curvas de radio reducido, ya que ayuda a compensar la fuerza centrífuga. Sin embargo, su valor máximo no debe superar 0.12, debido a restricciones constructivas, de mantenimiento y de confort para los usuarios. En áreas con tránsito lento o alta concentración urbana, se recomienda mantener el peralte en un rango aproximado de 4 % a 6 % (MTOP, 2013b).

Debido a que las características climáticas y topográficas influyen en el diseño vial, a continuación, se presentan los valores de sobreelevación sugeridos en función del tipo de zona en la que se localice la carretera.

Tabla 4

Factores de Sobreelevación para diferentes tipos de Áreas

Tasa de Sobreelevación “e” (%)	Tipo de Área
10	Rural montañosa
8	Rural plana
6	Suburbana
4	Urbana

Nota. Fuente: Ministerio de Transporte y Obras Públicas, (MTOP, 2013b).

2.4.2.3.- Radios Mínimos y sus correspondientes Grados Máximos de Curva

Los radios mínimos de curvatura constituyen el valor más bajo admisible para el diseño de curvas a una velocidad específica y se determinan a partir del peralte máximo y del coeficiente de fricción lateral considerado. Si estos parámetros no son adecuados, el vehículo puede experimentar pérdida de control al circular por la curva, ya sea debido a una sobreelevación insuficiente o a una adherencia deficiente entre las llantas y el pavimento, situación que se agrava en presencia de agua, arena o desgaste de la superficie. El uso de radios menores implica recurrir a mayores peraltes o depender de coeficientes de fricción que, en la práctica, pueden no alcanzarse (MTOP, 2013b).

Por esta razón, una vez establecido el valor máximo del peralte, el radio mínimo de la curva se calcula mediante la aplicación de la expresión matemática correspondiente:

$$R = \frac{V^2}{127(e + f)} \quad (3)$$

Donde:

R= Radio mínimo de curva, en metros.

e= Tasa de sobreelevación en fracción decimal.

f= Factor de fricción lateral.

V= Velocidad de diseño, en kilómetros por hora.

El grado de curvatura (Gc) es un parámetro que expresa el nivel de cierre de una curva y se define como el ángulo central que corresponde a un arco de 100 pies en el sistema inglés o de 20 metros en el sistema métrico, el cual es el empleado en Ecuador. Esta definición permite representar la curvatura de forma normalizada y simplifica su aplicación en los cálculos del diseño geométrico. A nivel nacional, se utiliza la ecuación propia del sistema métrico para calcular el valor de D (MTOP, 2013b).

$$Gc = \frac{1145,92}{R} \quad (4)$$

Considerando los valores sugeridos para el coeficiente de fricción lateral (f) y la tasa de sobreelevación o peralte (e), se ha preparado la siguiente tabla que muestra los radios mínimos y los grados máximos de curvatura para diferentes velocidades de diseño. Estos datos se derivan de la aplicación de la fórmula del grado de curvatura (Gc), lo que facilita la definición de parámetros seguros y coherentes para el diseño geométrico de curvas horizontales.

Tabla 5

Radios mínimos y grados máximos de curvas horizontales para distintas velocidades de diseño

Velocidad de Diseño (Km/h)	Factor de Fricción Máxima	Peralte máximo 4% Radio (m) Calculado	Peralte máximo 4% Radio (m) Recomendado	Peralte máximo 4% Grado de Curva	Peralte máximo 6% Radio (m) Calculado	Peralte máximo 6% Radio (m) Recomendado	Peralte máximo 6% Grado de Curva
30	0.17	33.7	35	32°44'	30.8	30	38°12'
40	0.17	60	60	19°06'	54.8	55	20°50'
50	0.16	98.4	100	11°28'	89.5	90	12°44'
60	0.15	149.2	150	7°24'	135	135	8°29'
70	0.14	214.3	215	5°20'	192.9	195	5°53'
80	0.14	280	280	4°05'	252	250	4°35'
90	0.13	375.2	375	3°04'	335	335	3°25'

100	0.12	492.1	490	2°20'	437.4	435	2°28'
110	0.11	635.2	635	1°48'	560.4	560	2°03'
120	0.09	872.2	870	1°19'	755.9	775	1°29'
Velocidad de Diseño (Km/h)	Factor de Fricción Máxima	Peralte máximo 8 % Radio (m) Calculado	Peralte máximo 8 % Radio (m) Recomendado	Peralte máximo 8 % Grado de Curva	Peralte máximo 10 % Radio (m) Calculado	Peralte máximo 10 % Radio (m) Recomendado	Peralte máximo 10 % Grado de Curva
30	0.17	28.3	30	38°12'	26.2	25	45°50'
40	0.17	50.4	50	22°55'	46.7	45	25°28'
50	0.16	82	80	14°19'	75.7	75	15°17'
60	0.15	123.2	120	9°33'	113.4	115	9°58'
70	0.14	175.4	175	6°33'	160.8	160	7°10'
80	0.14	229.1	230	4°59'	210	210	5°27'
90	0.13	303.7	305	3°46'	277.3	275	4°10'
100	0.12	393.7	395	2°54'	357.9	360	3°11'
110	0.11	505.5	500	2°17'	453.7	455	2°31'
120	0.09	667	665	1°43'	596.8	595	1°56'

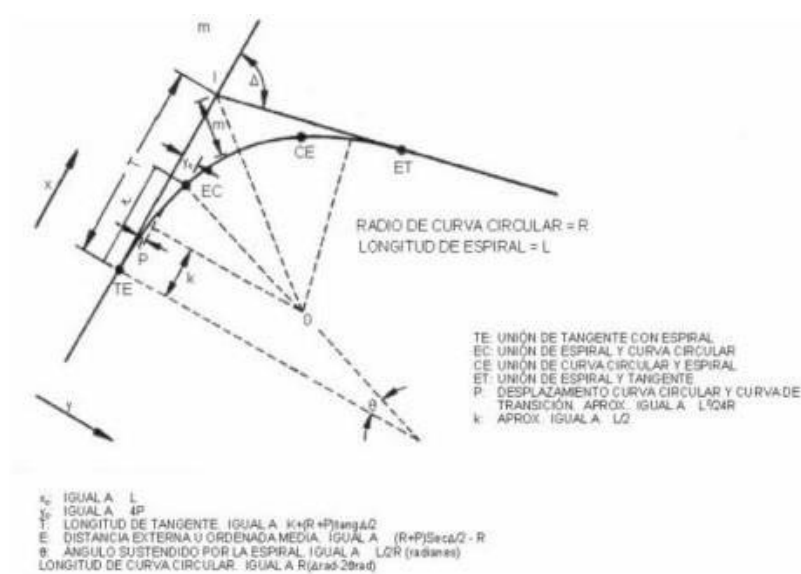
Nota. Fuente: Ministerio de Transporte y Obras Públicas, (MTOP, 2013b).

2.4.2.4.- Curvas Horizontales de Transición

Para asegurar un tránsito seguro y cómodo al pasar de un tramo recto a una curva horizontal circular, es aconsejable usar una curva de transición, también conocida como espiral. Esta facilita que el vehículo modifique su trayectoria de manera gradual, evitando movimientos bruscos, invasión de carril y disminuyendo el efecto de la fuerza centrífuga. La característica principal de estas curvas es que su radio de curvatura cambia de forma progresiva, partiendo desde un valor infinito en la tangente y reduciéndose hasta coincidir con el radio constante de la curva circular. Este cambio suave también se aplica al salir de la curva, generando una transición inversa que contribuye a mejorar la estabilidad del vehículo. Entre las figuras geométricas utilizadas para diseñar curvas de transición están la parábola cúbica, la lemniscata y, sobre todo, la clotoide o espiral de Euler, que es la más utilizada en diseño vial debido a que su radio varía inversamente proporcional a la distancia recorrida sobre ella. Su uso no solo incrementa la seguridad, sino también la estética y la fluidez del trazado vial (MTOP, 2013b).

Ilustración 4

Componentes de la curva circular y espirales



Nota. Fuente: Ministerio de Transporte y Obras Públicas, (MTOP, 2013b).

La curva de transición en espiral desempeña un papel fundamental en el diseño vial, ya que permite que el vehículo cambie su trayectoria de forma gradual, facilitando el manejo del timón y evitando aceleraciones radiales abruptas. Esto mejora notablemente el confort de los pasajeros, pues la fuerza centrífuga se incrementa de manera paulatina al ingresar a la curva circular y disminuye de igual forma al salir hacia el tramo recto. Aunque inicialmente se utilizó en ferrocarriles, la espiral fue posteriormente incorporada en el diseño de carreteras. La longitud mínima de transición (L_e) corresponde al segmento donde se pasa de una sección con peralte normal, típica de una recta, a una sección con sobreelevación completa en un solo sentido, dirigida hacia el interior de la curva. Esta longitud también permite disponer del espacio necesario para los sobreanchos que requieren las curvas. Existen varios métodos para calcular la longitud de la espiral, siendo uno de los primeros el desarrollado por Shortt en 1909, empleado en el diseño de curvas horizontales (MTOP, 2013b).

La longitud mínima de transición de la espiral (L_e), se expresa en la siguiente fórmula:

$$L_e = 0,0702 * \left(\frac{V^3}{RC} \right) \quad (5)$$

Donde:

V= Velocidad en kilómetros por hora.

R= Radio central de la curva, en metros

C= Tasa de incremento de la aceleración centrípeta, en m/s³

Existen varios métodos para calcular la longitud de las curvas de transición, y dado que sus resultados pueden variar, comúnmente se toman como referencia los valores recomendados por AASHTO para carreteras regionales. Sin embargo, estos valores pueden ajustarse según las características específicas de cada proyecto. Más allá de aplicar una fórmula exacta, lo importante es que la longitud permita que la sobreelevación entre la tangente y la curva circular se desarrolle de manera gradual. En las intersecciones, las espirales se diseñan de manera similar a las de carreteras abiertas, pero con longitudes menores, considerando que el parámetro C varía entre 0.75 para velocidades de 80 km/h y 1.2 para 30 km/h. Las longitudes mínimas oscilan entre 20 metros para 30 km/h (con radio de 25 m) y 60 metros para 70 km/h (con radio de 160 m). Generalmente, la sobreelevación se distribuye a lo largo de la espiral y, aunque los métodos de cálculo puedan arrojar diferencias, se prefiere usar valores estándar como los indicados en la Tabla 6 para simplificar el diseño. Estos valores están pensados para carreteras de dos carriles, pero pueden ajustarse proporcionalmente para vías más anchas, aumentando un 20 % para tres carriles, un 50 % para cuatro carriles sin mediana, y duplicándose para seis carriles sin mediana (MTOP, 2013b).

Tabla 6

Longitudes de desarrollo de la Sobreelevación en carreteras de dos carriles, en metros

Peralte	Longitud de Transición y Velocidades de diseño Km/h							
	40	50	60	70	80	90	100	110
Carriles de 3,65 metros								
0,02	25	30	35	40	50	60	60	65
0,04	25	30	35	40	50	60	60	65
0,06	35	35	40	40	50	60	60	65
0,08	45	45	50	55	60	65	65	70
0,1	55	55	60	65	75	80	80	85
0,12	65	65	75	80	90	95	95	105

Nota. Fuente: Ministerio de Transporte y Obras Públicas, (MTOP, 2013b).

Para facilitar el diseño del trazado en planta de carreteras, se han desarrollado tablas específicas que indican las longitudes mínimas de transición necesarias en función del radio de curva, la sobreelevación (o peralte) y la velocidad de diseño. Estas tablas están diseñadas para diferentes tipos de carreteras, como AV1, C1, C2 y C3, en configuraciones de dos y cuatro carriles, y consideran valores máximos de peralte del 6 %, 8 %, 10 % y 12 %, ajustándose a diversas condiciones de operación y seguridad vial (MTOP, 2013b).

Ilustración 5

Elementos de diseño para Curvas Horizontales y Velocidades de Diseño, e.max=6%

R (m)	Vd=30km/h				Vd=40km/h				Vd=50km/h				Vd=60km/h				Vd=70km/h				Vd=80km/h				Vd=90km/h				Vd=100km/h				Vd=110km/h			
	L (m)				L (m)				L (m)				L (m)				L (m)				L (m)				L (m)				L (m)				L (m)			
	e	2	4		e	2	4		e	2	4		e	2	4		e	2	4		e	2	4		e	2	4		e	2	4		e	2	4	
	(%)	Crs	Crs		(%)	Crs	Crs		(%)	Crs	Crs		(%)	Crs	Crs		(%)	Crs	Crs		(%)	Crs	Crs		(%)	Crs	Crs		(%)	Crs	Crs		(%)	Crs	Crs	
7000	SN	0	0		SN	0	0		SN	0	0		SN	0	0		SN	0	0		SN	0	0		SN	0	0		SN	0	0		SN	0	0	
5000	SN	0	0		SN	0	0		SN	0	0		SN	0	0		SN	0	0		SN	0	0		SN	0	0		SN	0	0		SN	0	0	
3000	SN	0	0		SN	0	0		SN	0	0		SN	0	0		SN	0	0		SN	0	0		SI	56	84		SI	61	92		SI	61	92	
2500	SN	0	0		SN	0	0		SN	0	0		SN	0	0		SN	0	0		SI	50	75		SI	56	84		SI	61	92		SI	61	92	
2000	SN	0	0		SN	0	0		SN	0	0		SN	0	0		SI	44	66		SI	44	66		SI	50	75		SI	56	84		SI	61	92	
1500	SN	0	0		SN	0	0		SN	0	0		SN	0	0		SI	39	59		SI	39	59		SI	44	66		SI	50	75		SI	56	84	
1400	SN	0	0		SN	0	0		SN	0	0		SN	0	0		SI	39	59		SI	39	59		SI	44	66		SI	50	75		SI	56	84	
1300	SN	0	0		SN	0	0		SN	0	0		SI	33	50		SI	33	50		SI	33	50		SI	39	59		SI	44	66		SI	50	75	
1200	SN	0	0		SN	0	0		SN	0	0		SI	33	50		SI	33	50		SI	33	50		SI	39	59		SI	44	66		SI	50	75	
1000	SN	0	0		SN	0	0		SI	28	42		SI	28	42		SI	28	42		SI	28	42		SI	33	50		SI	39	59		SI	44	66	
900	SN	0	0		SN	0	0		SI	28	42		SI	28	42		SI	28	42		SI	28	42		SI	33	50		SI	39	59		SI	44	66	
800	SN	0	0		SN	0	0		SI	28	42		SI	28	42		SI	28	42		SI	28	42		SI	33	50		SI	39	59		SI	44	66	
700	SN	0	0		SI	22	33		SI	22	33		SI	22	33		SI	22	33		SI	22	33		SI	28	42		SI	33	50		SI	39	59	
600	SN	0	0		SI	22	33		SI	22	33		SI	22	33		SI	22	33		SI	22	33		SI	28	42		SI	33	50		SI	39	59	
500	SN	0	0		SI	22	33		SI	22	33		SI	22	33		SI	22	33		SI	22	33		SI	28	42		SI	33	50		SI	39	59	
400	SI	17	26		SI	22	33		SI	22	33		SI	22	33		SI	22	33		SI	22	33		SI	28	42		SI	33	50		SI	39	59	
300	SI	17	26		SI	22	33		SI	22	33		SI	22	33		SI	22	33		SI	22	33		SI	28	42		SI	33	50		SI	39	59	
250	SI	17	26		SI	22	33		SI	22	33		SI	22	33		SI	22	33		SI	22	33		SI	28	42		SI	33	50		SI	39	59	
200	SI	17	26		SI	22	33		SI	22	33		SI	22	33		SI	22	33		SI	22	33		SI	28	42		SI	33	50		SI	39	59	
175	SI	17	26		SI	22	33		SI	22	33		SI	22	33		SI	22	33		SI	22	33		SI	28	42		SI	33	50		SI	39	59	
150	SI	17	26		SI	22	33		SI	22	33		SI	22	33		SI	22	33		SI	22	33		SI	28	42		SI	33	50		SI	39	59	
140	SI	17	26		SI	22	33		SI	22	33		SI	22	33		SI	22	33		SI	22	33		SI	28	42		SI	33	50		SI	39	59	
130	SI	17	26		SI	22	33		SI	22	33		SI	22	33		SI	22	33		SI	22	33		SI	28	42		SI	33	50		SI	39	59	
120	SI	17	26		SI	22	33		SI	22	33		SI	22	33		SI	22	33		SI	22	33		SI	28	42		SI	33	50		SI	39	59	
110	SI	17	26		SI	22	33		SI	22	33		SI	22	33		SI	22	33		SI	22	33		SI	28	42		SI	33	50		SI	39	59	
100	SI	17	26		SI	22	33		SI	22	33		SI	22	33		SI	22	33		SI	22	33		SI	28	42		SI	33	50		SI	39	59	
90	SI	17	26		SI	22	33		SI	22	33		SI	22	33		SI	22	33		SI	22	33		SI	28	42		SI	33	50		SI	39	59	
80	SI	17	26		SI	22	33		SI	22	33		SI	22	33		SI	22	33		SI	22	33		SI	28	42		SI	33	50		SI	39	59	
70	SI	17	26		SI	22	33		SI	22	33		SI	22	33		SI	22	33		SI	22	33		SI	28	42		SI	33	50		SI	39	59	
60	SI	17	26		SI	22	33		SI	22	33		SI	22	33		SI	22	33		SI	22	33		SI	28	42		SI	33	50		SI	39	59	
50	SI	17	26		SI	22	33		SI	22	33		SI	22	33		SI	22	33		SI	22	33		SI	28	42		SI	33	50		SI	39	59	
40	SI	17	26		SI	22	33		SI	22	33		SI	22	33		SI	22	33		SI	22	33		SI	28	42		SI	33	50		SI	39	59	
30	SI	17	26		SI	22	33		SI	22	33		SI	22	33		SI	22	33		SI	22	33		SI	28	42		SI	33	50		SI	39	59	

$e_{max} = 6.0\%$

R = Radio de curva

V = Velocidad de diseño

e = Tasa de sobreelevación

L = Longitud mínima de transición

SN = Sección Norma

SI = Sección Invertida, peralte similar a la pendiente normal

Crs = Carriles

CIFRAS REDONDEADAS

Nota. Fuente: Ministerio de Transporte y Obras Públicas, (MTOP, 2013b).

Ilustración 6

Elementos de diseño para Curvas Horizontales y Velocidades de Diseño, $e_{\max}=8\%$

R (m)	V _d =30km/h			V _d =40km/h			V _d =50km/h			V _d =60km/h			V _d =70km/h			V _d =80km/h			V _d =90km/h			V _d =100km/h			V _d =110km/h					
	L (m)			L (m)			L (m)			L (m)			L (m)			L (m)			L (m)			L (m)			L (m)					
	e (%)	2 Crs	4 Crs	e (%)	2 Crs	4 Crs	e (%)	2 Crs	4 Crs	e (%)	2 Crs	4 Crs	e (%)	2 Crs	4 Crs	e (%)	2 Crs	4 Crs	e (%)	2 Crs	4 Crs	e (%)	2 Crs	4 Crs	e (%)	2 Crs	4 Crs			
7000	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0			
5000	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0			
3000	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0	SI	56	84	2.1	61	92			
2500	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0	SI	50	75	2.1	56	84	2.4	61	92			
2000	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0	SI	44	66	2.2	50	75	2.6	56	84	3.0	61	92			
1500	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0	SI	39	59	2.4	44	66	2.8	50	75	3.4	56	84	3.9	61	92			
1400	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0	SI	33	50	2.1	39	59	2.5	44	66	3.0	50	75	3.6	56	84	4.1	61	92			
1300	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0	SI	33	50	2.2	39	59	2.7	44	66	3.2	50	75	3.8	56	84	4.4	61	92			
1200	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0	SI	33	50	2.4	39	59	2.9	44	66	3.4	50	75	4.1	56	84	4.7	61	92			
1000	SN	0	0	SN	0	0	SI	28	42	2.2	33	50	2.8	39	59	3.4	44	66	4.0	50	75	4.8	56	84	5.5	61	92			
900	SN	0	0	SN	0	0	SI	28	42	2.4	33	50	3.1	39	59	3.7	44	66	4.4	50	75	5.2	56	84	6.0	61	92			
800	SN	0	0	SN	0	0	SI	28	42	2.7	33	50	3.4	39	59	4.1	44	66	4.8	50	75	5.7	56	84	6.5	61	92			
700	SN	0	0	SI	22	33	2.2	28	42	3.0	33	50	3.8	39	59	4.5	44	66	5.3	50	75	6.3	56	84	7.2	62	93			
600	SN	0	0	SI	22	33	2.6	28	42	3.4	33	50	4.3	39	59	5.1	44	66	6.0	50	75	6.9	56	84	7.7	66	99			
500	SI	0	0	2.2	22	33	3.0	28	42	3.9	33	50	4.9	39	59	5.8	44	66	6.7	51	76	7.6	61	91	8.0	69	103			
400	SI	17	26	2.7	22	33	3.6	28	42	4.7	33	50	5.7	39	59	6.6	48	71	7.5	57	85	8.0	64	96	R _{min} = 500					
300	2.1	17	26	3.4	22	33	4.5	28	42	5.6	34	51	6.7	44	66	7.6	55	R _{min} = 305			R _{min} = 395									
250	2.5	17	26	4.0	22	33	5.1	28	42	6.2	37	56	7.3	48	72	7.9	57	85	R _{min} = 230											
200	3.0	17	26	4.6	24	36	5.8	31	47	7.0	42	63	7.9	52	78	R _{min} = 175														
175	3.4	17	26	5.0	26	39	6.2	33	50	7.4	44	67	8.0	52	79.0	R _{min} = 125														
150	3.8	18	27	5.4	28	42	6.7	36	54	7.8	47	70	R _{min} = 80																	
140	4.0	19	29	5.6	29	43	6.9	37	56	7.9	47	71																		
130	4.2	20	30	5.8	30	45	7.1	38	58	8.0	48	72																		
120	4.4	21	32	6.0	31	46	7.3	39	59	R _{min} = 80																				
110	4.7	23	34	6.3	32	49	7.6	41	62																					
100	4.9	23	35	6.5	33	50	7.8	42	63																					
90	5.2	25	37	6.9	36	53	7.9	43	64																					
80	5.5	26	40	7.2	37	56	8.0	43	65																					
70	5.9	28	42	7.5	39	58	R _{min} = 80																							
60	6.4	31	46	7.8	40	60																								
50	6.9	33	50	8.0	41	62																								
40	7.5	36	54	R _{min} = 50																										
30	8.0	38	57																											
R _{min} = 30																														

$e_{\max} = 8.0\%$
R = Radio de curva
V = Velocidad de diseño
e = Tasa de superelevación
L = Longitud mínima de transición
SN = Sección Normal
SI = Sección Invertida, peralte similar a la pendiente normal
Crs = Carriles
CIFRAS REDONDEADAS

Nota. Fuente: Ministerio de Transporte y Obras Públicas, (MTOP, 2013b).

Ilustración 7

Elementos de diseño para Curvas Horizontales y Velocidades de Diseño, $e_{\max}=10\%$

R (m)	V _d =30km/h			V _d =40km/h			V _d =50km/h			V _d =60km/h			V _d =70km/h			V _d =80km/h			V _d =90km/h			V _d =100km/h			V _d =110km/h		
	L (m)			L (m)			L (m)			L (m)			L (m)			L (m)			L (m)			L (m)			L (m)		
	e (%)	2 Crs	4 Crs	e (%)	2 Crs	4 Crs	e (%)	2 Crs	4 Crs	e (%)	2 Crs	4 Crs	e (%)	2 Crs	4 Crs	e (%)	2 Crs	4 Crs	e (%)	2 Crs	4 Crs	e (%)	2 Crs	4 Crs	e (%)	2 Crs	4 Crs
7000	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0
5000	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0
3000	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0	SI	56	84	2.1	61	92			
2500	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0	SI	50	75	2.2	56	84	2.5	61	92			
2000	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0	SI	44	66	2.2	50	75	2.7	56	84	3.1	61	92
1500	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0	SI	39	59	2.4	44	66	2.9	50	75	3.5	56	84	4.1	61	92
1400	SN	0	0	SN	0	0	SI	33	50	2.1	39	59	2.6	44	66	3.1	50	75	3.8	56	84	4.3	61	92			
1300	SN	0	0	SN	0	0	SI	33	50	2.3	39	59	2.8	44	66	3.3	50	75	4.0	56	84	4.6	61	92			
1200	SN	0	0	SN	0	0	SI	33	50	2.4	39	59	3.0	44	66	3.6	50	75	4.3	56	84	5.0	61	92			
1000	SN	0	0	SN	0	0	SI	28	42	2.2	33	50	2.9	39	59	3.5	44	66	4.2	50	75	5.1	56	84	5.9	61	92
900	SN	0	0	SN	0	0	SI	28	42	2.5	33	50	3.2	39	59	3.9	44	66	4.6	50	75	5.6	56	84	6.4	61	92
800	SN	0	0	SN	0	0	SI	28	42	2.7	33	50	3.5	39	59	4.3	44	66	5.1	50	75	6.2	56	84	7.1	61	92
700	SN	0	0	SI	22	33	2.3	28	42	3.1	33	50	4.0	39	59	4.8	44	66	5.8	50	75	6.9	56	84	8.0	69	103
600	SN	0	0	SI	22	33	2.7	28	42	3.6	33	50	4.5	39	59	5.5	44	66	6.5	50	75	7.8	62	94	9.0	77	112
500	SN	0	0	2.3	22	33	3.1	28	42	4.2	33	50	5.3	39	59	6.4	46	69	7.6	67	88	8.9	71	107	9.9	85	126
400	SI	17	26	2.8	22	33	3.8	28	42	5.0	33	50	6.3	41	62	7.5	54	81	8.8	67	100	9.8	78	117	R _{exp} = 495		
300	2.6	17	28	3.6	22	33	4.8	28	42	6.3	38	57	7.8	51	77	9.0	65	97	10.9	79	112	R _{exp} = 360					
200	3.1	17	26	5.0	26	39	6.6	35	53	8.2	49	74	9.6	63	94	R _{exp} = 210			R _{exp} = 275			R _{exp} = 360					
175	3.5	17	26	5.6	29	43	7.1	38	58	8.8	53	79	9.9	65	97	R _{exp} = 115											
150	4.0	19	29	6.2	32	48	7.8	42	63	9.4	57	85	R _{exp} = 160														
140	4.3	21	31	6.4	33	49	8.1	44	66	9.6	58	87															
130	4.5	22	32	6.7	34	52	8.5	46	69	9.8	59	88															
120	4.8	23	34	7.0	36	54	8.8	48	71	10.0	60	90															
110	5.1	24	37	7.4	37	57	9.1	49	74	R _{exp} = 115																	
100	5.5	26	40	7.8	40	59	9.5	51	77																		
90	5.9	28	42	8.2	42	63	9.8	53	79																		
80	6.4	31	46	8.6	46	69	10.0	54	81																		
70	6.9	33	50	9.1	47	70	R _{exp} = 75																				
60	7.5	36	54	9.6	49	74																					
50	8.2	39	59	10.0	51	77																					
40	9.1	44	65	R _{exp} = 45																							
30	9.9	47	71	R _{exp} = 25																							

θ_{max} = 10.0%

R = Radio de curva

V = Velocidad de diseño

e = Tasa de superelevación

L = Longitud mínima de transición

SN = Sección Normal

SI = Sección invertida, peralte similar a la pendiente normal

C = Carriles

CIFRAS REDONDEADAS

Ilustración 8

Elementos de diseño para Curvas Horizontales y Velocidades de Diseño, $e_{\max}=12\%$

V km/h	V _{de} 30 km/h			V _{de} 40 km/h			V _{de} 50 km/h			V _{de} 60 km/h			V _{de} 70 km/h			V _{de} 80 km/h			V _{de} 90 km/h			V _{de} 100 km/h			V _{de} 110 km/h		
	L (m)			L (m)			L (m)			L (m)			L (m)			L (m)			L (m)			L (m)			L (m)		
	e	2	4	e	2	4	e	2	4	e	2	4	e	2	4	e	2	4	e	2	4	e	2	4	e	2	4
1000	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0
5000	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0
3000	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0	SI	56	84	2.5	61	92
2500	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0	SI	59	75	2.2	56	84	2.5	61	92
2000	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0	SI	44	66	2.3	59	75	2.7	56	84	3.2	61	92
1500	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0	SI	39	59	2.5	44	66	3.0	59	75	3.6	56	84	4.2	61	92
1400	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0	SI	33	50	2.3	39	59	2.6	44	66	3.2	59	75	3.8	56	84	4.8	61	92
1300	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0	SI	33	50	2.3	39	59	2.8	44	66	3.4	59	75	4.1	56	84	4.8	61	92
1200	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0	SI	33	50	2.5	39	59	3.0	44	66	3.7	59	75	4.4	56	84	5.1	61	92
1000	SN	0	0	SN	0	0	SI	28	42	2.3	33	50	2.8	39	59	3.6	44	66	4.4	59	75	5.3	56	84	6.1	61	92
900	SN	0	0	SN	0	0	SI	28	42	2.5	33	50	3.3	39	59	4.0	44	66	4.8	59	75	5.8	56	84	6.7	61	92
800	SN	0	0	SN	0	0	SI	28	42	2.8	33	50	3.6	39	59	4.4	44	66	5.3	59	75	6.5	56	84	7.5	64	96
700	SN	0	0	SI	22	33	2.4	28	42	3.2	33	50	4.3	39	59	5.0	44	66	6.0	59	75	7.3	59	88	8.5	73	109
600	SN	0	0	SI	22	33	2.7	28	42	3.7	33	50	4.7	39	59	5.7	44	66	6.9	52	78	8.3	66	110	9.7	83	125
500	SN	0	0	SI	24	33	3.2	28	42	4.3	33	50	5.5	39	59	6.7	48	72	8.1	61	92	9.7	79	116	11.3	97	145
400	SI	17	24	3.9	22	33	3.9	28	42	5.3	33	50	6.7	44	66	8.1	58	87	9.7	73	110	11.4	91	137	R = m = 415		
300	2.2	17	26	3.8	22	33	5.1	28	42	6.7	40	60	8.3	56	84	10.1	73	109	11.6	68	122	R = m = 330			R = m = 255		
250	2.6	17	26	4.4	23	34	5.9	32	49	7.7	46	69	9.7	64	95	11.2	81	121	R = m = 255			R = m = 255			R = m = 255		
200	3.2	17	26	5.3	27	41	7.1	38	59	9.1	55	82	11.1	73	109	12	86	119	R = m = 255			R = m = 255			R = m = 255		
175	3.6	17	26	5.9	30	46	7.8	42	63	10.8	60	90	11.7	77	115	R = m = 255			R = m = 255			R = m = 255			R = m = 255		
150	4.2	20	30	6.7	34	52	8.7	47	70	12.8	65	97	12.8	79	118	R = m = 255			R = m = 255			R = m = 255			R = m = 255		
140	4.4	21	32	7	36	54	9.1	49	74	13.2	67	101	R = m = 255			R = m = 255			R = m = 255			R = m = 255			R = m = 255		
130	4.7	23	34	7.4	39	57	9.5	51	77	13.5	69	104	R = m = 255			R = m = 255			R = m = 255			R = m = 255			R = m = 255		
120	5.1	24	37	7.8	40	60	10.0	54	81	13.8	71	106	R = m = 255			R = m = 255			R = m = 255			R = m = 255			R = m = 255		
110	5.4	26	39	8.2	42	63	10.5	57	85	14.2	72	108	R = m = 255			R = m = 255			R = m = 255			R = m = 255			R = m = 255		
100	5.9	28	42	8.7	45	67	11.1	59	89	R = m = 255			R = m = 255			R = m = 255			R = m = 255			R = m = 255			R = m = 255		
90	6.4	31	46	9.3	48	72	11.4	62	92	R = m = 255			R = m = 255			R = m = 255			R = m = 255			R = m = 255			R = m = 255		
80	6.9	33	50	9.9	51	76	11.8	64	96	R = m = 255			R = m = 255			R = m = 255			R = m = 255			R = m = 255			R = m = 255		
70	7.6	36	55	10.5	54	81	12.2	65	97	R = m = 255			R = m = 255			R = m = 255			R = m = 255			R = m = 255			R = m = 255		
60	8.4	40	63	11.2	59	86	R = m = 255			R = m = 255			R = m = 255			R = m = 255			R = m = 255			R = m = 255			R = m = 255		
50	9.3	45	67	11.8	61	91	R = m = 255			R = m = 255			R = m = 255			R = m = 255			R = m = 255			R = m = 255			R = m = 255		
40	10.4	50	75	R = m = 255			R = m = 255			R = m = 255			R = m = 255			R = m = 255			R = m = 255			R = m = 255			R = m = 255		
30	11.6	56	83	R = m = 255			R = m = 255			R = m = 255			R = m = 255			R = m = 255			R = m = 255			R = m = 255			R = m = 255		

$E_{\max} = 12.0\%$

R = RADIO DE CURVA

V = VELOCIDAD DE DISEÑO

E = TASA DE SUPERELEVACIÓN

L = LONGITUD MÍNIMA DE TRANSICIÓN

SN = SECCIÓN NORMAL

SI = SECCIÓN INVERSA, PERMITE SIMILAR A LA PENDIENTE NORMAL

CR = CAMBIO

CIFRAS REDONDEADAS

Nota. Fuente: Ministerio de Transporte y Obras Públicas, (MTOP, 2013b).

2.4.2.5.- Sobreanchos en curva

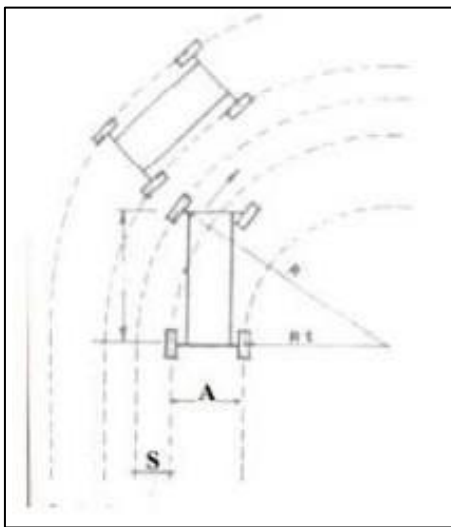
El sobreancho en curvas horizontales tiene como propósito asegurar que los vehículos puedan circular de manera segura y cómoda, compensando los efectos geométricos que afectan su trayectoria al tomar una curva. Existen dos razones principales para su uso:

- Al girar, las ruedas traseras de un vehículo tienden a seguir una trayectoria más interior que las ruedas delanteras, mientras que la parte frontal suele recorrer una trayectoria algo más externa, lo que amplía el espacio real que ocupa el vehículo durante la maniobra.
- Los conductores enfrentan dificultades para mantener el vehículo centrado en el carril al ingresar a una curva, debido a que la percepción de la posición lateral disminuye, especialmente a altas velocidades o en curvas de radio reducido. Este problema se atenúa al aumentar el radio de la curva, mejorando la estabilidad y el control.

En teoría, si un vehículo circula a muy baja velocidad o si la curva tiene un peralte que contrarresta totalmente la fuerza centrífuga, sería posible calcular geométricamente el sobreancho necesario, ya que el eje trasero del vehículo se mantendría en una trayectoria radial. No obstante, en la práctica, las condiciones de operación varían ampliamente según el tipo de vehículo, su velocidad y las características de la vía (MTOP, 2013a).

Ilustración 9

Esquema para determinación del sobreancho de un carril de tránsito en una curva



Nota. Fuente: Ministerio de Transporte y Obras Públicas, (MTOP, 2013a).

Para determinar el sobreancho de vía se utilizó la siguiente formula:

$$S = R - \sqrt{R^2 - L^2} \quad (6)$$

Donde:

R= Radio de la curva, m

A= Ancho del vehículo, m

S= Sobreancho, m

V= Velocidad de diseño, Km/h

n= Número de carriles

2.4.3.- Distancias de visibilidad

La distancia de visibilidad es un elemento fundamental para garantizar la seguridad y el buen funcionamiento de la vía, ya que establece el espacio disponible para que el conductor pueda detectar y reaccionar ante posibles obstáculos en su recorrido. Se refiere a la longitud del tramo del camino que el conductor puede ver de manera ininterrumpida desde su ubicación (MTOP, 2013a).

2.4.3.1.- Distancia de visibilidad de parada

La distancia de visibilidad para parada corresponde al tramo mínimo que un conductor requiere para detener su vehículo de forma segura ante la aparición repentina de un obstáculo o situación de peligro en la vía. Este parámetro es crucial en el diseño geométrico, ya que establece el valor mínimo que debe garantizarse en cualquier carretera, sin importar su jerarquía o categoría funcional.

Esta distancia se divide en dos componentes:

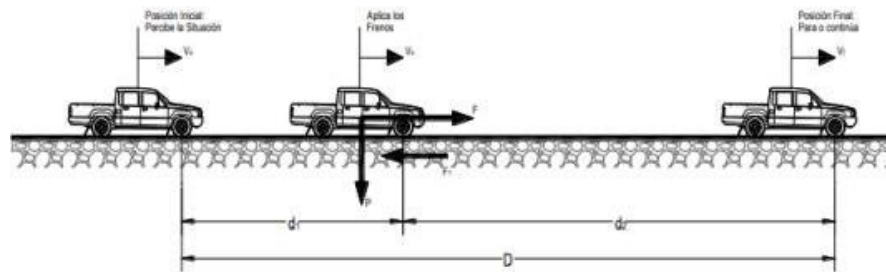
- d1 (distancia de percepción y reacción): es el recorrido que realiza el vehículo desde que el conductor identifica el peligro hasta que acciona los frenos. Su valor depende del nivel de alerta, las capacidades cognitivas y la rapidez de respuesta del conductor.
- d2 (distancia de frenado): corresponde al tramo que recorre el vehículo desde que se aplican los frenos hasta que se detiene por completo.

La suma de ambas constituye la distancia total de parada, $D = d_1 + d_2$. Este cálculo se realiza considerando conductores y vehículos con un desempeño inferior al promedio, con el fin de garantizar márgenes de seguridad adecuados.

El tiempo estándar de reacción utilizado en estos cálculos es de 2,5 segundos, un valor establecido tras diversos estudios sobre el comportamiento al volante en situaciones complejas. Este tiempo incluye las etapas cognitivas descritas por el acrónimo PIEV: Percepción, Intelecto, Emoción y Voluntad, que reflejan las fases del proceso de respuesta del conductor ante un estímulo inesperado (MTOP, 2013b).

Ilustración 10

Distancia de Parada



Nota. Fuente: Ministerio de Transporte y Obras Públicas, (MTOP, 2013b).

La distancia de percepción y reacción del conductor, denominada d_1 , se obtiene tomando en cuenta la velocidad del vehículo y el tiempo promedio que transcurre desde que el conductor percibe un peligro hasta que aplica los frenos. Este valor se calcula utilizando la siguiente fórmula:

$$d_1 = 0.278 * vt \quad (7)$$

Donde:

v = Velocidad inicial, Kilómetros por hora.

t = Tiempo de percepción y reacción.

La distancia de frenado, d_2 , corresponde al recorrido que realiza el vehículo desde el momento en que se aplican los frenos hasta que se detiene por completo. Se determina mediante la siguiente ecuación:

$$d_2 = \frac{v^2}{254} * f \quad (8)$$

Donde:

v = Velocidad inicial, km/h,

f= Coeficiente de fricción longitudinal entre llanta y superficie de rodamiento.

El coeficiente de fricción (f) es un valor experimental que no permanece constante, ya que varía según las condiciones de operación. Su magnitud disminuye a medida que aumenta la velocidad y está condicionada por factores como el diseño y estado de las llantas, el tipo y condición del pavimento, las condiciones climáticas y la eficiencia del sistema de frenos del vehículo. Por estas razones, se recomienda utilizar valores de (f) que representen escenarios desfavorables, considerando pavimentos húmedos, llantas desgastadas y diferentes capacidades de frenado. Asimismo, para obtener mayor precisión, es preferible emplear la velocidad promedio de circulación en lugar de la velocidad de diseño al seleccionar este parámetro (MTOP, 2013b).

Para tener en cuenta el efecto de la pendiente sobre la distancia de frenado, se debe ajustar el denominador de la fórmula anterior, incluyendo el gradiente longitudinal de la carretera. La expresión resultante es la siguiente:

$$D = \frac{v^2}{254} * (f \pm G) \quad (9)$$

Donde:

G= Porcentaje de la pendiente dividida entre 100, siendo positiva la pendiente de ascenso y negativa la de bajada.

Las tablas que se muestran a continuación contienen los valores de distancia de visibilidad de parada en terrenos planos, con pendiente y de decisión, obtenidos a partir de las fórmulas indicadas. Estos datos son fundamentales para el diseño tanto del alineamiento horizontal como del vertical.

Tabla 7

Distancias de visibilidad de parada y de decisión. En Terreno Plano

Velocidad de Diseño (km/h)	Velocidad de Marcha (km/h)	Tiempo de Percepción y	Distancia de Percepción y	Coeficiente de Fricción (f)	Distancia de Frenado (m)	Distancia de Parada (m)
----------------------------	----------------------------	------------------------	---------------------------	-----------------------------	--------------------------	-------------------------

		Reacción	Reacción			
		(s)	(m)			
30	30–30	2.5	20.8 – 20.8	0.40	8.8 – 8.8	30 – 30
40	40–40	2.5	27.8 – 27.8	0.38	16.6 – 16.6	45 – 45
50	47–50	2.5	32.6 – 34.7	0.35	24.8 – 28.1	57 – 63
60	55–60	2.5	38.2 – 41.7	0.33	36.1 – 42.9	74 – 85
70	67–70	2.5	43.8 – 48.6	0.31	50.4 – 62.2	94 – 111
80	70–80	2.5	48.6 – 55.6	0.30	64.2 – 83.9	113 – 139
90	77–90	2.5	53.5 – 62.4	0.30	77.7 – 106.2	131 – 169
100	85–100	2.5	59.0 – 69.4	0.29	98.0 – 135.6	157 – 205
110	91–110	2.5	63.2 – 76.4	0.28	116.3 – 170	180 – 246

Nota. Fuente: Ministerio de Transporte y Obras Públicas, (MTOP, 2013b).

Tabla 8

Distancias de visibilidad de parada y de decisión. En Pendiente de bajada y subida

Velocidad de	Bajada	Bajada	Bajada	Subida	Subida	Subida
Diseño (km/h)	3% (m)	6% (m)	9% (m)	3% (m)	6% (m)	9% (m)
30	30.4	31.2	32.2	29.0	28.5	28.0
40	45.7	47.5	49.5	43.2	42.1	41.2
50	65.5	68.6	72.6	55.5	53.8	52.4
60	88.9	94.2	100.8	71.3	68.7	66.6
70	117.5	125.8	136.3	89.7	85.9	82.8
80	148.8	160.5	175.5	107.1	102.2	98.1

90	180.6	195.4	214.4	124.2	118.8	113.4
100	220.8	240.6	256.9	147.9	140.3	133.9
110	267.0	292.9	327.1	168.4	159.1	151.3

Nota. Fuente: Ministerio de Transporte y Obras Públicas, (MTOP, 2013b).

Tabla 9

Decisión para evitar maniobras

Velocidad de Diseño (km/h)	a (m)	b (m)	c (m)	d (m)	e (m)
50	75	160	145	160	200
60	95	205	175	205	235
70	125	250	200	240	275
80	155	300	230	275	315
90	185	360	275	320	360
100	225	415	315	265	405
110	265	455	335	390	435

Nota. Fuente: Ministerio de Transporte y Obras Públicas, (MTOP, 2013b).

2.4.3.1.1.- Distancia de Visibilidad en Curvas Horizontales

Las obstrucciones situadas dentro de las curvas horizontales, como muros, taludes, árboles o barreras, pueden reducir la visibilidad del conductor y poner en riesgo la seguridad vial. Para asegurar que se mantenga una distancia de visibilidad de parada adecuada, el diseño debe prever despejes visuales acordes con la velocidad de diseño y las características del entorno. La línea de visión se traza siguiendo la cuerda de la curva, mientras que la distancia de visibilidad se mide a lo largo del eje del carril interior. La altura de cualquier obstrucción entre el centro de la curva y el objeto de interés no debe impedir la visión dentro de los rangos establecidos (MTOP, 2013b).

Ilustración 11

Posición de secciones tipo en curva circular



Nota. Fuente: Ministerio de Transporte y Obras Públicas, (MTOP, 2013b).

Ilustración 12

Posición de secciones tipo en curva espiral



Nota. Fuente: Ministerio de Transporte y Obras Públicas, (MTOP, 2013b).

2.4.3.2.- Distancia de Visibilidad en Adelantamiento

La distancia de visibilidad para adelantamiento es el espacio mínimo que un conductor necesita para superar de manera segura y eficiente a otro vehículo que circula más lento en el mismo carril y dirección. Durante esta maniobra, el conductor ocupa temporalmente el carril contrario y debe disponer de suficiente visibilidad para evitar conflictos con vehículos que se aproximan en sentido opuesto.

Para determinar esta distancia se emplean ciertos supuestos simplificadores, como considerar velocidades constantes para ambos vehículos, un aumento promedio de 15 km/h durante el adelantamiento, los tiempos de percepción y reacción del conductor, y una distancia de seguridad frente al vehículo que viene en sentido contrario. Esta condición se aplica únicamente en carreteras de dos carriles sin separación física, donde la maniobra requiere invadir el carril opuesto (MTOP, 2003a).

- La distancia preliminar de demora, denotada como d_1 se calcula con la siguiente fórmula:

$$d_1 = 0.278 * t_1 * (v - m + a * \frac{t_1}{2}) \quad (10)$$

Donde:

v = velocidad promedio del vehículo que rebasa, kilómetros por hora.

t_1 = Tiempo de maniobra inicial, segundos.

a = Aceleración promedio del vehículo que efectúa el rebase, en kilómetros por hora por segundo.

m = Diferencia de velocidad entre el vehículo que es rebasado y el que rebasa, kilómetros por hora

- La distancia de adelantamiento d_2 esta expresada como:

$$d_2 = 0.78v * t_1 \quad (11)$$

Donde:

v = velocidad promedio del vehículo que ejecuta el adelantamiento, kilómetros por hora,

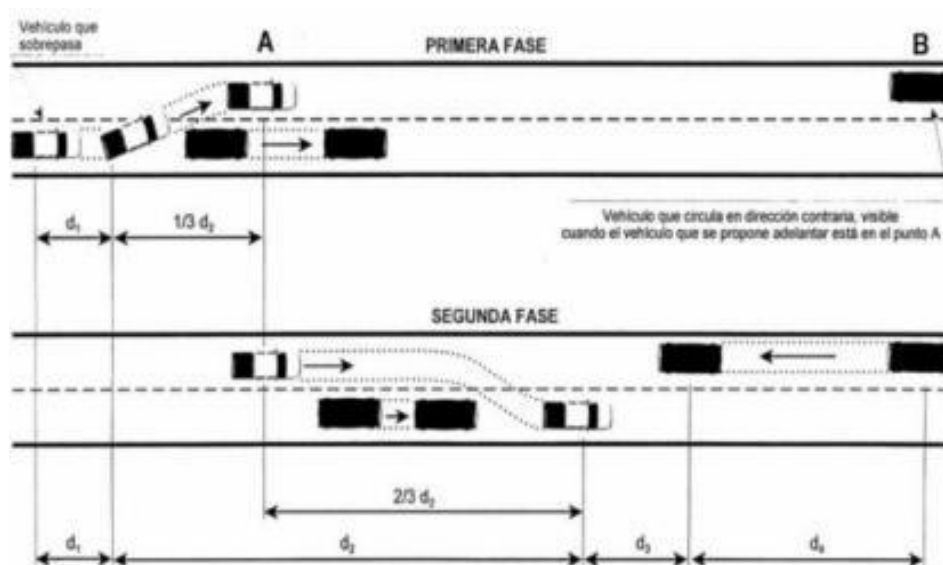
t_2 =tiempo de ocupación del carril opuesto, segundos

- Distancia de seguridad d_3 : Según la experiencia, esta distancia suele oscilar entre 35 y 90 metros, valores considerados adecuados para fines de diseño.

La distancia recorrida por el vehículo que se aproxima en sentido contrario (d_4) generalmente se estima como dos tercios de la distancia de adelantamiento activa (d_2). Usando este criterio y a través de cálculos progresivos, se han establecido las distancias mínimas de visibilidad necesarias para adelantamientos en velocidades de diseño que van de 30 a 110 km/h. Los resultados se muestran en la tabla a continuación, junto con los parámetros básicos correspondientes a carreteras rurales de dos carriles.

Ilustración 13

Etapas de la maniobra para adelantamiento en carreteras de dos carriles



Nota. Fuente: Ministerio de Transporte y Obras Públicas, (MTOP, 2013b).

Tabla 10*Distancias mínimas de diseño para carreteras rurales de dos carriles, en metros*

Velocidades km/h			
Velocidad de Diseño (km/h)	Velocidad del Vehículo Rebasado (km/h)	Velocidad del Vehículo que Rebase (km/h)	Distancia mínima de adelantamiento (m)
30	29	44	220
40	36	51	285
50	44	59	345
60	51	66	410
70	59	74	480
80	65	80	540
90	73	88	605
100	79	94	670
110	85	100	730

Nota. Fuente: Ministerio de Transporte y Obras Públicas, (MTOP, 2013b).**Tabla 11***Parámetros Básicos*

Velocidad promedio de adelantamiento (km/h)	50 - 65	66 - 80	81 - 95	96 - 110
Maniobra Inicial				
Aceleración promedio (A, km/h/s)	2.25	2.3	2.37	2.41
Tiempo t ₁ (s)	3.6	4	4.3	4.5
Distancia recorrida d ₁ (m)	45	65	90	110
Ocupación carril izquierdo				
Tiempo t ₂ (s)	9.3	10	10.7	11.3
Distancia recorrida d ₂ (m)	145	195	250	315
Longitud libre				
Distancia recorrida d ₃ (m)	30	55	75	90
Vehículo que se aproxima: distancia d ₄ (m)	95	130	165	210
Distancia total (d₁ + d₂ + d₃ + d₄, m)	315	445	580	725

Nota. Fuente: Ministerio de Transporte y Obras Públicas, (MTOP, 2013b).

2.4.4.- Alineamiento Vertical

El alineamiento vertical de una carretera describe el perfil longitudinal de la vía, mostrando cómo varía la elevación del eje vial a lo largo de su recorrido. Este perfil está formado por pendientes rectas que se conectan mediante curvas verticales, generalmente parabólicas, que permiten transiciones suaves entre tramos con diferentes inclinaciones.

Un diseño adecuado del perfil vertical es esencial para garantizar la comodidad y seguridad de los usuarios, así como la operatividad eficiente de la carretera. Las pendientes deben elegirse en función del terreno, buscando un equilibrio entre la adaptación al relieve natural y la reducción de esfuerzos excesivos en los vehículos. Las curvas verticales facilitan transiciones graduales, mejorando la seguridad y la fluidez del tránsito, especialmente en zonas donde la pendiente varía (MTOP, 2013a)

Desde el punto de vista funcional, es importante considerar la continuidad del trazado, la eficacia del drenaje superficial en particular en terrenos planos o con riesgo de inundación y evitar configuraciones que puedan generar confusión visual, como rasantes con curvas consecutivas de igual sentido separadas por tramos demasiado cortos.

2.4.4.1.- Gradientes

Las pendientes longitudinales, o gradientes, del trazado vial son un componente clave del diseño geométrico vertical de las carreteras, ya que afectan directamente el comportamiento de los vehículos, la eficiencia del tránsito y la seguridad vial. Definirlas correctamente permite lograr una circulación fluida, mantener velocidades compatibles con el alineamiento horizontal y reducir el esfuerzo mecánico de los vehículos, especialmente en tramos largos o con tráfico pesado.

Para un diseño eficiente, se establecen límites máximos de gradiente según la velocidad de diseño y la clasificación funcional de la carretera. Estas velocidades dependen a su vez de factores como el volumen de tráfico esperado y la categoría de la vía dentro del sistema vial nacional. En la tabla siguiente se muestran los valores recomendados y absolutos de las gradientes máximas permitidas según la clase de carretera y el tipo de topografía.

La selección de las gradientes está principalmente condicionada por la topografía del terreno. En áreas montañosas o de relieve complejo, se requiere una mayor adaptación geométrica, procurando siempre mantener pendientes lo más moderadas posible. Pendientes elevadas pueden dificultar el ascenso de vehículos pesados y aumentar el consumo de combustible, mientras que pendientes muy pronunciadas en descenso pueden comprometer la capacidad de frenado y la seguridad del tránsito (MTOP, 2003b).

Tabla 12

Valores de diseño de Gradientes Longitudinales Máximas

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	>	TPDA	2	3	4	3	4	6
I	3000	a	TPDA	3	4	6	3	5	7
II	1000	a	TPDA	3	4	7	4	6	8
III	300	a	TPDA	4	6	7	6	7	9
IV	100	a	TPDA	5	6	8	6	8	12
V	Menos de 100		TPDA	5	6	8	6	8	14

Nota. Fuente: Ministerio de Transporte y Obras Públicas, (MTOP, 2003a).

En el diseño geométrico, no solo se considera el valor de la pendiente, sino también su longitud, ya que ambos factores afectan directamente la operación de los vehículos. Por ello, se establecen límites máximos de longitud para cada rango de gradiente, con el fin de evitar esfuerzos excesivos en los vehículos, especialmente en rutas con tránsito pesado o en tramos de ascenso prolongados.

Para pendientes entre el 8 % y el 10 %, se recomienda una longitud máxima de 1.000 metros; para pendientes del 10 % al 12 %, la longitud se reduce a 500 metros; y para pendientes de 12 % a 14 %, el límite máximo es de 250 metros. Estas restricciones buscan equilibrar las exigencias del terreno con la seguridad y el desempeño de los vehículos.

Cabe destacar que, en tramos cortos y bajo ciertas condiciones del terreno particularmente en zonas onduladas o montañosas se puede permitir un incremento

adicional del 1 % en la gradiente, especialmente en carreteras de primera, segunda o tercera clase, como una medida para optimizar los costos de construcción sin afectar de manera significativa la operatividad vial (MTOP, 2003b).

2.4.4.1.1.- Gradientes Mínimos

Además de los límites máximos, en el diseño vial se establecen también gradientes longitudinales mínimas, necesarias para asegurar un drenaje eficiente de la calzada. Una pendiente insuficiente puede provocar acumulación de agua sobre el pavimento, aumentando el riesgo de deterioro estructural, deslizamientos o pérdida de adherencia.

Generalmente, se considera que una pendiente mínima aceptable es del 0,5 %, ya que este valor permite evacuar adecuadamente las aguas superficiales en condiciones normales. Sin embargo, en casos específicos, como en tramos de relleno con más de un metro de altura, puede permitirse una pendiente longitudinal del 0 %, siempre que la sección transversal del pavimento tenga suficiente inclinación lateral para garantizar un drenaje efectivo hacia las cunetas o sistemas laterales de evacuación, como ocurre en calzadas con peralte o pendiente transversal correctamente diseñada (MTOP, 2003b).

2.4.4.1.2.- Longitud Crítica de Gradiente

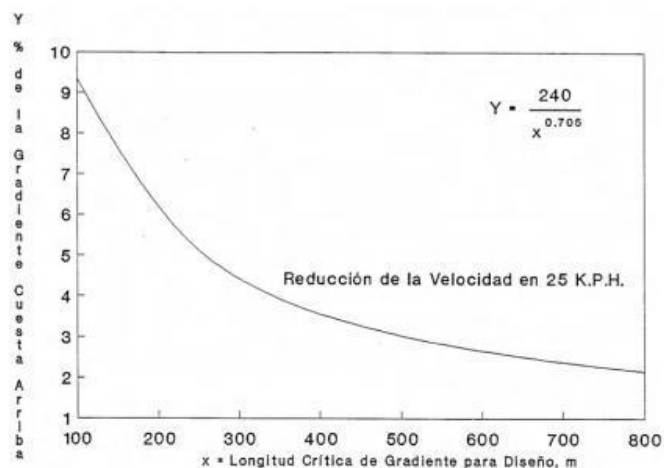
La longitud crítica de gradiente es un concepto clave en el diseño geométrico de carreteras con pendientes ascendentes, especialmente en zonas montañosas como la cordillera de los Andes. Se refiere a la distancia máxima de una pendiente en la que un camión típico, cargado completamente, puede mantener su velocidad sin que esta disminuya de manera significativa. Mantener una velocidad constante es fundamental para evitar interrupciones en el flujo vehicular, sobre todo en carreteras con volúmenes de tránsito medio o alto.

El diseño de estos tramos se fundamenta en parámetros específicos, como la relación peso-potencia del vehículo (por ejemplo, un camión con aproximadamente 400 libras por caballo de fuerza) y una velocidad mínima de referencia de 25 km/h, considerada como el umbral para determinar la necesidad de medidas correctivas. Según estudios de la AASHTO, la longitud crítica de gradiente varía inversamente con la reducción de velocidad: a menor pérdida de velocidad permitida, mayor puede ser la

longitud de la pendiente aceptable (MTOP, 2003b), como se muestra en la siguiente imagen:

Ilustración 14

Longitudes Críticas de Gradientes para Diseño



Nota. Fuente: Ministerio de Transporte y Obras Públicas, (MTOP, 2013b).

En tramos con alto volumen de tráfico y donde los vehículos pesados representan más del 20 % de la capacidad proyectada, resulta técnicamente recomendable diseñar carriles auxiliares de ascenso. No obstante, en situaciones de bajo tráfico total y con un flujo de camiones superior al 60 %, las interferencias son menores, ya que los vehículos pesados circulan a velocidades similares entre sí, por lo que la construcción de carriles adicionales podría no ser necesaria. En estos casos, es importante realizar un análisis detallado del volumen de tránsito, la composición vehicular y la capacidad de la carretera antes de decidir el diseño. Cuando la longitud crítica se excede y la capacidad operativa de la vía se ve afectada, se recurre a soluciones como la incorporación de carriles adicionales de ascenso, las cuales se describen en la sección siguiente (MTOP, 2003b).

2.4.4.2.- Curvas Verticales

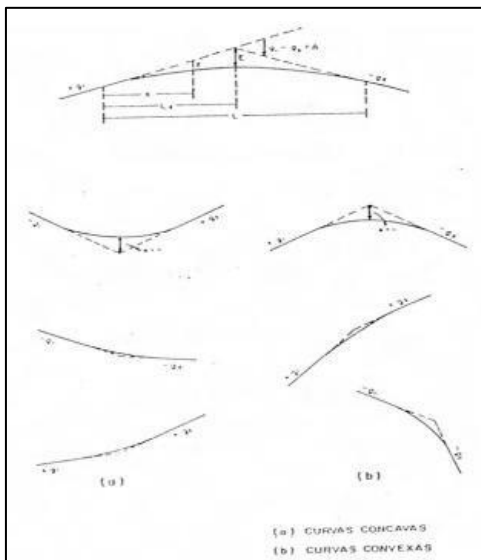
En el diseño del alineamiento vertical de una carretera, las curvas verticales tienen la función de conectar dos pendientes consecutivas de manera gradual, incrementando la seguridad, la visibilidad y el confort del conductor. Su uso evita cambios bruscos en la rasante, promoviendo una conducción más estable y predecible.

La parábola simple es el tipo de curva más empleado, debido a su buena aproximación a la geometría circular y a su facilidad de implementación. Considerando que las pendientes longitudinales suelen ser suaves y que las mediciones se realizan en un plano horizontal, el uso de una parábola con eje vertical centrado en el Punto de Intersección Vertical (PIV) es geométricamente correcto y prácticamente exacto.

La siguiente imagen ilustra los distintos tipos de curvas verticales, destacando la parábola simple como la opción más común en el diseño vial.

Ilustración 15

Tipos de Curvas Verticales



Nota. Fuente: Ministerio de Transporte y Obras Públicas, (MTOP, 2003b).

El trazado de esta parábola se calcula usando una fórmula que establece la ordenada Y la distancia vertical entre la curva y su tangente— en función de la distancia horizontal X desde el punto de tangencia.

$$Y = \left(\frac{2X}{L}\right)^2 * h \quad (12)$$

Donde:

Y: ordenada en cualquier punto de la curva (m),

X: distancia horizontal desde el punto de tangencia (m),

L: longitud total de la curva vertical (m),

h: ordenada máxima de la parábola (m)

La **ordenada máxima** h se determina a partir de la diferencia algebraica entre las gradientes de las pendientes que se conectan, utilizando la siguiente expresión:

$$h = \frac{A * L}{800} \quad (13)$$

Donde:

A: diferencia algebraica de gradientes (%),

L: longitud de la curva (m)

Adicionalmente, la relación entre L y A, conocida como el parámetro $K = \frac{L}{A}$, permite determinar la longitud mínima requerida para garantizar una transición adecuada, en función de la velocidad de diseño. Este valor es clave para cumplir con las condiciones de visibilidad exigidas por la normativa (MTOP, 2003b).

El coeficiente K es un parámetro fundamental en el diseño de curvas verticales, ya que relaciona la longitud de la curva con la diferencia de pendiente entre dos tramos consecutivos. Este valor determina si una curva cóncava o convexa ofrece la visibilidad mínima adecuada para la detención o el adelantamiento de un vehículo.

Se detectaron y analizaron varias curvas verticales a lo largo del alineamiento, diferenciando entre curvas convexas y cóncavas según su ubica

2.4.4.2.1.- Curvas Verticales Convexas

Las curvas verticales convexas se emplean para enlazar dos pendientes ascendentes o descendentes, generando una cresta en el perfil longitudinal de la carretera. Su diseño está directamente relacionado con los requerimientos de visibilidad, especialmente la distancia de parada, fundamental para garantizar la seguridad del conductor frente a obstáculos inesperados.

Para su diseño se considera que la altura del ojo del conductor es de 1,15 m y la altura del objeto visible sobre la vía es de 0,15 m. Con base en estos valores, la longitud mínima de la curva vertical convexa se calcula mediante la siguiente expresión:

$$L = \frac{A * S^2}{426} \quad (14)$$

Donde:

L es la longitud de la curva vertical (m),

A es la diferencia algebraica entre gradientes (%),

S es la distancia de visibilidad de parada (m).

De manera simplificada, la longitud de una curva convexa también puede representarse mediante la siguiente expresión:

$$L = K * A \quad (15)$$

Donde:

K= coeficiente que varía en función de la velocidad de diseño y los criterios de visibilidad adoptados.

El Cuadro VII-2 contiene los valores del coeficiente K para diferentes velocidades de diseño, mientras que el Cuadro VII-3 indica los valores recomendados y máximos de K según la clase de carretera y la topografía del terreno (L: llano, O: ondulado, M: montañoso).

Tabla 13

Curvas Verticales Convexas Mínimas

CURVAS VERTICALES CONVEXAS MÍNIMAS			
Velocidad de diseño (km/h)	Distancia de Visibilidad para Parada s (m)	Coeficiente K Calculado	Coeficiente K Redondeado

20	20	0.94	1
25	25	1.47	2
30	30	2.11	2
35	35	2.88	3
40	40	3.76	4
45	50	5.87	6
50	55	7.10	7
60	70	11.50	12
70	90	19.01	19
80	110	28.40	28
90	135	42.78	43
100	160	60.09	60
110	180	76.06	80
120	220	113.62	115

Nota. Fuente: Ministerio de Transporte y Obras Públicas, (MTOP, 2003a).

Tabla 14

Valores mínimos de diseño del coeficiente "K" para determinar la Longitud de Curvas

Verticales Convexas Mínimas

VALORES MÍNIMOS DE DISEÑO DEL COEFICIENTE "K" PARA LA DETERMINACIÓN DE LA LONGITUD DE CURVAS VERTICALES CONVEXAS MÍNIMAS										
Clase de Carretera					Valor Recomendable			Valor Absoluto		
R--lo	R--II	>			L	O	M	L	O	M
I	3000	a	8000	TPDA	115	80	43	80	43	28
II	1000	a	3000	TPDA	80	60	28	60	28	12
III	300	a	1000	TPDA	60	43	19	43	28	7
IV	100	a	300	TPDA	43	28	12	28	12	4
V	Menos de		100	TPDA	28	12	7	12	3	2
					12	7	4	7	3	2

Nota. Fuente: Ministerio de Transporte y Obras Públicas, (MTOP, 2003a).

Cuando es necesario determinar una longitud mínima absoluta, se emplea la siguiente fórmula simplificada:

$$L_{min} = 0.60V \quad (16)$$

Donde:

V= Corresponde a la velocidad de diseño (km/h)

Esta fórmula facilita comprobar de manera rápida si la curva diseñada cumple con una longitud mínima segura, incluso cuando no se conoce el valor de A. Los valores y fórmulas presentados permiten dimensionar curvas verticales que garanticen las condiciones mínimas de seguridad, asegurando que el conductor tenga suficiente visibilidad para detener el vehículo frente a cualquier eventualidad (MTOP, 2003b).

2.4.4.2.2.- Curvas Verticales Cóncavas

Las curvas verticales cóncavas se emplean para conectar dos pendientes, ya sean descendentes o ascendentes, formando un valle en el perfil longitudinal de la carretera. Desde el punto de vista de la seguridad, es crucial que estas curvas tengan suficiente longitud para que el haz de luz de los faros permita al conductor identificar obstáculos con antelación, especialmente durante la conducción nocturna. El diseño se basa en asegurar que la longitud iluminada por los faros sea al menos igual a la distancia de visibilidad necesaria para detener el vehículo. Considerando una altura estándar de 60 cm para los faros y un ángulo típico de dispersión del haz, se aplica la siguiente expresión:

$$L = \frac{A * S^2}{122 + 3.5 * S} \quad (17)$$

Donde:

L: longitud de la curva vertical cóncava (m),

A: diferencia algebraica de gradientes (%),

S: distancia de visibilidad para parada (m)

Además, en etapas de diseño preliminar o para realizar una verificación rápida, se pueden emplear las relaciones simplificadas usadas en las curvas verticales convexas, como la fórmula general de la ecuación 15 y la expresión empírica de la ecuación 16. Estas fórmulas permiten obtener una estimación inicial o validar rápidamente el diseño propuesto.

Los valores del coeficiente K para diferentes velocidades y distancias de visibilidad se presentan en la tabla siguiente, mientras que la Tabla 16 muestra los valores mínimos recomendados y máximos según la clase de carretera y el tipo de terreno.

Tabla 15

Curvas Verticales Cóncavas Mínimas

CURVAS VERTICALES CONCAVAS MÍNIMAS			
Velocidad de diseño (kph)	Distancia de Visibilidad para Parada "s" (m)	Coeficiente K Calculado	Coeficiente K Redondeado
20	20	2.08	2
25	25	2.98	3
30	30	3.96	4
35	35	5.01	5
40	40	6.11	6
45	50	8.42	8
50	55	9.62	10
60	70	13.35	13
70	90	18.54	19
80	110	23.87	24
90	135	30.66	31
100	160	37.54	38
110	180	43.09	43
120	220	54.26	54

Nota. Fuente: Ministerio de Transporte y Obras Públicas, (MTOP, 2003a).

Tabla 16

Valores mínimos de diseño del coeficiente "K" para la Determinación de la Longitud de Curvas Verticales Cóncavas Mínimas

VALORES MÍNIMOS DE DISEÑO DEL COEFICIENTE "K" PARA LA DETERMINACIÓN DE LA LONGITUD DE CURVAS VERTICALES CONVEXAS MÍNIMAS										
Clase de Carretera					Valor Recomendable			Valor Absoluto		
					L	O	M	L	O	M
R--lo	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. Fuente: Ministerio de Transporte y Obras Públicas, (MTOP, 2003a).

Un correcto diseño de las curvas cóncavas asegura que los conductores dispongan de la visibilidad suficiente para ejecutar maniobras seguras, incluso en condiciones de baja visibilidad o durante la conducción nocturna (MTOP, 2003b).

2.5.- Diseño Estructural

El método AASHTO 1993, utiliza el número estructural (SN) para evaluar la capacidad del pavimento, considerando factores como el volumen de tránsito, la resistencia del suelo y los niveles de serviciabilidad proyectados (AASHTO, 1993).

En Ecuador, la Norma Ecuatoriana Vial NEVI-12 indica que los diseños deben tomar en cuenta las características geotécnicas, climáticas y de operación del país, fomentando criterios de durabilidad, sostenibilidad y eficiencia técnica (MTOP, 2003a).

2.5.1.- Capacidad Portante del Suelo

2.5.1.1.- Ensayo CBR

El California Bearing Ratio (CBR) es una prueba comúnmente empleada para determinar la capacidad de soporte del suelo en el diseño de pavimentos. Este ensayo compara la resistencia del suelo a la penetración con la de una muestra estándar de

material granular bien graduado, expresando el resultado como un porcentaje, que puede oscilar entre 2–3 % en arcillas plásticas y superar el 70 % en suelos granulares de alta calidad.

Este indicador es fundamental para el diseño estructural del pavimento, dado que suelos con bajos valores de CBR necesitan capas de pavimento más gruesas para proteger la subrasante frente a las cargas del tráfico. Las muestras se preparan en condiciones controladas de humedad y compactación, y se saturan durante 96 horas antes de realizar la prueba, con el fin de reproducir las condiciones críticas que pueden presentarse en el terreno (AASHTO, 1993).

2.5.1.2.- Granulometría

La granulometría analiza la distribución de los distintos tamaños de partículas en un suelo o agregado, siendo esencial para determinar su idoneidad en proyectos de pavimentación. Este estudio permite clasificar los materiales según el porcentaje que pasa por tamices estandarizados, lo que influye directamente en sus características mecánicas, capacidad de compactación, estabilidad y permeabilidad.

Según el método AASHTO, los suelos se dividen en categorías como gravas, arenas, limos y arcillas. Una correcta distribución granulométrica favorece la resistencia al corte, la estabilidad del pavimento y el comportamiento hidráulico de sus capas (AASHTO, 1993).

2.5.1.3.- Plasticidad

La plasticidad es una propiedad fundamental de los suelos finos, ya que indica su capacidad para deformarse sin romperse cuando se someten a esfuerzos. Esta se evalúa mediante los límites de Atterberg: límite líquido (LL), límite plástico (LP) y el índice de plasticidad (IP), que es la diferencia entre ambos. Estos valores permiten clasificar los suelos según el rango de humedad en el que pueden ser moldeados, afectando directamente su comportamiento dentro de la estructura del pavimento.

Los suelos con un alto índice de plasticidad, como las arcillas A-7-6 o CH, tienden a experimentar hinchamiento vertical al absorber humedad, lo que puede comprometer la

estabilidad del pavimento. Por ello, se recomienda estabilizarlos o reemplazarlos antes de emplearlos como subrasante en el diseño estructural (AASHTO, 1993).

2.5.1.4.- Humedad

La humedad es un factor clave que influye en la resistencia y el comportamiento de los suelos en pavimentos. Un exceso de agua puede disminuir la capacidad portante, aumentar la deformabilidad de la subrasante y acelerar el deterioro estructural, debido en parte al incremento de la presión de poros bajo cargas repetidas.

Para contrarrestar estos efectos, se utilizan los ensayos Proctor estándar (T-99) y modificado (T-180), que permiten determinar la humedad óptima en la que el suelo alcanza su máxima densidad seca. Compactar el suelo cercano a este punto optimiza su comportamiento mecánico.

En suelos expansivos, se ha comprobado que compactar en el lado húmedo de la curva Proctor puede disminuir el riesgo de hinchamiento posterior, favoreciendo así la estabilidad de la estructura bajo condiciones críticas (AASHTO, 1993).

2.5.2.- Tipos de Pavimentos

2.5.2.1.- Pavimento Flexible

El pavimento flexible es una estructura formada por varias capas que permite distribuir de manera gradual las cargas de los vehículos desde la superficie hasta la subrasante. Generalmente, está compuesto por una capa de rodadura, una base y, en muchos casos, una subbase. Las capas superiores, elaboradas con materiales de mayor calidad y rigidez, se ubican en las zonas donde las tensiones son más altas, mientras que las inferiores funcionan como soporte y facilitan el drenaje.

Su principal objetivo es disminuir progresivamente las tensiones verticales generadas por el tránsito vehicular, de manera que la subrasante reciba cargas que no superen su capacidad de soporte. Esta capacidad de adaptación se logra gracias a la flexibilidad del pavimento, que permite que las deformaciones ocurran sin provocar fallas estructurales prematuras. La capa de rodadura normalmente está hecha de mezclas asfálticas, seguida por una base granular como piedra partida o grava estabilizada, y una subbase de menor calidad relativa que contribuye al comportamiento hidráulico y estructural de la vía.

La determinación de los espesores y materiales de cada capa se realiza considerando factores como el número de ejes equivalentes (ESALs), el módulo resiliente de los materiales y las condiciones ambientales del proyecto. También se toman en cuenta aspectos económicos, disponibilidad de materiales y facilidad constructiva para asegurar un rendimiento eficiente y una vida útil prolongada del pavimento (AASHTO, 1993).

2.5.2.2.- Pavimento Rígido

El pavimento rígido consiste principalmente en losas de hormigón de cemento Portland, cuya elevada rigidez permite distribuir las cargas de manera más uniforme sobre la subrasante. A diferencia del pavimento flexible, donde las tensiones se van reduciendo progresivamente a través de varias capas, en el pavimento rígido el soporte estructural recae mayormente sobre la losa de concreto, haciendo que la capacidad del suelo subyacente tenga menos influencia.

Se clasifica en tres tipos principales: hormigón simple con juntas, hormigón armado con juntas y hormigón armado con refuerzo continuo. La elección del tipo depende del tráfico esperado, los requerimientos para controlar grietas y el presupuesto del proyecto. Las juntas y los refuerzos son fundamentales para evitar la aparición de fisuras y asegurar un comportamiento estructural duradero.

Entre sus beneficios destacan una vida útil prolongada, menor frecuencia de mantenimiento y un buen desempeño frente a cargas pesadas, lo que los hace apropiados para carreteras de alto tránsito, aeropuertos y terminales de transporte. Sus limitaciones incluyen costos iniciales elevados, tiempos de construcción más largos y menor adaptabilidad ante asentamientos del terreno (AASHTO, 1993).

2.5.2.3.- Capa de Rodadura

La capa de rodadura constituye la superficie superior de un pavimento y su función principal es ofrecer un contacto seguro, uniforme y resistente entre los vehículos y la vía. Esta capa soporta directamente las cargas del tráfico y las condiciones climáticas, por lo que debe garantizar resistencia al desgaste, impermeabilidad y un adecuado coeficiente de fricción.

En pavimentos flexibles, la capa de rodadura suele estar formada por mezclas asfálticas en caliente, que permiten adaptarse a las deformaciones y un rápido uso tras su construcción. En pavimentos rígidos, se emplean losas de hormigón de cemento Portland, que proporcionan mayor rigidez y durabilidad ante cargas pesadas, aunque requieren un proceso constructivo más complejo.

El espesor de la capa depende del volumen de tránsito, la categoría funcional de la vía y las condiciones ambientales. Además de soportar el tráfico, protege las capas inferiores frente a la humedad, lo cual es fundamental para mantener la vida útil del pavimento en su totalidad (AASHTO, 1993).

2.5.2.4.- Base

La base es una capa fundamental dentro de la estructura del pavimento, ubicada entre la capa de rodadura y la subbase, o directamente sobre la subrasante. Su principal función es proporcionar soporte estructural, distribuyendo de manera uniforme las cargas del tránsito y reduciendo su impacto sobre el suelo de fundación, lo que ayuda a prevenir deformaciones permanentes en la vía.

Las bases se clasifican en dos tipos: granulares, formadas por materiales no tratados como piedra triturada o grava bien graduada, y estabilizadas, que incluyen aditivos como cemento, cal o asfalto para incrementar su resistencia y cohesión interna. Las bases estabilizadas son particularmente útiles en suelos de baja capacidad portante o en zonas con ciclos de congelamiento y deshielo.

Además, algunas bases se diseñan con permeabilidad controlada para facilitar el drenaje del agua que infiltra, utilizando materiales de alta porosidad y, cuando es necesario, incorporando filtros o geotextiles para evitar la contaminación con partículas finas de capas inferiores. Este diseño ayuda a prolongar la vida útil del pavimento al prevenir la acumulación de humedad dentro de la estructura (AASHTO, 1993).

2.5.2.5.- Subbase Granular

La subbase granular es una capa dentro de la estructura del pavimento que se encuentra entre la base y la subrasante. Su función principal es mejorar la distribución de las cargas, brindar soporte adicional y favorecer el drenaje del sistema vial. Además, actúa

como una barrera tanto estructural como hidráulica, protegiendo la subrasante de las tensiones generadas por el tránsito y evitando la acumulación de humedad que pueda reducir su capacidad portante.

Esta capa está formada por materiales granulares bien graduados que permiten una compactación eficiente y contribuyen a la estabilidad general de la estructura. Para funcionar adecuadamente, la subbase debe cumplir con requisitos específicos de granulometría, resistencia (CBR), permeabilidad y espesor. Según el método AASHTO 1993, se definen valores mínimos de CBR para distintos tipos de subbases, destacando su importancia en la prevención de asentamientos diferenciales y en la extensión de la vida útil del pavimento.

Además de su función estructural, la subbase ayuda a controlar la humedad que asciende desde capas inferiores y, en algunos casos, puede servir como filtro para impedir que los finos migren hacia las capas superiores, especialmente cuando se combina con geotextiles u otros materiales de separación (AASHTO, 1993).

2.5.3.- Diseño de Pavimento Flexible

El método de diseño de pavimentos AASHTO tiene su origen en el AASHO Road Test, un experimento llevado a cabo entre 1958 y 1960 en Ottawa, Illinois, en el que se analizaron diferentes tipos de pavimentos bajo cargas variables. Los hallazgos de este estudio fueron fundamentales para elaborar la guía provisional “AASHO Interim Guide for the Design of Rigid and Flexible Pavement” (1962), que introdujo métodos de diseño basados en modelos empíricos obtenidos directamente de dicho ensayo (AASHTO, 1993).

La fórmula para su diseño es:

$$\log W_{18} = Z_r * S_o + 9.36 * \log(SN + 1) - 0.20 + \frac{\log\left(\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5}\right)}{\left(0.4 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}\right)} + 2.32 * \log(M_R) - 8.07 \quad (18)$$

Donde:

SN = número estructural (pulg)

W18 = número de cargas de 18 kips (80 kN) previstas

ZR = abscisa correspondiente a un área igual a la confiabilidad

R en la curva de distribución normalizada

So = desvío estándar de todas las variables

Δ PSI = pérdida de serviciabilidad

MR = módulo resiliente de la subrasante (en psi)

2.5.3.1.- Variables de Entrada

Se presentan las diferentes variables a continuación:

2.5.3.1.1.- Variables de Tiempo

En el diseño de pavimentos es fundamental tener en cuenta dos conceptos principales: la vida útil y el período de análisis. La vida útil se refiere al tiempo transcurrido desde la construcción o rehabilitación del pavimento hasta que su nivel de serviciabilidad alcanza el mínimo aceptable. Por su parte, el período de análisis es el lapso total que se considera al planificar la estrategia de diseño; en algunos casos coincide con la vida útil, pero cuando se prevén futuras intervenciones como refuerzos o rehabilitaciones, este período abarca tanto la duración del pavimento original como la de las obras subsecuentes. Para cada tipo de proyecto, existen recomendaciones estándar que ayudan a definir estos intervalos (AASHTO, 1993).

Tabla 17

Periodos de Análisis Recomendados según el tipo de Camino y volumen de Tránsito

Tipo de camino	Período de análisis
Gran volumen de tránsito urbano	30–50 años
Gran volumen de tránsito rural	20–50 años
Bajo volumen pavimentado	15–25 años

Nota. Fuente: (AASHTO, 1993).

2.5.3.1.2.- Variables de Tránsito

En el diseño de pavimentos, el análisis del tránsito se basa en el número de repeticiones de ejes equivalentes de 18 kips (80 kN), denominados ESALs. Para convertir diferentes tipos de cargas vehiculares a este valor estándar se emplean los factores equivalentes de carga (LEF), los cuales permiten representar diversas cargas en términos de su impacto equivalente sobre la estructura del pavimento (AASHTO, 1993).

2.5.3.1.3.- Variable de Confiabilidad

La confiabilidad refleja el grado de seguridad con el que se espera que un diseño funcione adecuadamente hasta completar su período de análisis. Su objetivo es garantizar que el pavimento mantenga un desempeño aceptable durante toda su vida útil, teniendo en cuenta las variaciones del entorno y del tránsito. En proyectos desarrollados por fases, donde la vida útil de cada tramo es menor que el período total de análisis es necesario integrar las confiabilidades de cada etapa para determinar la confiabilidad global del diseño a lo largo del tiempo (AASHTO, 1993).

$$R_{Etapa} = (R_{Total})^{\frac{1}{n}} \quad (19)$$

Donde:

n: Número de etapas previstas

Retapa: Confiabilidad de cada etapa

Rtotal: Confiabilidad para toda la vida útil de diseño

En el diseño de pavimentos, la confiabilidad indica la probabilidad de que la estructura funcione correctamente durante el período de diseño sin alcanzar un deterioro inaceptable. La elección del nivel de confiabilidad adecuado depende del tipo de carretera y del volumen de tráfico previsto. En vías con alto tránsito, como autopistas urbanas, un fallo de diseño puede generar costos significativos por rehabilitación, mientras que en caminos rurales de bajo tránsito el impacto es menor. Niveles elevados de confiabilidad implican diseños más conservadores, con mayores costos iniciales, pero menos mantenimiento a largo plazo, mientras que niveles más bajos reducen la inversión inicial,

pero aumentan la frecuencia y el costo de intervenciones futuras. Por ello, se busca un nivel de confiabilidad que optimice el costo total del proyecto, considerando construcción y mantenimiento durante la vida útil del pavimento. A continuación, se muestra una tabla con los niveles de confiabilidad recomendados según el tipo de vía y las condiciones de operación.

Tabla 18

Niveles de Confiabilidad sugeridos para diferentes carreteras

Tipo de camino	Zona urbana	Zona rural
Rutas interestatales y autopistas	85–99.9	80–99.9
Arterias principales	80–99	75–99
Colectoras	80–95	75–95
Locales	50–80	50–80

Nota. Fuente: (AASHTO, 1993).

2.5.3.1.4.- Niveles de Serviciabilidad

La serviciabilidad de un pavimento indica su capacidad para satisfacer de manera adecuada las demandas del tránsito para el que fue diseñado. Esta se mide a través del Índice de Serviciabilidad Presente (PSI), que evalúa el estado del pavimento en una escala de 0 (muy deteriorado) a 5 (óptimo) (AASHTO, 1993).

En el diseño se consideran dos niveles principales de serviciabilidad:

- Serviciabilidad inicial (Po): Determinada por la calidad de la construcción y el diseño estructural.
 - ✓ Pavimentos rígidos: Po = 4,5
 - ✓ Pavimentos flexibles: Po = 4,2
- Serviciabilidad final (Pt): Establecida según la importancia de la vía y el criterio del diseñador.
 - ✓ Caminos de alta relevancia: Pt = 2,5
 - ✓ Caminos de menor tránsito: Pt = 2,0

Cabe destacar que estos valores corresponden a condiciones constructivas ideales. Si la obra se ejecuta con maquinaria deteriorada o con limitaciones en la mano de obra,

el pavimento podría no alcanzar los niveles de serviciabilidad previstos, lo que reduciría su vida útil (AASHTO, 1993).

2.5.3.1.5.- Propiedades de los materiales

2.5.3.1.5.1.- Módulo Resiliente (Mr)

El módulo resiliente (MR) cuantifica la elasticidad de un suelo o material cuando está sometido a cargas repetidas. En el método de diseño AASHTO 1993, el MR sustituye al CBR y se expresa en MegaPascales (MPa) o psi. Valores más elevados de MR indican un material más rígido, lo que reduce la necesidad de espesor estructural del pavimento. Por ejemplo, un aumento del MR de 10 a 60 MPa puede disminuir varios milímetros del número estructural requerido, optimizando así el diseño según la calidad del suelo de fundación (AASHTO, 1993).

Este valor se calcula con la siguiente formula:

$$Mr = K_1 * (\theta_3)^{k_2} \quad (20)$$

Donde:

K₁, k₂: coeficientes de regresión.

θ₃: presión de confinamiento.

$$\theta_3 = \theta_1 + \theta_2 + \theta_3 \quad (21)$$

Los coeficientes empíricos más comunes para el cálculo del módulo resiliente de materiales granulares son K₁ = 9600 y K₂ = 0,55. La presión de confinamiento, que depende tanto del espesor de la capa como de la magnitud de la carga aplicada, generalmente oscila entre 34 kPa (5 psi) y 345 kPa (50 psi). Bajo estas condiciones, el módulo resiliente de una base granular puede variar desde 163 MPa (23,625 psi) en presiones bajas hasta 580 MPa (82,550 psi) en presiones altas (AASHTO, 1993).

Es importante señalar que el módulo de la capa base también está condicionado por el soporte que proporciona la subrasante, lo que permite estimar un valor promedio del módulo resiliente representativo para el diseño estructural del pavimento.

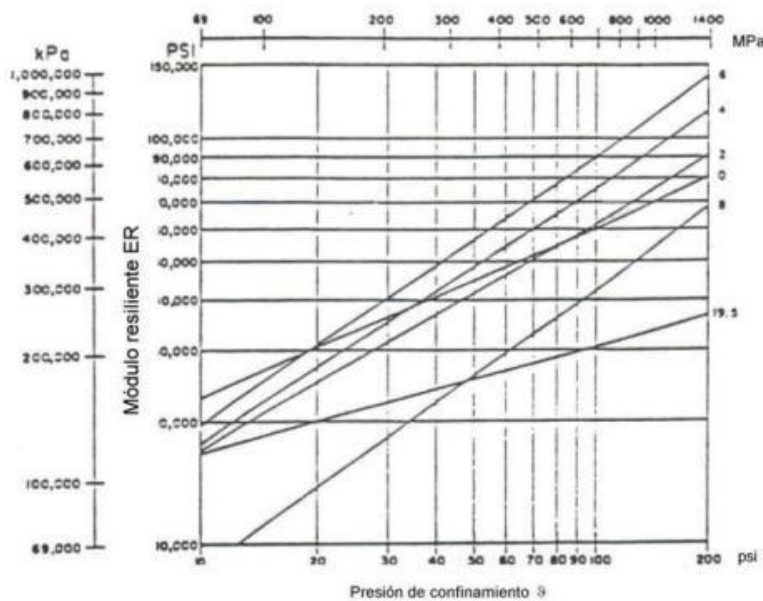
$$E_{base} = k * E_{subrasante}$$

Donde:

K: Coeficiente en función de Esubrasante

Ilustración 16

Módulo resiliente para bases granulares con más del 5% de finos



Nota. Fuente: (AASHTO, 1993).

Tabla 19

Valores de "K" en función de Esubrasante

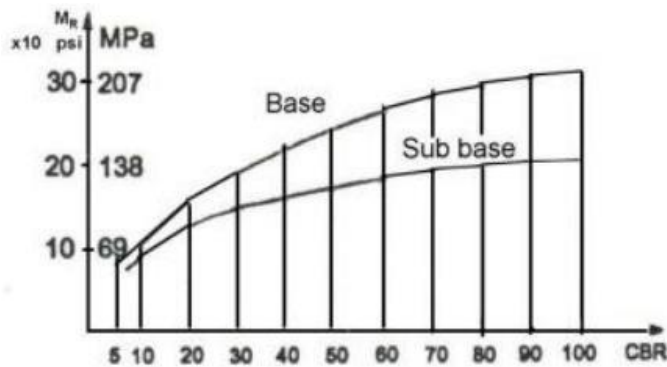
K	E _{subrasante} MPa (psi)
3.5 – 4.8	21 (3000)
2.4 – 2.7	41 (6000)
1.8 – 1.9	83 (12000)
1.6 – 1.8	138 (20000)
1.5 – 1.7	207 (30000)

Nota. Fuente: (AASHTO, 1993).

El módulo está relacionado con el CBR, como se indica en la siguiente imagen:

Ilustración 17

Relación entre Mr y CBR para base y subbase



Nota. Fuente: (AASHTO, 1993).

2.5.3.1.5.2.- Número Estructural

El número estructural (SN) es un indicador clave en el diseño de pavimentos flexibles, ya que refleja la capacidad global de la estructura para soportar las cargas del tránsito a lo largo de su vida útil. Este valor está determinado por la resistencia de los materiales utilizados, el volumen de tráfico esperado y las condiciones ambientales del lugar (AASHTO, 1993).

$$SN = a_1 * D_1 + a_2 * m_2 * D_2 + a_3 * m_3 * D_3 \dots$$

(23)

Donde:

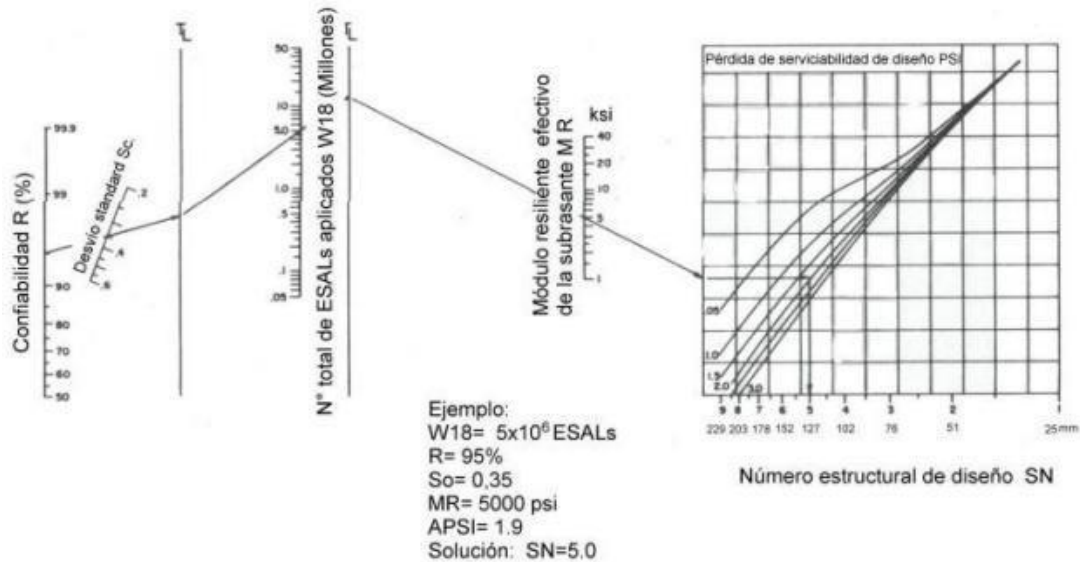
a_1, a_2, a_3 son los coeficientes estructurales o de capa, adimensionales

m_1, m_2, m_3 son los coeficientes de drenaje.

D_1, D_2, D_3 son los espesores de capas, en pulg o mm, en este sentido, el numero estructural llevara las unidades de los espesores de las diferentes capas del pavimento.

Ilustración 18

Determinación del número estructural (SN) en función de las variables del diseño



Nota. Fuente: (AASHTO, 1993).

2.5.3.2.- Determinación de Espesores

Una vez determinados los parámetros de entrada para el diseño de pavimentos flexibles, se puede utilizar la fórmula correspondiente para calcular los espesores estructurales de cada capa. Aunque este procedimiento se puede realizar manualmente, resulta tedioso y susceptible a errores. Por esta razón, se aconseja emplear ábacos o, de manera más eficiente, herramientas digitales como hojas de cálculo en Excel o software especializado como DIPAV, que ofrecen mayor rapidez y precisión al calcular el número estructural (SN) (AASHTO, 1993).

2.5.3.2.1.- Estabilidad y Factibilidad de Construcción

Desde un enfoque práctico y económico, no es aconsejable construir capas con espesores menores al mínimo establecido, ya que esto podría afectar la estabilidad del pavimento. Por el contrario, capas con espesores superiores al mínimo suelen ser más duraderas y ofrecer mayor estabilidad. En algunos casos, los espesores mínimos se definen no solo por criterios estructurales, sino también para proteger la pavimentación frente a condiciones adversas, como suelos expansivos o el congelamiento.

Asimismo, muchas instituciones establecen espesores mínimos para tratamientos superficiales. Aunque estas capas no contribuyen de manera significativa al número estructural (SN) del pavimento, cumplen un papel clave al limitar la infiltración de agua, protegiendo así la base y la subbase (AASHTO, 1993).

2.5.3.2.1.1.- Número equivalente de ejes

El número equivalente de ejes (ESALs, por sus siglas en inglés) cuantifica la carga vehicular acumulada expresándola en términos de un eje estándar de 80 kN (18 kips). Para esto se utilizan los factores equivalentes de carga (LEF), que varían según el tipo de eje, la magnitud de la carga y las características estructurales del pavimento. Los ESALs permiten evaluar el daño que el tránsito genera durante el periodo de diseño y constituyen la base para determinar el espesor estructural necesario del pavimento (AASHTO, 1993).

Tabla 20

Plantilla para el cálculo manual de ESALs

Tipo de vehículo	Volumen diario (A)	Factores de crecimiento (B)	Tránsito de diseño (C)	Factor de camión TF (D)	Nº de ESAL's p/diseño (E)
Autos					
Pick ups					
Otros veh. 2 ejes y 4 ruedas					
Camiones (2 ejes y 6 ruedas)					
Camiones (3 ó más ejes)					
Total					
Semirremolques (3 ejes)					
Semirremolques (4 ejes)					

Semirremolques (5 ó más ejes)	
Total	
Camión c/acoplado (5 ejes)	
Camión c/acoplado (6 ó más ejes)	
Total	
Total, vehículos	ESALs diseño

Para el cálculo del TF se deben analizar los distintos pesos de ejes para cada tipo de camión. Por ejemplo, para un 1-3 (tabla 3.21).

Carga

Ejes simples	LEF	No ejes	No ESALs
P ₁	lef ₁	N ₁	
P ₂	lef ₂	N ₂	
P ₃	lef ₃	N ₃	
.....			
P ₁ ^T	lef ₁ ^T	N ₁ ^T	
P ₂ ^T	lef ₂ ^T	N ₂ ^T	
.....			
P _n ^T	lef _n ^T	N _n ^T	

Nota. Fuente: (AASHTO, 1993).

$$TF = \frac{N^{\circ} \text{ de ESALs totales}}{N^{\circ} \text{ de camiones}}$$

Tabla 21*Espesores mínimos de concreto asfáltico y base granular*

Número de ESALs	Concreto asfáltico	Base granular
Menos de 50,000	2.5 cm	10 cm
50,000 – 150,000	5.0 cm	10 cm
150,000 – 500,000	6.5 cm	10 cm
500,000 – 2,000,000	7.5 cm	15 cm
2,000,000 – 7,000,000	9.0 cm	15 cm
Más de 7,000,000	10.0 cm	15 cm

Nota. Fuente: (AASHTO, 1993).

Una vez calculado el tránsito total expresado en ejes equivalentes, se utilizan los factores de direccionalidad y de distribución por carril para estimar la cantidad de repeticiones de carga que actuarán específicamente sobre el carril de diseño.

2.5.3.2.1.2.- Factor de distribución por dirección

Por lo general, se utiliza un factor de direccionalidad de 0,5, suponiendo una distribución uniforme del tránsito en ambos sentidos. Sin embargo, en vías donde existe un mayor volumen o carga de vehículos en una sola dirección, por ejemplo, en zonas cercanas a industrias, minas o puertos este valor puede ajustarse, adoptándose factores como 0,6, siempre que los estudios de tránsito lo respalden (AASHTO, 1993).

2.5.3.2.1.3.- Factor de distribución por carril

El carril de diseño es aquel que recibe la mayor cantidad de ESALs. En carreteras de dos carriles, todo el tránsito de cada sentido se concentra en un solo carril, por lo que se adopta $LD = 1$. En vías con varios carriles, el carril exterior suele considerarse como carril de diseño, ya que es el más utilizado por los vehículos pesados. En estas situaciones, el valor de LD puede variar entre 1 y 0,5, dependiendo de cómo se distribuya el tránsito entre los carriles.

Tabla 22

Factores de Distribuciones por Carril (LD) según el número de carriles por dirección

Número de carriles en cada dirección	LD
1	1.00
2	0.80 – 1.00
3	0.60 – 0.80
4	0.50 – 0.75

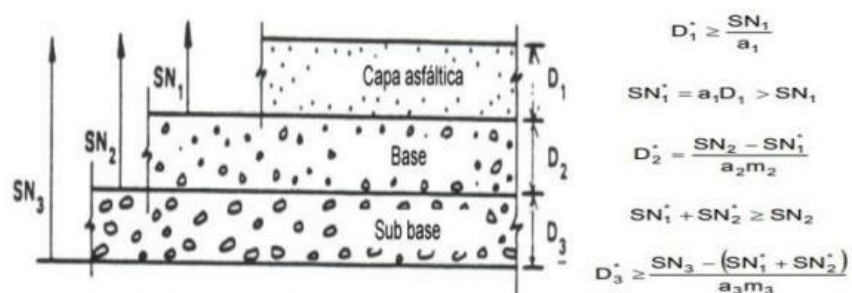
Nota. Fuente: (AASHTO, 1993).

2.5.3.3.- Espesores mínimos en función del SN

Este método se fundamenta en la necesidad de proteger las capas granulares no tratadas frente a cargas verticales excesivas que podrían provocar deformaciones permanentes. Para ello, se establecen espesores mínimos que garantizan que cada capa esté sometida solo a las tensiones que es capaz de resistir, tomando como base el número estructural (SN) y los módulos resilientes de los materiales. El procedimiento se desarrolla de manera secuencial desde la capa superior hacia las inferiores, tal como se ilustra en la figura (AASHTO, 1993).

Ilustración 19

Procedimiento para determinar espesores mínimos de capas



Nota. Fuente: (AASHTO, 1993).

Para la verificación se tiene que cumplir la relación:

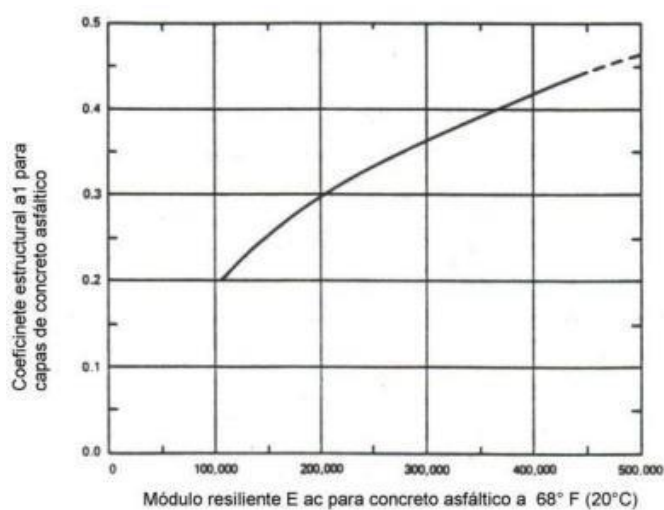
$$SN1 + SN2 + SN3 \geq SN$$

2.5.3.3.1.- Coeficientes Estructurales

El coeficiente estructural a_1 del concreto asfáltico expresa la capacidad de soporte estructural de esta capa dentro del diseño de pavimentos flexibles. Dicho coeficiente se emplea en la fórmula del número estructural (SN) para representar el aporte relativo de la capa asfáltica al desempeño global de la estructura del pavimento (AASHTO, 1993).

Ilustración 20

Grafica para determinar el coeficiente estructural a_1 de capas asfálticas en función del módulo resiliente

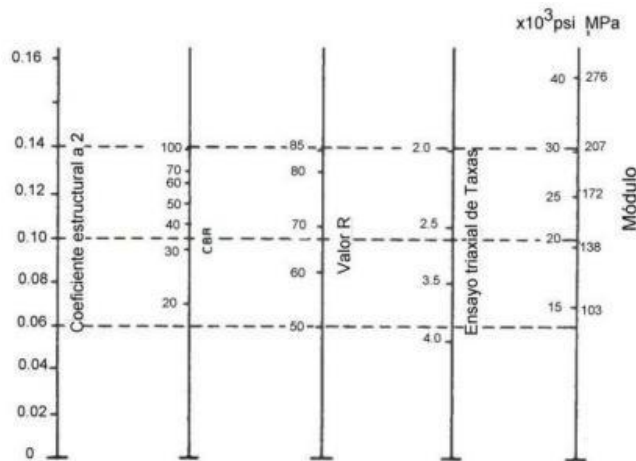


Nota. Fuente: (AASHTO, 1993).

El coeficiente estructural a_2 , correspondiente a la capa base, refleja su aporte estructural dentro del diseño de pavimentos flexibles. Su valor está directamente relacionado con las propiedades mecánicas del material, tales como la resistencia, la rigidez y la capacidad para soportar cargas repetidas. En el caso de materiales granulares no tratados o suelos estabilizados mecánicamente, este coeficiente puede estimarse a partir de parámetros empíricos obtenidos mediante ensayos de laboratorio (AASHTO, 1993).

Ilustración 21

Relación entre el coeficiente estructural para base granular y distintos parámetros resistentes

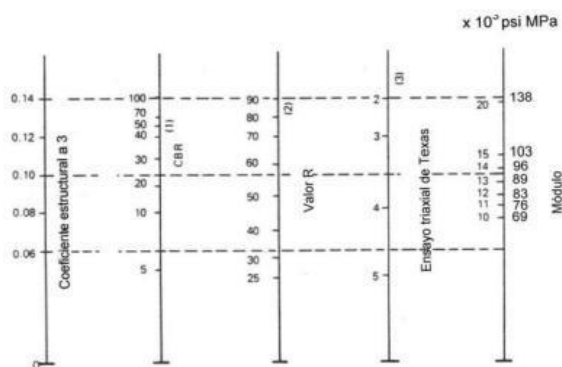


Nota. Fuente: (AASHTO, 1993).

El coeficiente estructural a_3 , asociado a la subbase, representa la contribución de esta capa al comportamiento estructural del pavimento. Al igual que ocurre con la base, su valor depende de la calidad del material utilizado, que generalmente corresponde a un suelo compactado con una capacidad portante inferior a la de la capa base (AASHTO, 1993).

Ilustración 22

Relación entre el coeficiente estructural y subbase granular y distintos parámetros resistentes



Nota. Fuente: (AASHTO, 1993).

2.6.- Drenaje Vial

El drenaje es una parte esencial del diseño estructural de pavimentos, ya que la acumulación de humedad dentro del sistema puede comprometer gravemente su estabilidad y durabilidad. El manejo del agua, tanto superficial como subterránea, influye directamente en el desempeño de las capas del pavimento y en su capacidad para soportar cargas repetidas a lo largo del tiempo (AASHTO, 1993).

2.6.1.- Cunetas

Las cunetas son elementos lineales contruidos de forma paralela a la carretera, principalmente en zonas de corte, ya sea en uno o en ambos lados de la vía. Su función principal es recolectar y conducir el agua de escorrentía proveniente de la calzada, los taludes y las áreas adyacentes. Esta agua se canaliza hacia cauces naturales o sistemas transversales de drenaje, con el fin de evacuarla de manera rápida y eficiente, evitando daños en la carretera ocasionados por la acumulación o infiltración de humedad (MTOP, 2003a).

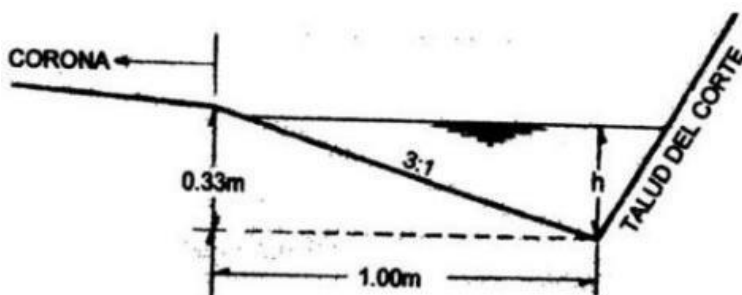
2.6.1.1.- Forma de la sección

Las cunetas se clasifican de acuerdo con la forma de su sección transversal en tres tipos principales: triangulares, rectangulares y trapezoidales. Las cunetas de sección triangular son las más comúnmente utilizadas, principalmente por su simplicidad constructiva y facilidad de mantenimiento. No obstante, cuando se requiere una mayor capacidad hidráulica, también pueden emplearse secciones trapezoidales o rectangulares.

Sin embargo, las cunetas rectangulares han caído en desuso por razones de seguridad vial, ya que generan una percepción de riesgo en los conductores que circulan cerca de ellas. Del mismo modo, el uso de cunetas trapezoidales se ha reducido, a menos que se encuentren en zonas con taludes suaves próximos a la vía, donde su implementación es más viable (MTOP, 2003a).

Ilustración 23

Dimensiones Típicas de Cunetas Rectangulares



Nota. Fuente: (MTOP, 2003a).

.2.6.1.2.- Diseño Hidráulico de Cunetas

2.6.1.2.1.- Cálculo del caudal en la estructura

En el diseño de obras hidráulicas viales, un aspecto clave es determinar el caudal máximo que la estructura deberá conducir. Para ello, se utiliza frecuentemente el método racional, ampliamente reconocido en ingeniería hidráulica por su precisión y confiabilidad.

Este procedimiento permite estimar el caudal pico generado durante eventos de lluvia, considerando factores como la intensidad de precipitación, el área de captación y las características del terreno. La correcta aplicación de la ecuación del método racional garantiza que las estructuras de drenaje, como alcantarillas y cunetas, tengan la capacidad suficiente para evacuar el agua sin poner en riesgo la seguridad o la integridad de la vía (MTOP, 2003a).

$$Q = \frac{C * I * A}{360} \quad (26)$$

Donde:

Q: Caudal máximo probable (m³/s).

C: Coeficiente de escorrentía.

I: Intensidad de las lluvias (mm/h).

A: Área de la cuenca (hectáreas).

Ilustración 24

Coeficiente de escorrentía "C"

COEFICIENTE DE ESCORRENTIA C						
COBERTURA VEGETAL	TIPO SUELO	PENDIENTE DEL TERRENO				
		PRONUNCIADA	ALTA	MEDIA	SUAVE	DESPECIABLE
		50%	20%	5%	1%	
SIN VEGETACION	IMPERMEABLE	0.80	0.75	0.70	0.65	0.60
	SEMIPERMEABLE	0.70	0.65	0.60	0.55	0.50
	PERMEABLE	0.50	0.45	0.40	0.35	0.30
CULTIVOS	IMPERMEABLE	0.70	0.65	0.60	0.55	0.50
	SEMIPERMEABLE	0.60	0.55	0.50	0.45	0.40
	PERMEABLE	0.40	0.35	0.30	0.25	0.20
PASTOS VEGETACION LIGERA	IMPERMEABLE	0.65	0.60	0.55	0.50	0.45
	SEMIPERMEABLE	0.55	0.50	0.45	0.40	0.35
	PERMEABLE	0.35	0.30	0.25	0.20	0.15
HIERBA, GRAMA	IMPERMEABLE	0.60	0.55	0.50	0.45	0.40
	SEMIPERMEABLE	0.50	0.45	0.40	0.35	0.30
	PERMEABLE	0.30	0.25	0.20	0.15	0.10
BOSQUES DENSA VEGETACION	IMPERMEABLE	0.55	0.50	0.45	0.40	0.35
	SEMIPERMEABLE	0.45	0.40	0.35	0.30	0.25
	PERMEABLE	0.25	0.20	0.15	0.10	0.05

Nota. Fuente: (MTOP, 2003a).

En zonas con riesgo de incendios, se aconseja aumentar los coeficientes de escorrentía. Para terrenos agrícolas, se recomienda un incremento del 10 %, mientras que, en áreas con pastizales, vegetación ligera o bosques densos, el coeficiente debe elevarse en un 30 % (MTOP, 2003a).

2.6.1.2.2.- Longitud Permisible de Descarga

Es esencial definir la longitud máxima permitida de la cuneta para asegurar su correcto funcionamiento y prevenir problemas como: (a) el desbordamiento del agua fuera de la sección de la cuneta, y (b) la acumulación de sedimentos en zonas donde varíe la pendiente. Si la cuneta excede esta longitud, se deben instalar alcantarillas que conduzcan el flujo hacia un sistema de drenaje natural. La distancia entre estas estructuras de descarga debe respetar la longitud máxima establecida. Cuando sea necesario, se puede incluir una transición entre la cuneta y la estructura de descarga, incorporando un sumidero con desarenador para reducir la acumulación de sedimentos y facilitar la decantación del material transportado. Asimismo, si la cuneta pasa de un tramo en corte

a uno en relleno, debe extenderse hasta un cauce natural o una obra transversal, incluyendo una rampa de descarga para proteger el talud y evitar erosión (MTOP, 2003a).

Tabla 23

Velocidades de Agua que Erosionan diferentes materiales

Material	Velocidad (m/s)	Material	Velocidad (m/s)
Arena fina	0.45	Pizarra suave	2.0
Arcilla arenosa	0.50	Grava gruesa	3.50
Arcilla ordinaria	0.85	Zampendo	3.4 – 4.5
Arcilla firme	1.25	Roca sana	4.5 – 7.5
Grava fina	2.00	Hormigón	4.5 – 7.5

Nota. Fuente: (MTOP, 2003a).

Tabla 24

Valores máximos de velocidades no erosivas en cunetas

Material	Velocidad (m/seg)
Arenas finas y limos	0,40 – 0,60
Arcilla arenosa	0,50 – 0,75
Arcilla	0,75 – 1,00
Arcilla firme	1,00 – 1,50
Grava limosa	1,00 – 1,50
Grava fina	1,50 – 2,00
Pizarras suaves	1,50 – 2,00
Grava gruesa	2,00 – 3,50
Zampeados	3,00 – 4,50
Rocas sanas y hormigón	4,50 – 7,50

Nota. Fuente: (MTOP, 2003a).

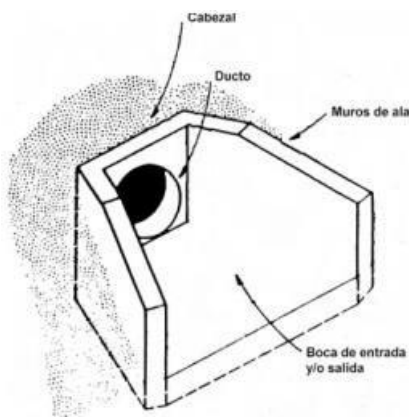
2.6.2.- Alcantarillas

El diseño de las alcantarillas debe adaptarse a las particularidades de la cuenca que se va a drenar y a las funciones específicas de la vía a la que dará servicio. Dado que los sistemas de drenaje tienen un impacto directo en los costos de mantenimiento y

conservación de la infraestructura vial, es crucial que su diseño se base en criterios que aseguren un funcionamiento eficaz, considerando las restricciones y capacidades operativas de los programas de mantenimiento vial y las técnicas utilizadas para su conservación (MTOP, 2003b).

Ilustración 25

Elementos de una Alcantarilla



Nota. Fuente: (MTOP, 2003b).

El reconocimiento de esta categoría fue fundamental para guiar el rediseño propuesto, ya que facilitó la definición de parámetros que se ajustaran al uso presente y futuro de la carretera, garantizando un equilibrio entre la seguridad vial, la funcionalidad y la viabilidad económica.

Basándose en el Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA) proyectado a 20 años, que se estima en 998 vehículos por día, y siguiendo la tabla de clasificación funcional del MTOP (2018), se clasifica esta vía como Clase III, correspondiente a un corredor arterial.

- Reducción local de la velocidad de diseño.
- Señalización vertical preventiva en zonas de visibilidad reducida.
- Control de pendientes y rasantes para suavizar los cambios bruscos.

2.6.2.1.- Recolección de datos

Para el diseño de obras hidráulicas, especialmente en los lugares donde la vía cruza cuerpos de agua, es recomendable recopilar la mayor cantidad de información

posible sobre el área de influencia. Esta información puede obtenerse mediante reconocimientos de campo o aéreos, entrevistas, revisión de registros institucionales y estudios previos.

Entre los datos más importantes a considerar se encuentran:

- Información topográfica detallada del sitio.
- Delimitación y características de las cuencas de drenaje.
- Morfología y comportamiento del cauce.
- Registros históricos o estimaciones de los niveles de agua.
- Presencia y estado de estructuras hidráulicas existentes.

2.6.2.2.- Características de diseño

El diseño del sistema de drenaje transversal secundario en una carretera se desarrolla en dos fases principales: el análisis hidrológico y el dimensionamiento hidráulico de las estructuras. La fase hidrológica permite determinar las intensidades máximas de precipitación o los picos de escorrentía asociados a distintos periodos de retorno, considerando la importancia funcional de la vía. Esta información es esencial para establecer los caudales de diseño.

A continuación, la fase hidráulica define las dimensiones adecuadas de las estructuras de drenaje, asegurando que puedan conducir el caudal estimado sin provocar desbordamientos ni daños a la carretera (MTOP, 2003b)

Entre los factores más relevantes a considerar en el diseño de alcantarillas se incluyen:

- Ubicación exacta del cruce.
- Longitud de la alcantarilla según el ancho de la vía y los taludes.
- Velocidad del flujo para prevenir erosión o sedimentación.
- Carga hidráulica máxima admisible en la entrada de la estructura.
- Selección del tipo de alcantarilla según criterios hidráulicos, geotécnicos y constructivos.

Tabla 25

Velocidades Máximas permisibles (m/s) para canales estables de alineamiento recto y tirante de 0.90m

Material	Agua limpia	Agua con líneas coloidales
Arena fina coloidal	0.46	0.76
Marga arenosa no coloidal	0.53	0.76
Marga limosa no coloidal	0.61	0.91
Limo aluvial no coloidal	0.61	0.107
Marga firme ordinaria	0.76	0.107
Ceniza volcánica	0.76	0.107
Arcilla fuerte no coloidal	0.14	0.152
Marga aluvial coloidal	0.114	0.152
Esquistos y arcilla compacta	0.183	0.183
Arena fina	0.76	0.152
Marga graduada a piedra redondeada	0.114	0.152
Limo graduado a piedra	0.122	0.168
Grava gruesa no coloidal	0.122	0.183
Piedras y lajas	0.152	0.168

Nota. Fuente: (MTOP, 2003b).

2.6.2.3.- Análisis Hidrológico

El análisis hidrológico en proyectos de drenaje se centra principalmente en dos variables clave del ciclo del agua: la precipitación y el escurrimiento. A partir de registros históricos y mediciones disponibles, se pueden establecer relaciones cuantitativas entre estos factores, lo que permite estimar los caudales de diseño. Estas estimaciones consideran tanto datos directamente medibles como aquellos que deben inferirse, así como la probabilidad de ocurrencia de eventos extremos dentro de un período específico. Por ello, los resultados del análisis hidrológico son fundamentales para definir el dimensionamiento y la funcionalidad de estructuras de drenaje, como las alcantarillas (MTOP, 2003b).

Para calcular los caudales de diseño se utilizan distintos enfoques metodológicos:

- I. Métodos empíricos: Se aplican cuando no hay información detallada sobre la precipitación local. Ofrecen una aproximación preliminar del caudal mediante fórmulas simplificadas. Ejemplos representativos son los métodos de Creager y Lowry.
- II. Métodos semi-empíricos: Incorporan la intensidad de la lluvia como variable para estimar el caudal. Basados en principios del ciclo hidrológico, su precisión depende de la consideración de los factores hidrológicos. Entre los más usados están el método racional y el de Ven Te Chow.
- III. Métodos estadísticos: Son adecuados cuando se dispone de series confiables de caudales máximos anuales. Suponen que los registros corresponden a una muestra aleatoria de una población teórica de eventos extremos, diferenciándose según la función de distribución de probabilidad utilizada para modelar esta población.
- IV. Modelos matemáticos: Son herramientas avanzadas que simulan el comportamiento hidrológico de una cuenca mediante ecuaciones y algoritmos. Aunque ofrecen gran precisión, requieren bases de datos extensas y detalladas, lo que puede ser limitante. Su uso es recomendable siempre que se garantice la calidad de los datos de entrada y un análisis riguroso de los resultados.

2.6.2.4.- Diseño Hidrológico para Alcantarilla

El diseño hidráulico de una alcantarilla se fundamenta en principios básicos de la hidráulica que permiten comprender el comportamiento del agua dentro del conducto. Esto facilita determinar las dimensiones necesarias para garantizar un flujo adecuado, evitando desbordamientos o daños en la infraestructura vial.

Las alcantarillas pueden operar como canales abiertos (cuando el flujo no llena completamente la sección) o como tubos cerrados (cuando el agua circula a presión). Por ello, es esencial definir desde el inicio la forma en que se moverá el agua para asegurar un diseño correcto (MTOP,2003b).

- Tipos de flujo: El flujo en una alcantarilla puede clasificarse según el control predominante:
 - Control de entrada: El caudal depende del tamaño y forma de la boca de la alcantarilla y del nivel del agua en ese punto.

- Control de salida: Además de los factores anteriores, se considera el nivel de agua al final de la alcantarilla, así como su longitud y pendiente.
- Parámetros principales para considerar:
 - Caudal máximo que la alcantarilla debe evacuar.
 - Pendiente del terreno.
 - Velocidad del agua, para prevenir erosión.
 - Área de drenaje, que se puede obtener mediante mapas o imágenes aéreas.
 - Intensidad de lluvia, de acuerdo con registros del INAMHI y la frecuencia en la zona.
 - Período de retorno, según la jerarquía de la vía:
 - Arteriales: mínimo 200 años.
 - Colectores: mínimo 150 años.
 - Vecinales: 100 años.

Tiempo de concentración: Cuando no se cuenta con información detallada sobre lluvias, se recomienda asumir que la duración de la precipitación coincide con el tiempo de concentración de la cuenca, ya que durante este lapso se produce el mayor aporte de agua. Para estimarlo, se pueden emplear diversas fórmulas empíricas, siendo la de Rowe una de las más usadas por su sencillez y eficacia (MTOP, 2003b).

$$tc = 0.0195 * \left(\frac{L^3}{H} \right)^{0.385} \quad (27)$$

Donde:

tc: El tiempo de concentración, en min.

L: Longitud del cauce principal, en m.

H: El desnivel entre el extremo de la cuenca y el punto de descarga, en m

2.7.- Señalización

2.7.1.- Señalización Vertical

La señalización vertical comprende el conjunto de dispositivos instalados de forma perpendicular al plano de rodadura de la vía, cuyo objetivo es regular, advertir e

informar a los usuarios sobre las condiciones del tránsito y de la vía. Estas señales forman parte del sistema de control del tránsito y deben diseñarse, instalarse y mantenerse conforme a principios de uniformidad, legibilidad y visibilidad (INEN, 2011).

2.7.1.1.- Clasificación de la señalización vertical

Las señales verticales se dividen en las siguientes categorías:

- Regulatorias (R): Señales que establecen normas obligatorias, cuyo incumplimiento constituye una infracción, como “PARE”, “CEDA EL PASO” o “NO ESTACIONAR”.
- Preventivas (P): Señales que alertan sobre posibles peligros o situaciones inesperadas en la vía, por ejemplo, curvas cerradas o pendientes pronunciadas.
- Informativas (I): Proporcionan datos útiles a los conductores, como destinos, distancias, servicios disponibles, entre otros.
- Delineadoras (D): Indican cambios bruscos de dirección o la presencia de obstáculos en la carretera.
- Trabajos viales (T): Señales que advierten sobre zonas en construcción o condiciones temporales en la vía.
- Escolares (E): Marcan áreas cercanas a escuelas donde existen restricciones especiales.
- Riesgos (SR): Alertan sobre situaciones o condiciones que representan un alto peligro para los usuarios.

2.7.1.2.- Formas de la señalización vertical

Cada clase de señal vertical posee una forma específica que refuerza su significado:

- Octágono: Utilizado únicamente para la señal de “PARE”.
- Triángulo invertido: Señal de “CEDA EL PASO”.
- Círculo: Indica cruces ferroviarios.
- Rombo: Empleado en señales preventivas.
- Rectángulo (vertical u horizontal): Usado en señales informativas y complementarias.

2.7.1.3.- Colores de la señalización

El color de una señal es un elemento clave que permite identificar rápidamente su categoría y función, siendo fundamental para mantener la coherencia visual del sistema vial (INEN, 2011).

- **Rojo:** Señala prohibiciones, detenciones o situaciones de emergencia.
- **Amarillo:** Indica precaución o advertencia.
- **Blanco:** Utilizado como fondo en señales de advertencia o regulación.
- **Negro:** Empleado en textos o símbolos.
- **Verde:** Señala destinos y rutas.
- **Azul:** Identifica servicios generales o áreas de estacionamiento.
- **Café:** Indica sitios de interés turístico o cultural.
- **Verde limón:** Reservado exclusivamente para zonas escolares.

2.7.1.4.- Distancias de legibilidad

La legibilidad de una señal por parte del conductor está determinada por el tamaño de sus caracteres y el tipo de fuente utilizada (INEN, 2011). El reglamento establece lo siguiente:

Tabla 26

Distancias de legibilidad

Serie de letras	Distancia de legibilidad (m por 10 mm de tamaño de letra)
C	5 m
D	6 m
E	7 m
E modificada	7,5 m*

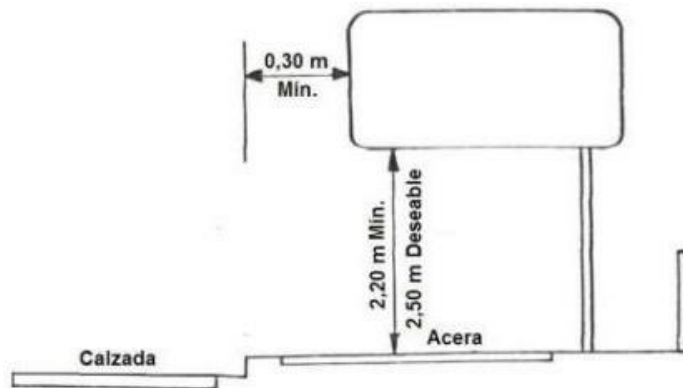
Nota. Fuente: (INEN, 2011).

2.7.1.5.- Soportes de señalización

Los soportes son componentes estructurales que sostienen las señales verticales en la posición adecuada, asegurando que puedan cumplir su función de informar. Deben ofrecer estabilidad, resistencia a impactos y a las inclemencias del clima, sin representar riesgos para los usuarios de la vía (INEN, 2011).

Ilustración 26

Soporte normal - Rural

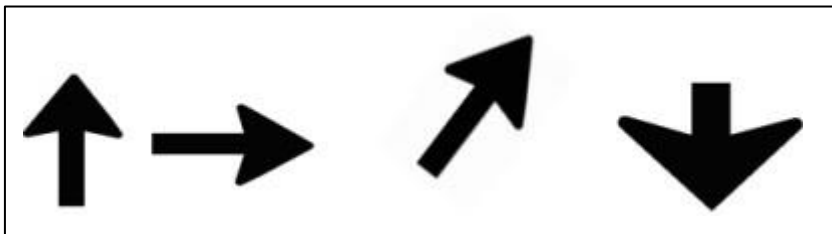


Nota. Fuente: (INEN, 2011).

2.7.1.6.- Señales comúnmente utilizadas

Ilustración 27

Diseño de Flechas



Nota. Fuente: (INEN, 2011).

Ilustración 28

Señalización Pare



R1 - 1

Código No.	Dimensiones (mm)	Dimensiones (mm) y serie de letras
R1 - 1A	600 x 600	200 Ca
R1 - 1B	750 x 750	240 Ca
R1 - 1 C	900 x 900	280 Ca

Nota. Fuente: (INEN, 2011).

Ilustración 29

Señalización de Ceda el Paso



R1-2

Código No.	Dimensiones (mm)	Dimensiones (mm) y serie de letras	
		Línea 1	Línea 2
R1 - 2A	750	120 En	100 Da
R1 - 2B	900	140 En	120 Da
R1 - 2C	1200	160 En	140 Da

Nota. Fuente: (INEN, 2011).

Ilustración 30

Señalización de Doble Vía (R2-2)



R2-2

Código No.	Dimensiones (mm)	Dimensiones (mm) y serie de letras
R2-2A	900 x 300	100 Cm
R2-2B	1350 x 450	140 Cm

Nota. Fuente: (INEN, 2011).

Ilustración 31

Señalización límite máximo de velocidad



R4-1

Código No.	Dimensiones (mm)
R4-1 A	600 x 600
R4-1 B	750 x 750
R4-1 C	900 x 900

Nota. Fuente: (INEN, 2011).

Ilustración 32

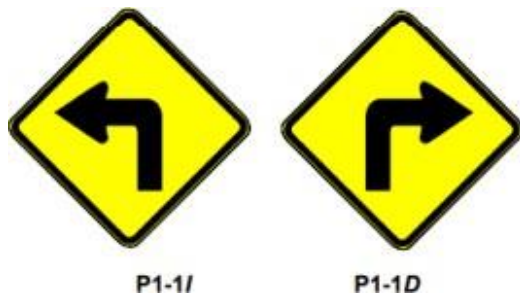
Señal de Advertencia de destino



Nota. Fuente: (INEN, 2011).

Ilustración 33

Señalización Curva Cerrada

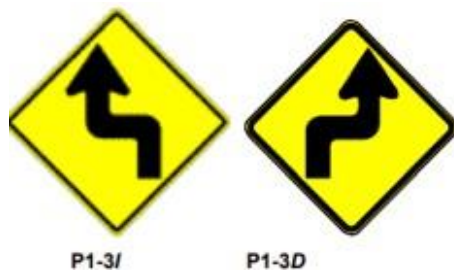


Código	Dimensiones (mm)
P1-1A (I ó D)	600 x 600
P1-1B (I ó D)	750 x 750
P1-1C (I ó D)	900 x 900

Nota. Fuente: (INEN, 2011).

Ilustración 34

Señalización Curva y Contracurva cerrada



Código	Dimensiones (mm)
P1-3A (I ó D)	600 x 600
P1-3B (I ó D)	750 x 750
P1-3C (I ó D)	900 x 900

Nota. Fuente: (INEN, 2011).

2.7.2.- Señalización Horizontal

La señalización horizontal comprende las marcas pintadas o aplicadas sobre la superficie del pavimento o los bordes de la vía. Su objetivo es orientar, advertir o regular el tránsito de vehículos y peatones a través de líneas, símbolos y textos que complementan la función de las señales verticales.

Estas señales son especialmente efectivas al estar directamente en el campo visual del conductor, permitiendo una interpretación rápida sin desviar la atención de la calzada. Sin embargo, su visibilidad puede verse afectada por lluvia, polvo, desgaste o poca iluminación, por lo que se recomienda utilizar materiales duraderos y retroreflectivos (INEN, 2011).

2.7.2.1.- Clasificación de señalización horizontal

Las marcas horizontales se organizan según su forma y función, lo que facilita la comprensión del mensaje que transmiten (INEN, 2011).

- **Líneas longitudinales:** Dividen carriles, delimitan sentidos de circulación o indican áreas de adelantamiento.
- **Líneas transversales:** Señalan pasos peatonales, líneas de detención o de “ceda el paso”.
- **Símbolos y leyendas:** Comprenden palabras o pictogramas como “BUS”, “SOLO TAXIS”, flechas de giro o triángulos de advertencia.
- **Elementos complementarios elevados:** Incluyen tachas reflectivas, reductores de velocidad o bordillos montables que alertan al conductor mediante vibración o sonido.

2.7.2.2.- Colores de la señalización

En la señalización horizontal, el color cumple un papel informativo clave, permitiendo identificar funciones, tipos de carriles y condiciones del tránsito (INEN, 2011).

- **Blanco:** Marca la circulación en un solo sentido, los bordes de la vía, leyendas y pasos peatonales.

- **Amarillo:** Indica separación de sentidos opuestos, áreas de no adelantamiento y bordes de calzada.
- **Rojo o azul:** Señalan zonas de servicios, emergencias o estacionamientos especiales, como espacios destinados a personas con discapacidad.

2.7.2.3.- Diseño y ubicación de la señalización

El diseño de la señalización horizontal debe garantizar que el conductor, circulando a la velocidad máxima permitida, pueda ver y entender la marca con suficiente tiempo para actuar correctamente. Para ello, las dimensiones de las marcas deben estar adaptadas a la velocidad de la vía y colocarse en posiciones coherentes dentro de la geometría del camino.

Se debe evitar el exceso de marcas, ya que esto puede causar confusión, y es fundamental que sean claramente visibles respecto al entorno para asegurar su efectividad (INEN, 2011).

2.7.2.4.- Líneas Longitudinales

Las líneas longitudinales, colocadas paralelas al eje de la vía, son elementos esenciales de la señalización horizontal. Su principal función es dirigir y ordenar el tránsito, delimitando carriles, señalando áreas donde no se permite adelantar, zonas de detención y proporcionando una guía continua a lo largo del recorrido. Estas marcas contribuyen a mantener un flujo vehicular ordenado, reduciendo conflictos entre vehículos y aumentando la seguridad tanto en condiciones normales como adversas (INEN, 2011).

Tabla 27

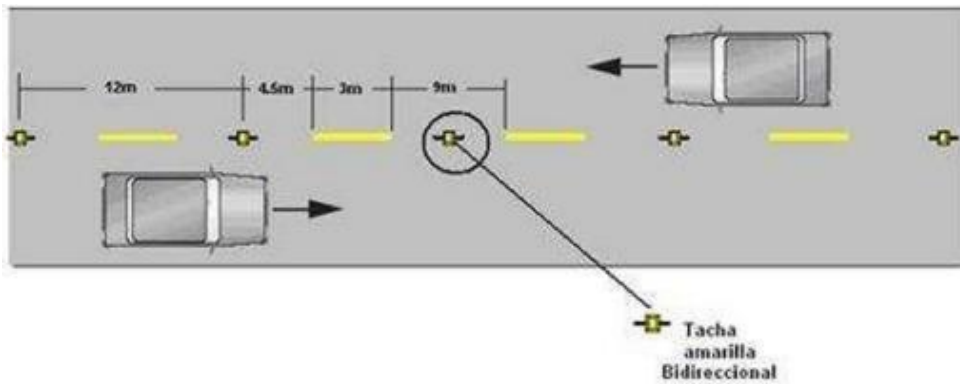
Relación Señalización - Línea de separación de circulación opuesta segmentada

Velocidad máxima de la vía (km/h)	Ancho de la línea (mm)	Patrón (m)	Relación señalización brecha
Menor o igual a 50	100	12,00	3 – 9
Mayor a 50	150	12,00	3 – 9

Nota. Fuente: (INEN, 2011).

Ilustración 35

Líneas segmentadas de separación de circulación opuesta



Nota. Fuente: (INEN, 2011).

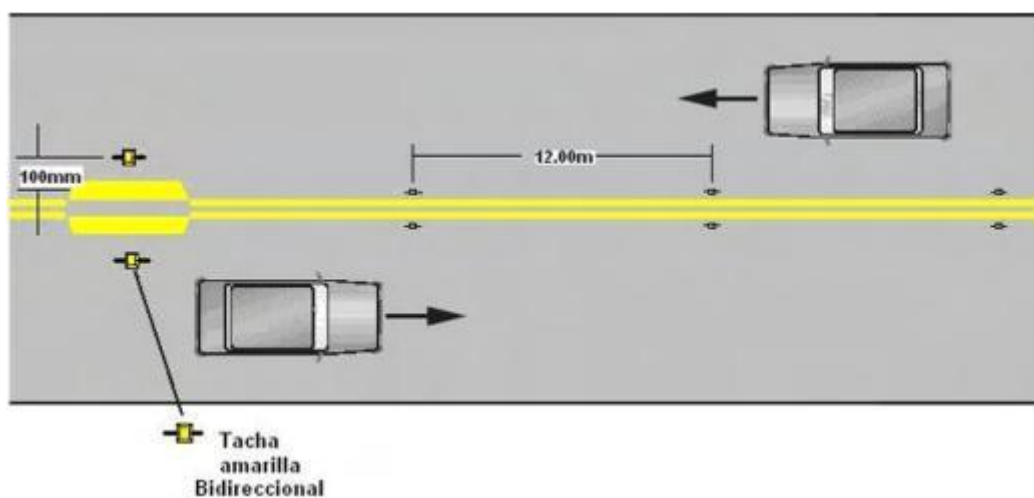
2.7.2.5.- Doble línea continua

La doble línea continua es una de las marcas longitudinales más restrictivas de la señalización horizontal. Consiste en dos líneas paralelas continuas, usualmente amarillas, ubicadas en el centro de la vía para separar los sentidos opuestos de circulación.

Su función principal es prohibir de manera total el adelantamiento y el cruce de carril en ambos sentidos, sin importar la visibilidad o las condiciones del entorno. Este tipo de señalización se utiliza en tramos de alto riesgo de colisión frontal, como curvas cerradas, pendientes pronunciadas, puentes estrechos, túneles o zonas con visibilidad limitada (INEN, 2011).

Ilustración 36

Doble línea continua, con ejemplo de tachas a 12 m



Nota. Fuente: (INEN, 2011).

2.7.2.6.- Líneas de borde de calzada

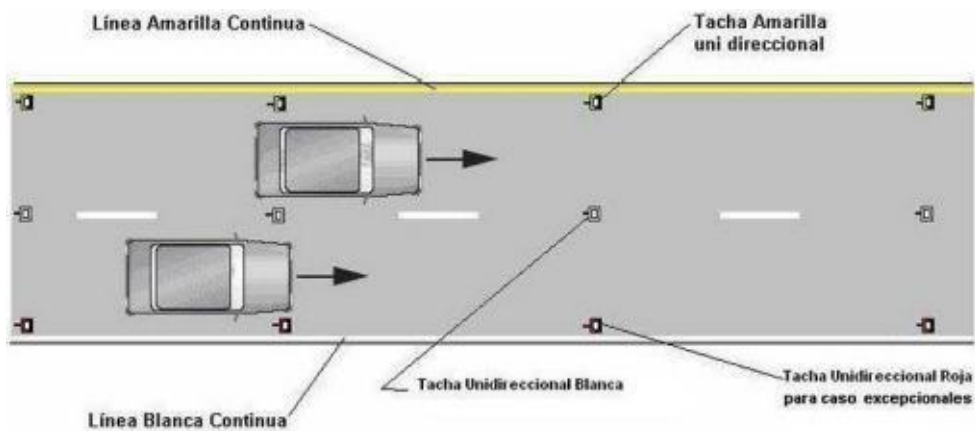
Las líneas de borde de calzada son marcas longitudinales situadas a lo largo de los extremos laterales de la vía. Su propósito es definir el límite del espacio destinado al tránsito vehicular, separándolo de bermas, aceras u otras áreas no transitables. Normalmente se pintan de color blanco y pueden ser continuas, lo que indica que no se debe invadir el borde, o discontinuas, permitiendo el acceso a zonas de detención o estacionamiento (INEN, 2011).

2.7.2.7.- Líneas de borde de calzada continuas

Es una marca longitudinal blanca ubicada en los extremos laterales de la vía. Busca delimitar el área de circulación y prohibir la invasión hacia zonas no habilitadas, como bermas, cunetas o zonas peatonales. Esta línea debe mantenerse visible en todo momento, especialmente en vías de alta velocidad o con poca iluminación, para guiar al conductor de forma segura (INEN, 2011).

Ilustración 37

Líneas continuas de borde, sin espaldón o berma



Nota. Fuente: (INEN, 2011).

CAPITULO III

3.- Metodología

3.1.- Levantamiento Topográfico

El levantamiento topográfico de la vía Tixan-Chiquintad comprendido entre las abscisas 1+900 y 3+800 km se realizó mediante una medición en campo, utilizando el equipo que nos proporcionó la Universidad Politécnica Salesiana denominado GNSS-RKT de marca CHC, modelo i50.

Equipo Utilizado para el levantamiento

Ilustración 38

Instrumentos para el levantamiento topográfico (RKT))



Nota. Fuente: UNIVERSIDAD POLITECNICA SALESIANA.

Al realizar el levantamiento topográfico se tomó en cuenta varios puntos característicos tanto en la vía como en el terreno y sus alrededores, los cuales serán relevantes para el diseño de esta. En la toma de datos se optó por registrar los puntos más adecuados para poder desarrollar con mayor facilidad la geometría de la vía y las condiciones topográficas del entorno.

Ilustración 39

Levantamiento Topográfico con RKT



Nota. Fuente: Elaboración Propia.

3.2.- Estudio de trafico

El estudio de tráfico se realizó con el fin de determinar el volumen de vehículos que circulan por la vía de estudio, una proyección adecuada y su composición. Este estudio es de vital importancia ya que permite establecer la clasificación funcional de la vía y el diseño estructural del pavimento, conforme a los lineamientos de las normas NEVI-12 y MTOP.

3.2.1.- Conteo Vehicular

Para ejecutar el conteo vehicular se utilizó una videocámara que registro videos continuos durante siete días seguidos, desde el miércoles 22 de octubre del 2025 hasta el

martes 29 de octubre del 2025. La videocámara se instaló en un punto estratégico determinado por su visibilidad y representatividad del flujo vehicular en la vía.

Esta cámara registro videos las 24 horas del día, con estos datos visuales se efectuó un conteo vehicular manual del tránsito que circuló en ambos sentidos de la vía, obteniendo así la cantidad de vehículos circulantes por día y hora.

Lugar de instalación de cámara:

Ilustración 40

Cámara para el conteo Vehicular



Nota. Fuente: Elaboración Propia.

3.2.2.- Clasificación Vehicular

La clasificación vehicular se dividió en cinco categorías operativas regidas por la Normativa, las cuales fueron:

1. Vehículos livianos (Autos).
2. Buses.
3. Camiones de dos ejes.
4. Camiones de tres ejes.
5. Motocicletas

Estas categorías permitirán el análisis del impacto vehicular en la vía, sobre todo en el diseño estructural del pavimento, donde las categorías de vehículos pesados influirán de una manera significativa.

Formato de clasificación vehicular

Ilustración 41

Formato para la clasificación vehicular

ESTUDIO VIAL DEL TRAMO 1+900 a 3+800 KM , EN UNA LONGITUD DE 1.8 KM, EN LA PARROQUIA CHIQUINTAD , CANTÓN CUENCA, PROVINCIA DEL AZUAY									
AFORO VEHICULARES									
Ubicación:	Parroquia Chiquintad, Canton Cuenca			Fecha:	VIERNES 24/10/2025				
Via a:	TIXAN-CHIQUINTAD			Sentido:	ESTE-OESTE				
Aforador:				Hoja:					
Coordinador:				Hora de inicio:	0H00	Hasta:	23H59		
INTERVALOS						Motos	TOTAL	TOTAL SIN MOTOS	Volumen Horario
		AUTOS	BUS	C-2D	C-3A				
00HO-01HO	0-15	1	0	0	0	0	1	1	2
	15-30	0	0	0	0	0	0	0	
	30-45	0	0	0	0	0	0	0	
	45-60	1	0	0	0	1	2	1	
01HO-02HO	0-15	0	0	0	0	0	0	0	0
	15-30	0	0	0	0	0	0	0	
	30-45	0	0	0	0	0	0	0	
	45-60	0	0	0	0	0	0	0	
02HO-03HO	0-15	0	0	0	0	0	0	0	2
	15-30	1	0	0	0	0	1	1	
	30-45	0	0	0	0	0	0	0	
	45-60	1	0	0	0	0	1	1	

Nota. Fuente: Elaboración Propia.

3.2.3.- Factores de corrección

Para la obtención de un valor relevante del Transito Promedio Diario Anual (TPDA) se optó por utilizar la formula (I), la cual nos expresa el producto del TPDA por cada factor de corrección (anual, diario, horario y semanal) correspondiente. Al realizar este estudio, los valores de corrección se reemplazaron por valores que se determinaron por el conteo vehicular y los patrones de tránsito regional, esto permitió determinar un valor del TPDA más ajustado. Cada factor de corrección se definió de acuerdo con varios procedimientos, los cuales son:

- **Factor Horario (FH):** Este factor representa la corrección de posibles fluctuaciones que ocurren en una hora específica, normalmente en la hora pico. Por lo que el estudio se realizó en un conteo de 24 horas este factor se consideró como nulo, ya que no representa fluctuaciones ni incertidumbres.
- **Factor diario (FD):** El factor diario ajusta los conteos que contengan días laborales, feriados o fines de semana. Como en el estudio se realizó un conteo los 7 días de la semana no fue necesario aplicar una corrección adicional.
- **Factor semanal (FS):** El objetivo del factor semanal es ajustar el número de semanas representativas dentro de un mes específico. El conteo se realizó en el mes de octubre el cual tiene 31 días, por lo tanto, al dividir estos días entre un valor estándar semanal de 4 obtuvimos el valor de 4.43 semanas como factor de corrección semanal.

- Factor mensual (FM): El factor mensual tiene como objetivo compensar las variaciones estacionales del tránsito vehicular a lo largo de un año. Para obtener un valor estimado se utilizó el registro que nos proporciona Petroecuador sobre el consumo mensual de combustible en la provincia del Azuay. Se comparó el consumo del mes del conteo (octubre-2025) con el valor promedio de consumo mensual anual.

Consumo mensual de combustibles en la provincia del Azuay en 2023(Galones)

Tabla 28*Consumo mensual de combustibles en la provincia del Azuay en 2023 (Galones)*

AZUAY 2023	Diesel Premium (gal)	Extra con Etanol (gal)	Súper (gal)	Total (gal)
ENERO	6 200 504	7 476 168	342 104	14 018 776
FEBRERO	5 833 440	6 985 917	414 918	13 234 275
MARZO	6 503 609	7 523 682	345 194	14 372 485
ABRIL	5 963 292	7 090 143	313 108	13 366 543
MAYO	6 541 071	7 659 316	348 540	14 548 927
JUNIO	5 981 975	7 401 574	354 555	13 738 104
JULIO	6 453 307	7 447 427	382 048	14 282 782
AGOSTO	6 620 729	7 379 950	508 760	14 509 439
SEPTIEMBRE	6 815 474	7 536 252	346 152	14 697 878
OCTUBRE	6 989 068	7 569 567	334 685	14 893 320
NOVIEMBRE	6 737 594	7 498 414	328 758	14 564 766
DICIEMBRE	7 234 877	7 937 027	387 116	15 559 020
TOTAL	77 874 940	89 505 437	4 405 938	171 786 315

Nota. Fuente: PETROECUADOR. DESPACHOS MENSUALES.

3.3.- Diseño Estructural

3.3.1.- Ensayos de laboratorio

3.3.1.1.- Extracción de muestras

La extracción de muestras se realizó con el fin de obtener las propiedades geotécnicas del suelo que se encuentra sobre el tramo de estudio, las cuales nos proporcionara información y datos detallados para el diseño estructural del pavimento, estas extracciones se llevaron a cabo mediante 2 calicatas.

Estas calicatas fueron excavadas en zonas distribuidas a lo largo de la vía, determinadas por criterios de longitud del tramo, ancho de vía, cambios visibles y representatividad del suelo. Se excavo la primera calicata en la abscisa 2+500 km y la segunda en la abscisa 3+250 km, cada una con una profundidad de 1.5m, lo cual nos concedió una mejor visualización del perfil del suelo y una extracción de muestras más factible en las capas superficiales y subsuperficiales.

Las muestras extraídas fueron transportadas al laboratorio de la Universidad Politécnica Salesiana para la realización de cada ensayo correspondiente.

Ilustración 42

Extracción Calicata 1



Nota. Fuente: Elaboración Propia.

Ilustración 43

Extracción Calicata 2



Nota. Fuente: Elaboración Propia.

3.3.1.2.- Granulometría

En el ensayo que determina la granulometría del suelo se utilizó una muestra significativa del suelo de cada calicata. Estas muestras se pesaron primero en su estado natural y posteriormente secadas en un horno para eliminar la humedad. Después, se procedió con un lavado del material para la eliminación del material fino, una vez realizado el lavado se secaron las muestras en el horno y fueron pesadas nuevamente para determinar el porcentaje de material que pasara por el tamiz N°200.

Al completar el procedimiento de lavado y secado correctamente, se realizó el tamizado del material utilizando la serie de tamices: 3/4", 3/8", N°4, N°8, N°16, N°50, N°100, N°200 y fondo. El material retenido y pesado, representara los porcentajes de retención correspondiente para cada tamiz, con estos datos obtenidos se realiza la curva de distribución granulométrica del suelo para cada una de las calicatas.

Ilustración 44

Serie de Tamices utilizados



Nota. Fuente: Elaboración Propia.

3.3.1.3.- Límites

3.3.1.3.1.- Limite Liquido

Para la obtención del límite líquido se realizó el ensayo de Casa Grande, para el cual se prepararon cuatro muestras del suelo cada una con diferente contenido de humedad. Las muestras se colocaron en la copa del instrumento y se procedió a realizar el corte estándar con la espátula. Después, se aplicaron los golpes necesarios hasta que las mitades de la muestra se unieran a una longitud aproximada de 12mm.

Se registraron los números de golpes que fueron requeridos para cada muestra con su respectivo contenido de humedad. Mediante estos datos se construyó la curva de flujo, la cual determinó el contenido de humedad correspondiente a 25 golpes, este valor se tomó como el límite líquido del suelo.

Ilustración 45

Ensayo de Limite liquido



Nota. Fuente: Elaboración Propia.

3.3.1.3.2.- Limite Plástico

Para el ensayo de obtención de límite plástico se preparó pequeñas porciones de muestra cada una con un nivel de humedad distinta. Cada una de las muestras se trabajó de manera manual hasta que se produzca la formación de cilindros cada uno de 3mm de diámetro aproximadamente.

Este procedimiento se repitió con la diferencia que se ajustara la humedad hasta que los cilindros se puedan formar sin que se presenten grietas superficiales en la etapa de moldeo. Se registró como límite plástico del suelo a la humedad correspondiente que se ajuste a esta condición.

Ilustración 46

Ensayo de límite plástico realizado en laboratorio



Nota. Fuente: Elaboración Propia.

3.3.1.4.- Ensayo de Proctor Modificado

Este ensayo proporcionará la humedad óptima y la densidad máxima seca del suelo de cada una de las muestras extraídas de las dos calicatas.

Cada muestra fue previamente secada y tamizada utilizando únicamente el material que paso por el tamiz de 3/4" (19mm). En la calicata 1 se realizó tres puntos de compactación mientras que en la calicata 2 se realizaron cuatro puntos, se varió el contenido de humedad de cada una de las muestras.

Para cada punto del ensayo se usó un procedimiento similar: el material se compactó en cinco capas dentro del molde Proctor, se aplicó 56 golpes por cada una de las capas utilizando un pistón estándar. Previo al llenado del molde, se registró los datos del peso del molde vacío y el peso del molde con el material compactado para realizar el cálculo de la masa del suelo introducido.

De cada una de las muestras compactadas se procedió a extraer una porción representativa del centro para que así se determine el contenido de humedad, lo cual permite asociar cada uno de los valores de humedad con la respectiva densidad seca que le corresponde. Este procedimiento se realizó con el fin de obtener los datos que

construirán las curvas de compactación de ambas calicatas, la humedad óptima y la densidad máxima seca correspondiente a cada una de las muestras.

Ensayo Proctor Modificado realizado en el laboratorio

Ilustración 47

Ensayo de Proctor Modificado



Nota. Fuente: Elaboración Propia.

3.3.1.5.- Ensayo CBR

En el ensayo CBR se utilizó material seco que correspondía a cada una de las calicatas, cada una ya tamizada por el tamiz 3/4" (19mm). Con este material se procedió a añadir la humedad óptima que se obtuvo anteriormente en el ensayo de Proctor Modificado.

Esta muestra preparada se colocó en el molde CBR con cinco capas, se utilizó tres niveles de energía de compactación:

- El primer molde: con 56 golpes
- El segundo molde: con 25 golpes
- El tercer molde con: 12 golpes

Se aplicó este mismo sistema para las dos calicatas correspondientes. Antes del llenado, se colocó un separador en la base del molde con un filtro de papel, el cual evitara adherencias del material al equipo de ensayo. El material ya compactado y enrasada la

superficie, se procedió a colocar otro filtro de papel la parte superior del molde y se invirtió. Se aseguró el molde de forma correcta y se procedió a registrar los datos del peso del molde vacío y del molde con el material compactado.

Previo al proceso de inmersión se colocaron unas pesas de carga sobre el pistón, así se obtuvo la primera lectura de datos del día de expansión. Posteriormente, se sumergió los moldes en agua durante un lapso de cuatro días, cada día se realizó una lectura de datos diaria para así obtener un registro de hinchamiento del material en saturación.

Cuando finalizó el periodo de inmersión, se realizó el ensayo de penetración mediante la maquina CBR, en la cual se aplicó una carga vertical con el pistón metálico estándar sobre la muestra saturada. Los datos registrados al final permitieron determinar el valor de soporte relativo para cada uno de los niveles de compactación y para cada calicata.

Ilustración 48

Ensayo de CBR realizado en laboratorio



Nota. Fuente: Elaboración Propia.

3.3.2.- Diseño de pavimento flexible

3.3.2.1.- Coeficientes estructurales

Para la selección de cada uno de los coeficientes estructurales (a_1 , a_2 , a_3) se realizó en función al material que será empleado en cada capa de pavimento. Para esto, se consultó en diferentes ábacos respectivamente del método AASHTO 93 mencionados anteriormente en las imágenes 26, 27 y 28. El coeficiente estructural a_1 (capa superficial) se determinó a través del módulo de elasticidad estimado. El coeficiente estructural a_2 y

a3 (base granular y subbase) se determinaron de acuerdo con el CBR ya obtenido. Para la elección de los valores se ajustó a condiciones reales del proyecto y al comportamiento esperado de cada una de las capas bajo una carga que se ejercerá.

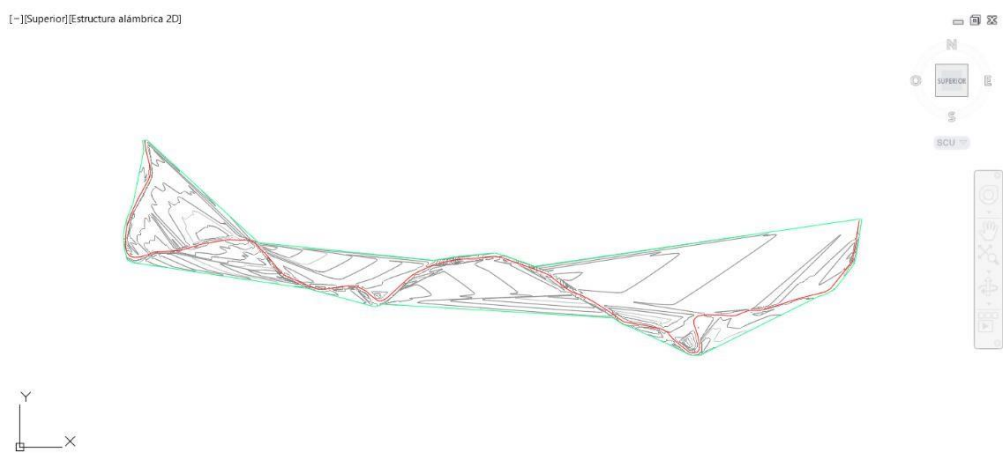
3.4.- Diseño Geométrico

3.4.1.- Curvas de nivel

Los puntos topográficos obtenidos del equipo GNSS-RKT fueron procesados mediante la herramienta puntos para su uso en el software AutoCAD-CivilCAD, gracias a esta información se obtuvo la superficie de terreno mediante la elaboración de curvas de nivel lo cual permitió visualizar con claridad las elevaciones georreferenciadas de la zona, depresiones y pendientes del tramo estudiado.

Ilustración 49

Curvas de nivel en el tramo de estudio



Nota. Fuente: Elaboración Propia.

3.4.2.- Alineamiento horizontal

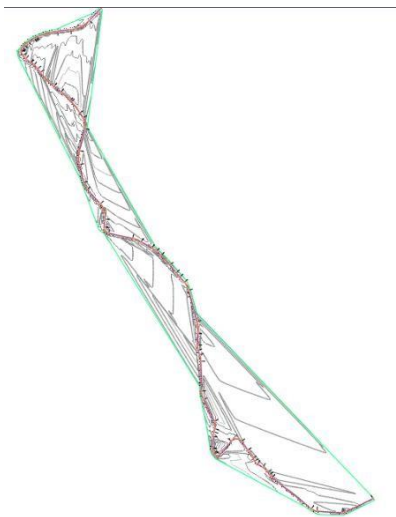
A partir del modelo de superficie obtenido mediante la base de las curvas de nivel, se desarrolló el trazado preliminar del proyecto vial, tomando como referencia el eje existente de la carretera.

Este procedimiento permitió definir de manera inicial el alineamiento horizontal, considerando las condiciones geométricas del terreno y la traza actual de la vía. El diseño geométrico fue ejecutado mediante la herramienta alineación en el entorno de modelado y diseño vial del software AutoCAD Civil 3D que nos permite crear un alineamiento

dependiendo la curva de nivel, ya sea para creación de curvas mínimas normada el Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTO), rectas y velocidades de diseño, herramienta que facilitó la integración de datos topográficos, la evaluación de radios de curvatura, longitudes de tangente y la verificación del cumplimiento de los criterios establecidos en la normativa técnica vigente. Asimismo, el uso de esta plataforma permitió realizar ajustes iterativos al trazado con el fin de optimizar la geometría del alineamiento, minimizar movimientos de tierra y asegurar la coherencia del diseño con las condiciones topográficas y funcionales del proyecto.

Ilustración 50

Trazado del alineamiento horizontal sobre curvas de nivel



Nota. Fuente: Elaboración Propia.

3.4.3.- Alineamiento Vertical

Una vez establecido el alineamiento horizontal del proyecto, se procedió al desarrollo del alineamiento vertical mediante el modelamiento del perfil longitudinal del terreno a lo largo del eje de la vía. Dicho perfil se generó a partir de la superficie del terreno natural, construida con base en las curvas de nivel previamente elaboradas, integrando la información obtenida del levantamiento topográfico realizado en campo con datos complementarios provenientes del Modelo Digital del Terreno (MDT).

El perfil longitudinal permitió identificar las variaciones altimétricas del terreno, así como las pendientes existentes, constituyendo una herramienta fundamental para la definición de las rasantes de diseño. A partir de este análisis, se establecieron las

pendientes longitudinales y las curvas verticales (cóncavas y convexas), considerando los criterios de confort, seguridad vial y drenaje, así como el cumplimiento de los parámetros establecidos en la normativa técnica vigente. El proceso de diseño se desarrolló en el entorno del software AutoCAD Civil 3D, el cual facilitó la visualización, edición y verificación del alineamiento vertical, permitiendo realizar ajustes iterativos orientados a optimizar el balance de cortes y rellenos y garantizar la funcionalidad del trazado propuesto.

Durante el desarrollo del alineamiento vertical, se prestó especial atención a la eliminación de variaciones abruptas de pendiente, asegurando que las transiciones entre tramos consecutivos se efectuaran de manera gradual y continua. Todas las condiciones de diseño fueron verificadas conforme a los lineamientos establecidos en las Normas de Diseño Geométrico del MTOP, garantizando el cumplimiento de los parámetros técnicos exigidos.

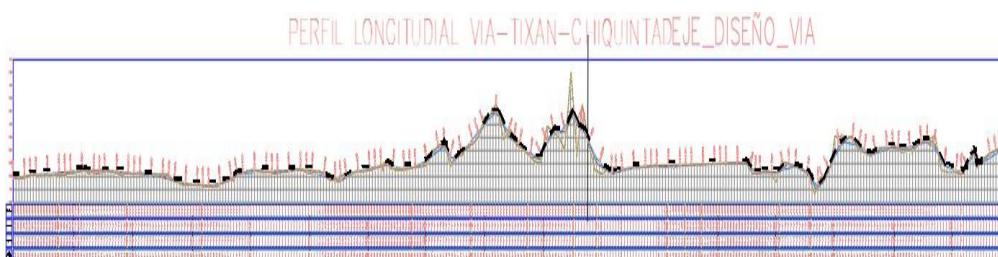
En este sentido, se respetaron las pendientes longitudinales máximas y mínimas permitidas para la clase funcional de la vía, así como los valores mínimos de los radios y longitudes de las curvas verticales, tanto convexas como cóncavas. Estos criterios permitieron asegurar niveles adecuados de seguridad vial, confort para el usuario y eficiencia operativa, además de favorecer un adecuado drenaje superficial y una correcta integración del trazado con las condiciones topográficas del entorno.

El resultado fue un alineamiento vertical que cumple con los criterios de diseño.

Perfil longitudinal del terreno y rasante del alineamiento vertical

Ilustración 51

Perfil longitudinal del terreno y rasante del alineamiento vertical



Nota. Fuente: Elaboración Propia.

3.4.4.- Sub-ensamblaje

Una vez establecidos el alineamiento horizontal y el alineamiento vertical del proyecto vial, se procedió al diseño del subensamblaje, el cual define la sección transversal típica de la carretera. Este elemento constituye la representación geométrica de los componentes que conforman la estructura vial, tales como calzada, bermas, taludes de corte y relleno, y demás elementos asociados al drenaje y estabilidad del terreno.

El subensamblaje fue desarrollado en el entorno de AutoCAD Civil 3D, permitiendo parametrizar las dimensiones y pendientes de cada componente conforme a los criterios de diseño establecidos en la normativa vigente y a las características funcionales de la vía. Su definición resultó fundamental para la generación de los corredores viales, el cálculo de volúmenes de movimiento de tierras y la evaluación del comportamiento geométrico del proyecto a lo largo del eje diseñado.

El subensamblaje fue configurado considerando las características geométricas y estructurales de la vía, incorporando de manera explícita las distintas capas que conforman la estructura del pavimento, de acuerdo con los resultados obtenidos del diseño estructural. Para tal efecto, se definieron y asignaron espesores específicos a cada una de las capas constitutivas —subrasante, subbase, base y carpeta asfáltica en concordancia con las recomendaciones técnicas derivadas del análisis de tránsito y capacidad portante del suelo, así como con los lineamientos establecidos en la normativa local vigente.

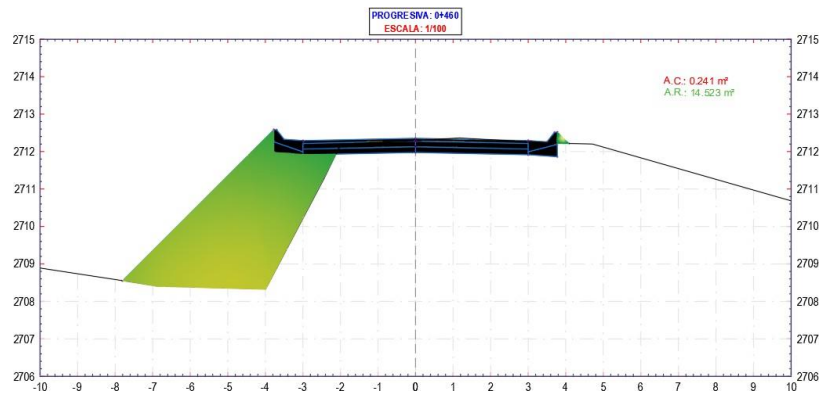
Esta configuración permitió representar de forma precisa la sección estructural del pavimento dentro del modelo, facilitando la correcta generación del corredor vial, el análisis de volúmenes de materiales y la evaluación integral del comportamiento estructural de la vía a lo largo del trazado proyectado.

Asimismo, se incorporaron los parámetros de peralte de acuerdo con la clase funcional de la vía, definiendo transiciones progresivas en los tramos curvos con el objetivo de garantizar la estabilidad, seguridad y confort de los vehículos en circulación.

El subensamblaje definido constituyó la base para la aplicación de la sección transversal típica a lo largo del eje del proyecto mediante la generación de ensamblajes y corredores.

Ilustración 52

Subensamblaje de la vía



Nota. Fuente: Elaboración Propia.

3.4.5.- Obra lineal

Una vez definidos el alineamiento horizontal, el perfil longitudinal y la sección transversal típica de la vía, se procedió a la generación de la obra lineal mediante la creación del corredor en el entorno del software AutoCAD Civil 3D. Este proceso permitió modelar tridimensionalmente el desarrollo del proyecto vial a lo largo del eje diseñado, integrando de manera coherente los distintos componentes geométricos y estructurales.

El corredor se conformó a partir de la vinculación del subensamblaje previamente configurado con los alineamientos horizontal y vertical del proyecto. De esta manera, fue posible representar de forma continua la geometría de la vía en todo su trazado, lo que facilitó la revisión integral del diseño en planta, perfil longitudinal y secciones transversales, así como la identificación de posibles inconsistencias y la optimización del diseño previo a su etapa constructiva.

Ilustración 53

Obra lineal



Nota. Fuente: Elaboración Propia.

3.4.6.- Secciones Transversales

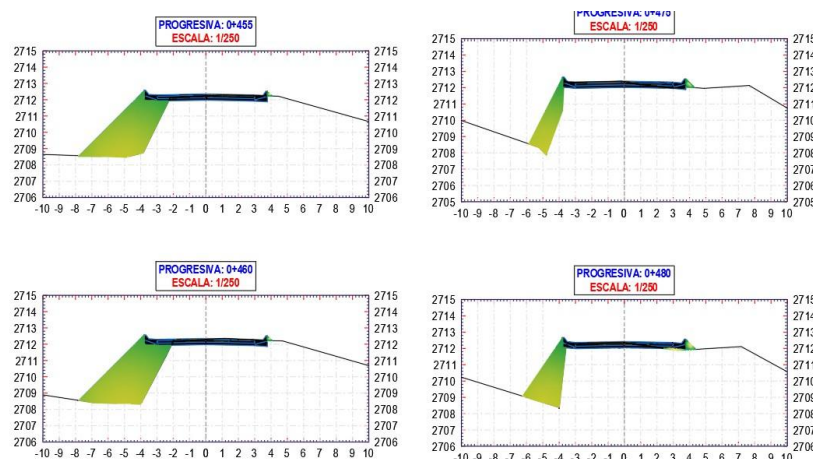
La plataforma Autodesk Civil 3D se utilizó para crear las secciones transversales del proyecto. Se generaron líneas de muestreo perpendiculares al alineamiento horizontal del proyecto basándose en el corredor vial modelado con anterioridad. Estas líneas se generaron a intervalos constantes utilizando el método de generación "por PK", lo que permitió adquirir una representación sistemática de la geometría transversal a lo largo del eje vial.

En los tramos donde el ancho de muestreo predeterminado resultó insuficiente para cubrir en su totalidad las zonas de corte o relleno, se efectuaron ajustes manuales en las franjas izquierda y derecha. Dichas modificaciones se realizaron a partir de la inspección visual del modelo y del análisis detallado de los sectores identificados como críticos, con el propósito de garantizar una representación completa y precisa del terreno intervenido.

Posteriormente, se procedió al cálculo de los volúmenes de movimiento de tierras, considerando como referencia las superficies del terreno natural y del corredor proyectado. Para este proceso, se empleó el estilo de tabla correspondiente a “Área de corte y relleno”, a partir del cual se obtuvieron los volúmenes parciales y totales de corte y relleno. Finalmente, se generó el conjunto de vistas en sección transversal, las cuales fueron presentadas a una escala 1:100.

Ilustración 54

Secciones Transversales de la vía



Nota. Fuente: Elaboración Propia.

3.4.7.- Drenaje Vial

3.4.7.1.- Cunetas

La estación meteorológica Cuenca-Aeropuerto de la INAMHI determino la precipitación con la cual se calculó la intensidad máxima de lluvia en un intervalo de tiempo lo que permitió obtener el caudal de escorrentía superficial para el diseño de las cuentas.

Mediante este caudal se dimensionó cada una de las cunetas definiendo así su sección transversal y una correcta evacuación del agua pluvial a lo largo del tramo de la vía.

CAPITULO IV

4.- Resultados

4.1.- Trafico Promedio Diario Anual (TPDA)

En el estudio del Trafico Promedio Diario Anual (TPDA) se contempló un volumen promedio diario de 503 vehículos circulantes, además se aplicó los siguientes factores de corrección:

- Factor Horario (FH): 1,00
- Factor Diario (FD): 1,00
- Factor Semanal (FS): 1,108
- Factor Mensual (FM): 1,002

Como resultado se obtuvo un TPDA de 553 vehículos/día para el año 2025. Mediante este valor se realizó una proyección para los siguientes años del tráfico tomando en cuenta unas tasas de crecimiento para los diferentes tipos de vehículos, obteniendo así unos porcentajes de 4,51-3,99-3,47 para vehículos livianos, 1,72-1,51,1,30 para buses y 3,67-3,33-2,99 para vehículos pesados respectivamente. Los resultados fueron:

Ilustración 55

Resultados obtenidos del TPDA

TPDA (2025)		2030	2035
TIPO	#VEHICULOS	#VEHICULOS	#VEHICULOS
LIVIANOS	523	636	736
BUS	1	1	1
CAMIONES (C-2D y C-3A)	29	41	47
TOTAL	553	678	784

Nota. Fuente: Elaboración Propia.

4.2.- Ensayos de laboratorio

4.2.1.- Granulometría

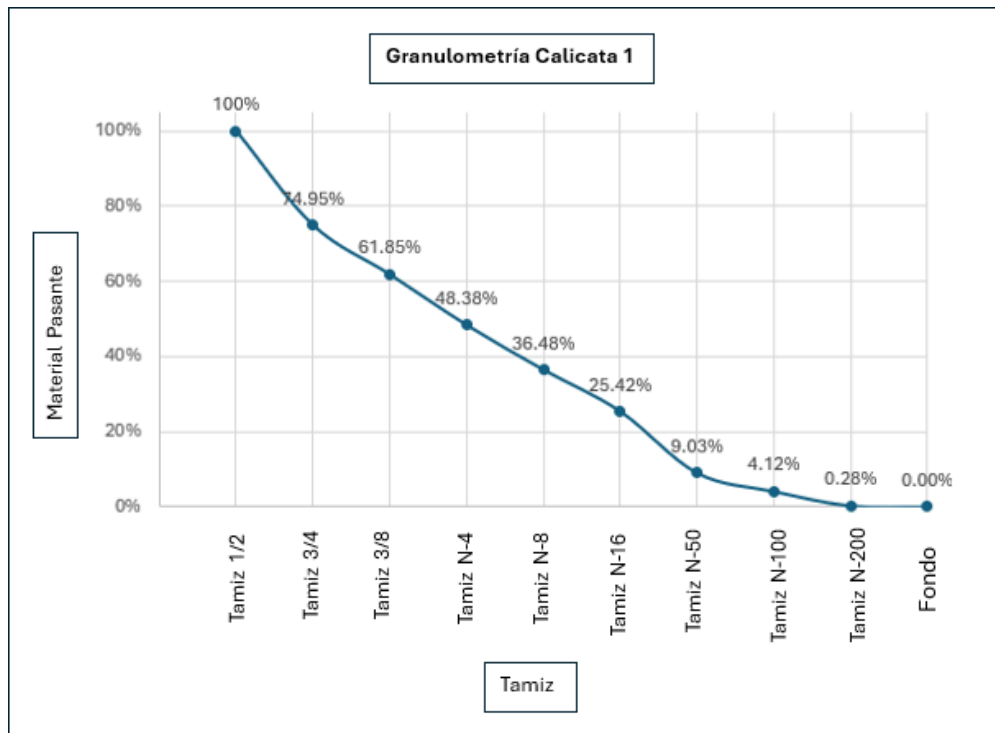
Calicata 1: La muestra se analizó con 2160 gramos sin una pérdida representativa del material durante el proceso. Se produjo una retención de material para cada tamiz con los siguientes datos:

- Tamiz 3/4": 25,05% - Tamiz con mayor retención
- Tamiz 3/8": 13,10%
- Tamiz N°4: 13,47%
- Tamiz N°8: 11,90%
- Tamiz N°16: 11,06%
- Tamiz N°50: 16,39%
- Tamiz N°100: 4,91%
- Tamiz N°200: 3,84%

La siguiente grafica muestra una caída progresiva del material graduado lo que significa una correcta granulometría del material.

Ilustración 56

Curva Granulométrica - Calicata 1



Nota. Fuente: Elaboración Propia.

También se obtuvo el porcentaje de finos, arena y grava, los cuales nos indican el tipo de material que predomina en el suelo analizado

- Finos: 0,28%
- Arena: 48,10%
- Grava: 51,52% - Material que más se encuentra en la muestra

Calicata 2: Para este ensayo se tomó una muestra de 1606 gramos sin una pérdida representativa del material durante el proceso. Aquí se produjo una retención de material con los siguientes datos:

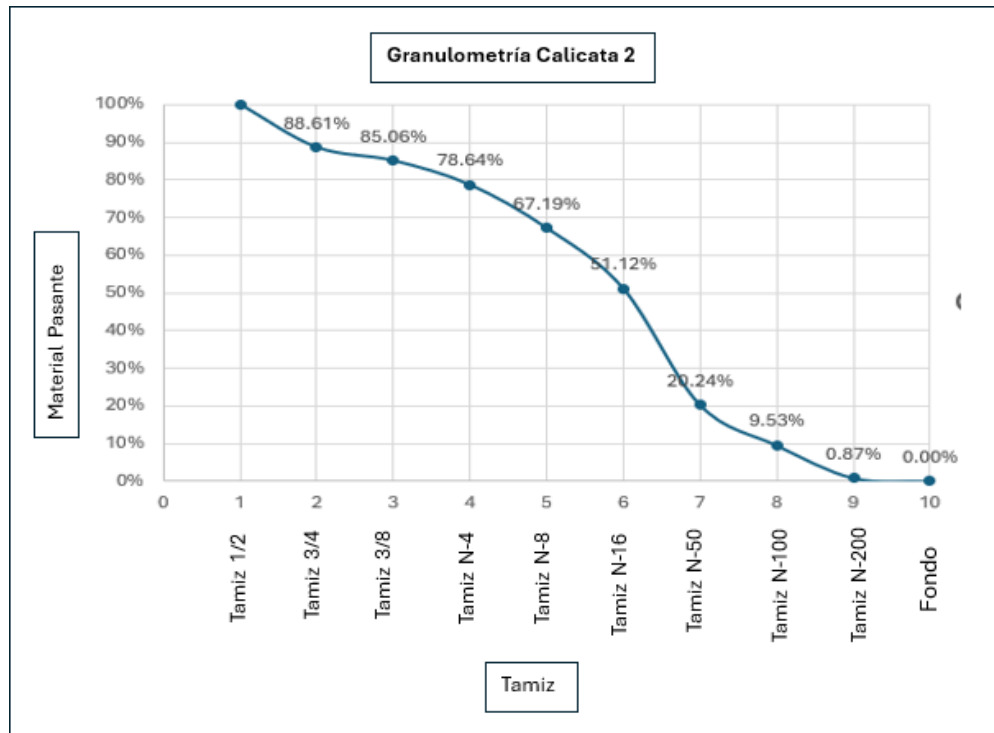
- Tamiz 3/4": 11,39%
- Tamiz 3/8": 3,55%
- Tamiz N°4: 6,41%
- Tamiz N°8: 11,46%
- Tamiz N°16: 16,06%
- Tamiz N°50: 30,88% - Tamiz con mayor retención

- Tamiz N°100: 10,71%
- Tamiz N°200: 8,66%

La siguiente grafica muestra una caída progresiva del material graduado lo que significa una correcta granulometría del material.

Ilustración 57

Curva Granulométrica - Calicata 2



Nota. Fuente: Elaboración Propia.

Al igual que en la calicata 1 se obtuvo el porcentaje de finos, arena y grava, los cuales nos indican el tipo de material que predomina en el suelo analizado

- Finos: 0,87%
- Arena: 77,77% - Material que más se encuentra en la muestra
- Grava: 21,36%

4.2.2.- Limites

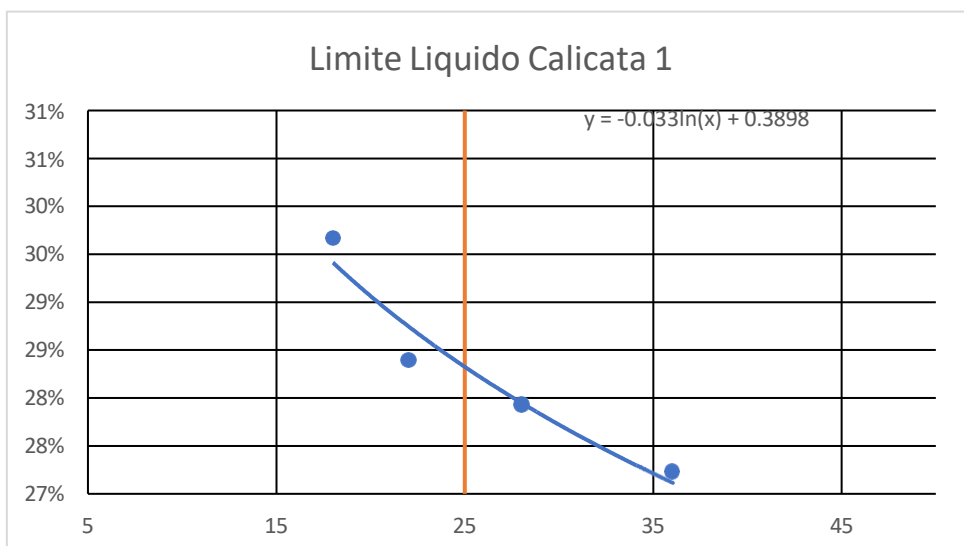
Calicata 1

Limite liquido

Este ensayo de limite liquido dio como resultado un valor de 28,23%, el cual se determinó a partir de cuatro muestras, cada una con diferente número de golpes y diferente contenido de humedad, al final se obtuvo la siguiente grafica con su respectiva fórmula para el cálculo del porcentaje de limite líquido.

Ilustración 58

Grafica del límite liquido - Calicata 1



Nota. Fuente: Elaboración Propia.

Limite plástico

Se obtuvo un valor de limite plástico de 23,21%, el cual junto con el límite liquido produjo un cálculo del índice de plasticidad que dio como resultado el valor de 8,11%.

Ilustración 59

Limite plástico - Calicata 1

Limite plastico (%)	Indice plastico (%)	Limite Liquido (%)
23,21	5,02	28,23

Nota. Fuente: Elaboración Propia.

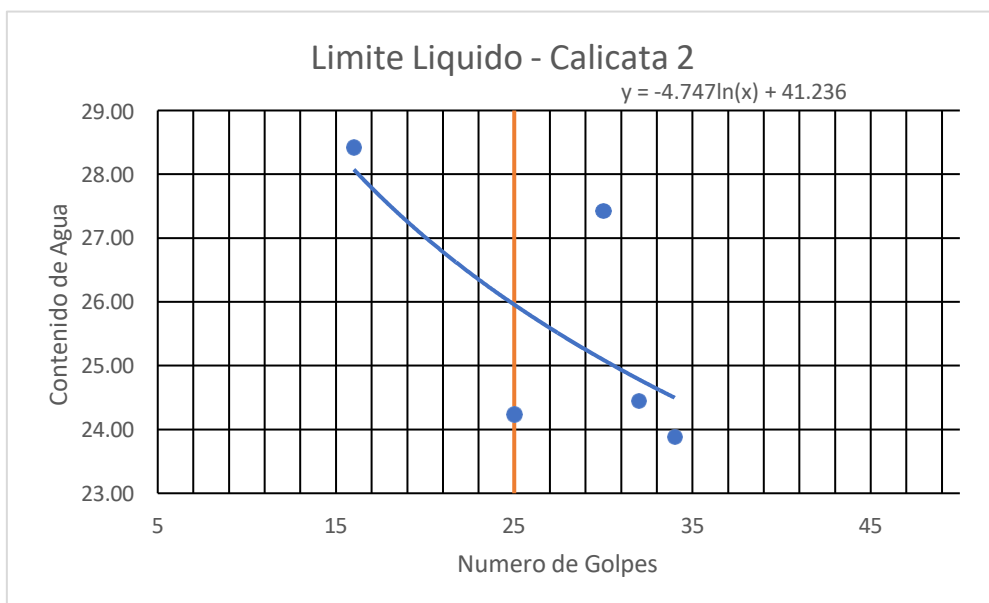
Calicata 2

Limite liquido

Este ensayo de limite liquido dio como resultado un valor de 25,52%, el cual se determinó a partir de cinco muestras, cada una con diferente número de golpes y diferente contenido de humedad, al final se obtuvo la siguiente grafica con su respectiva fórmula para el cálculo del porcentaje de limite líquido.

Ilustración 60

Grafica del límite liquido - Calicata 2



Nota. Fuente: Elaboración Propia.

Limite Plástico

Se obtuvo un valor de limite plástico de 23,21%, el cual junto con el límite líquido produjo un cálculo del índice de plasticidad que dio como resultado el valor de 8,11%.

Ilustración 61

Limite plástico - Calicata 2

Limite plastico (%)	Indice plastico (%)	Limite Liquido (%)
21,31	4,21	25,52

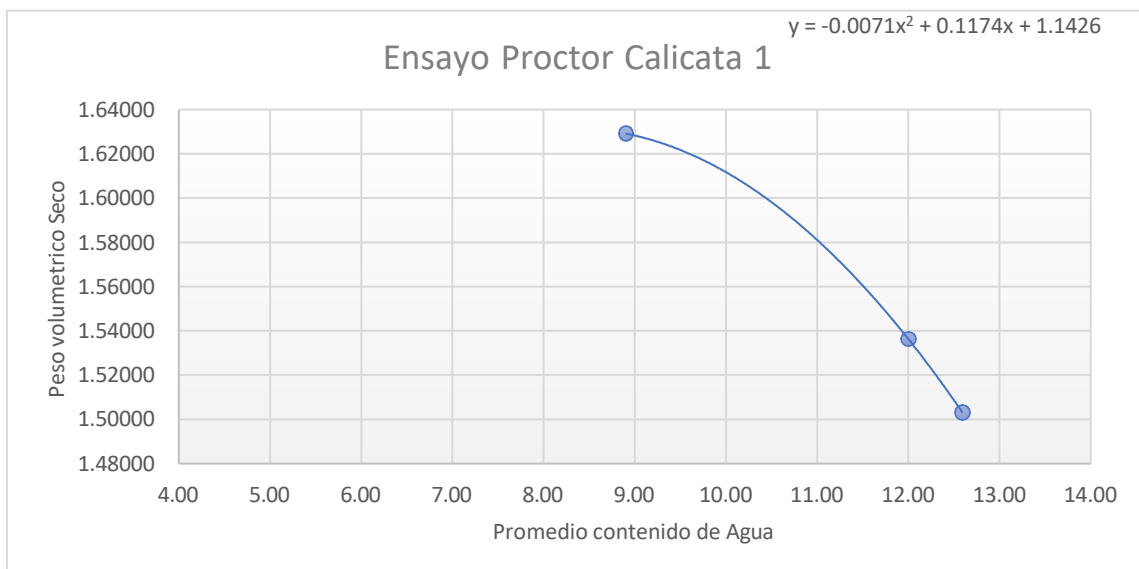
Nota. Fuente: Elaboración Propia.

4.2.3.- Ensayo de Proctor Modificado Calicata 1

A partir de la curva que se generó de los puntos determinados en el ensayo Proctor se obtuvo la fórmula de la línea de tendencia para un cálculo más exacto de la humedad óptima y la densidad seca máxima, como resultado se registró una humedad optima de 8.27% y una densidad seca máxima de 1.628 kg/cm³.

Ilustración 62

Grafica de Ensayo Proctor - Calicata 1



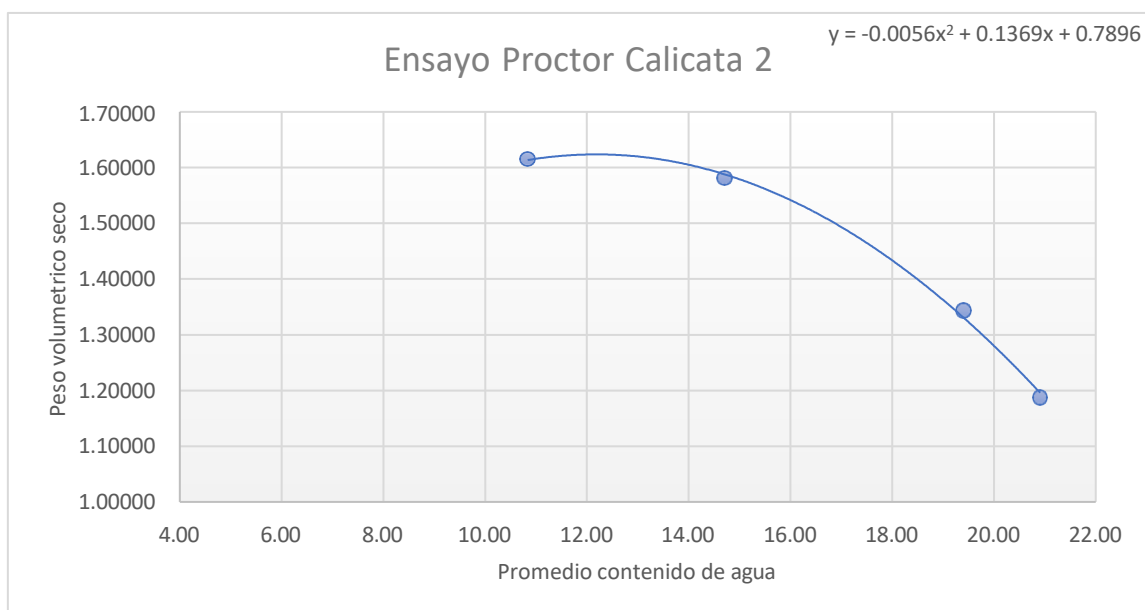
Nota. Fuente: Elaboración Propia.

Calicata 2

Al igual que en la calicata 1 a partir de la curva que se generó de los puntos determinados en el ensayo Proctor se obtuvo la fórmula de la línea de tendencia para un cálculo más exacto de la humedad óptima y la densidad seca máxima, como resultado se registró una humedad óptima de 12.22% y una densidad seca máxima de 1.626 kg/cm³.

Ilustración 63

Grafica de Ensayo de Proctor - Calicata 2



Nota. Fuente: Elaboración Propia.

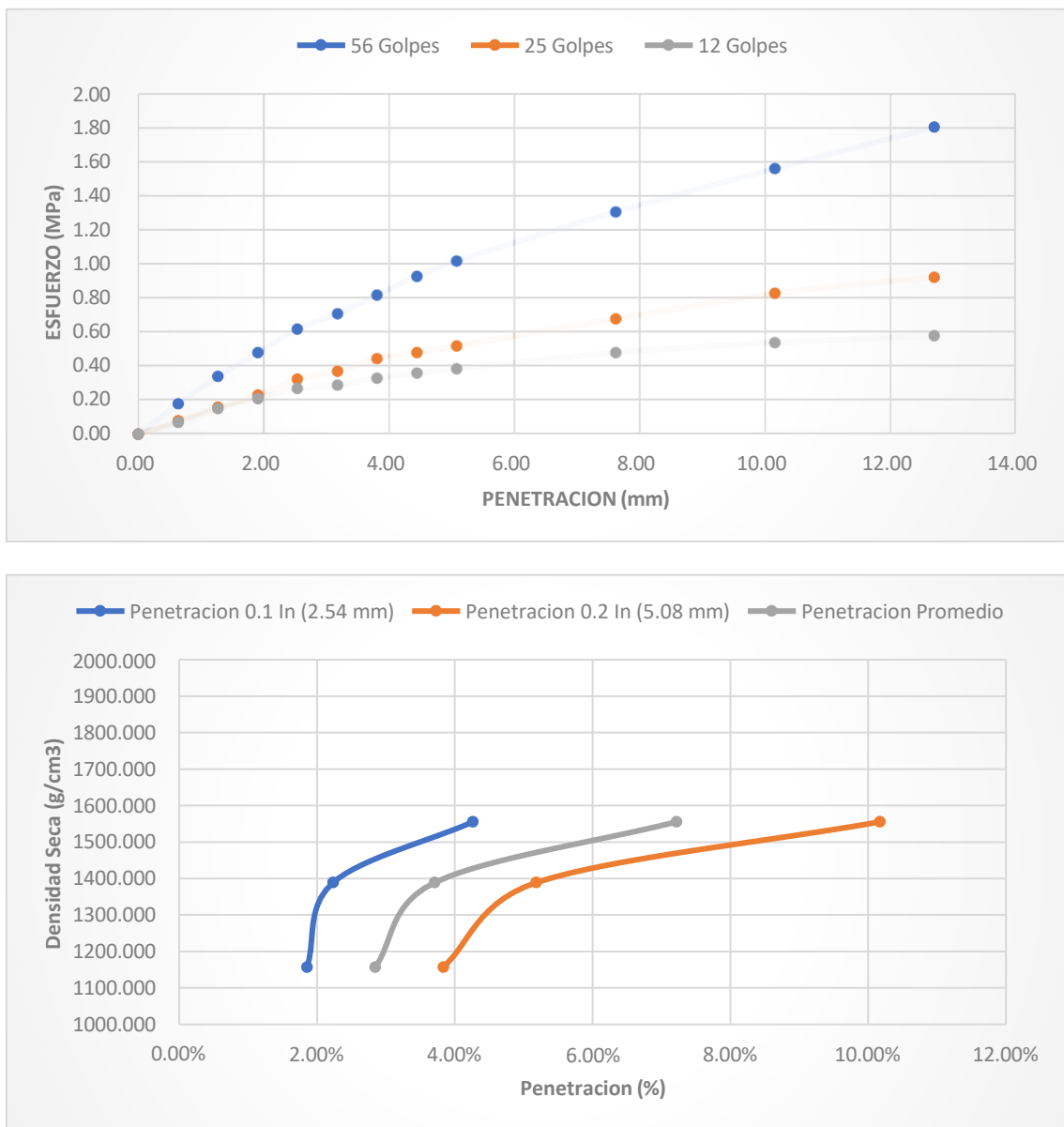
4.2.4.- Ensayo CBR

Al realizar tres ensayos en laboratorio, se estimó los valores de CBR cada uno a partir de su densidad seca máxima de diseño de cada calicata.

El valor de CBR proyectado fue de 6,35% a partir de una densidad seca máxima de 1,525 kg/cm³, así se obtuvo la gráfica de CBR y grafica de CBR al 100% y 95%.

Ilustración 64

Graficas de Ensayo CBR



Nota. Fuente: Elaboración Propia.

4.2.5.- Diseño de Pavimento

4.2.5.1- Calculo de Ejes Equivalentes de Carga (ESALs)

Se obtuvo un valor de Ejes equivalentes de carga de 264194 para los 2 carriles a una proyección de 10 años.

Ilustración 65

Resultados ESALs

TIPO	FRECUENCIA	FACTOR CAMION	TASA DE CRECIMIENTO	FACTOR DE CRECIMIENTO	N. ESALs p/diseño	N. ESALs corregido p/diseño
Autos	736	0,001	0,0279	11,511	1,216	1,37
2D	8	0,097	0,0158	10,826	1,534	1,729
3D	1	3,554	0,0158	10,826	7,022	7,912
V2S	47	3,554	0,0158	10,826	224,705	253,183
					234,477	264,194

Nota. Fuente: Elaboración Propia.

4.2.5.2.- Espesor de diseño

Para el diseño del espesor del pavimento se inició con el cálculo estructural, el cual determinó un valor de SN=2,421 el cual corresponde al soporte indispensable para el tránsito vehicular proyectado. No obstante, los espesores que se obtuvo son inferiores a los mínimos que la normativa permite.

Ilustración 66

Pavimento Flexible

DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO							
CAPA	CALCULADOS EN BASE A LA ECUACION	mi	ai	D pulg.(requerido)	D*pulg.(corregido)	SN*Corregido	Verificacion
Carpeta de rodadura	SN1	1,563376294	0	0,45	3,46	4	1,8 CUMPLE
Base	SN2	2,044557178	1,225	0,134	1,44	1,58	0,259357 CUMPLE
Subbase	SN3	2,420300115	1,225	0,107	2,69	2,76	0,361767 CUMPLE
Subrasante					SN total	2,421124	CUMPLE

DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO							
CAPA	CALCULADOS EN BASE A LA ECUACION	mi	ai	D pulg.(requerido)	D*pulg.(corregido)	SN*Corregido	Verificacion
Carpeta de rodadura	SN1	1.58	0	0.45	3.46	4	1.8 CUMPLE
Base	SN2	0	1.225	0.134	1.44	5.9	0.968485 CUMPLE
Subbase	SN3	0	1.225	0.107	2.69	5.9	0.7733425 CUMPLE
Subrasante					SN total	3.5418275	CUMPLE

Nota. Fuente: Elaboración Propia.

Como la normativa no permite estos valores se ajustó el espesor de cada capa de pavimento, adaptándolos a su valor mínimo permitido. Para el diseño final se considera un pavimento flexible con los datos de la siguiente tabla.

Ilustración 67

Diseño final de la estructura de pavimento

DISEÑO DE PAVIMENTO		
CAPA	Espesor	Unidad
Superficie	3	pulg
Base	15	cm
Subbase	15	cm

Comprobación		
SN Total	2.421124	CUMPLE
SN General	3.5418275	

Nota. Fuente: Elaboración Propia.

4.3.- Diseño Geométrico

4.3.1.- Velocidad de diseño

La velocidad de diseño se analizó tomando en cuenta la normativa MTOP, así considerando: un TPDA de 558 vehículos/día, un terreno montañoso, una clasificación de carretera tipo III Vía Colectora, se asumió una velocidad de diseño de 40 km/h.

4.3.2.- Velocidad de Circulación

Con una velocidad de diseño de 40 km/h y un volumen de tráfico vehicular bajo, de acuerdo con la tabla 3, se asumió una velocidad de circulación de 37 km/h.

4.3.3.- Diseño Horizontal

4.3.3.1.- Peralte

Como la velocidad de diseño es inferior a 50 km/h según la normativa se adopta un valor de peralte del 8%, así que se asumió este valor.

4.3.3.2.- Radio mínimo

Para un radio mínimo la normativa establece que de acuerdo con las características de la vía Tixan-Chiquintad se adopte un radio mínimo absoluto de 42 metros para cada diseño de curvas horizontales.

4.3.3.3.- Distancia de visibilidad de parada y rebasamiento

En la distancia de visibilidad de parada la normativa nos establece un valor mínimo de 55 metros el cual se adoptó junto con un valor mínimo de distancia de rebasamiento de 270 metros para las características de la vía Tixan-Chiquintad.

4.3.3.4.- Elementos de la curva

De acuerdo con el alineamiento horizontal ya realizado se adquirió cada elemento de las curvas correspondientes, las cuales se representan a continuación:

Ilustración 68

Elementos de la curva horizontal

TABLA DEL ALINEADO HORIZONTAL CURVAS																
N°	S	P.C.	P.C. ESTE	P.C. OESTE	R.	L.C.	C.	F.	Δ	E.	S.T.	P.I. ESTE	P.I. NORTE	P.T.	P.T. ESTE	P.T.
C - 1	CURVA	0+062.071	722437.543	9688003.352	52	33.587	33.007	2.688	37° 00' 28.77"	2.635	17.403	722422.528	9688025.275	0+095.658	722405.356	9688028.105
C - 2	CURVA	0+105.521	722395.625	9688003.708	106	13.351	13.325	0.439	10° 24' 41.38"	0.441	9.702	722396.052	9688031.825	0+124.872	722376.351	9688031.107
C - 3	CURVA	0+133.103	722368.122	9688030.955	39	27.071	26.540	2.307	39° 26' 57.35"	2.451	14.097	722354.027	9688030.696	0+160.174	722342.979	9688033.451
C - 4	CURVA	0+165.984	722338.425	9688043.059	89	28.501	28.474	0.537	8° 38' 34.34"	0.533	14.278	722327.235	9688051.927	0+194.485	722317.505	9688062.375
C - 5	CURVA	0+196.915	722315.850	9688064.852	18	2.936	2.932	0.062	9° 28' 41.68"	0.062	1.501	722314.627	9688065.251	0+193.908	722313.638	9688066.166
C - 6	CURVA	0+215.075	722254.527	9688111.963	35	12.020	11.962	0.508	19° 25' 25.12"	0.516	6.068	722243.319	9688115.485	0+287.032	722246.095	9688120.175
C - 7	CURVA	0+236.240	722239.914	9688109.176	10	4.895	4.844	0.306	28° 50' 23.00"	0.316	2.501	722238.953	9688132.274	0+303.155	722236.348	9688133.455
C - 8	CURVA	0+314.338	722226.473	9688138.144	51	28.441	28.079	1.958	31° 45' 33.85"	2.036	14.596	722219.607	9688145.636	0+342.779	722206.239	9688159.269
C - 9	CURVA	0+355.912	722184.658	9688195.600	18	35.427	29.936	8.024	112° 34' 55.50"	14.458	27.025	722171.150	9688216.930	0+421.339	722154.752	9688197.508
C - 10	CURVA	0+454.632	722154.516	9688170.936	14	35.448	26.507	9.973	148° 40' 51.32"	36.340	48.722	722104.952	9688152.267	0+430.133	722110.071	9688160.120
C - 11	CURVA	0+533.936	722114.679	9688224.334	45	5.850	5.846	0.095	7° 25' 11.16"	0.095	2.929	722114.987	9688227.247	0+533.946	722115.668	9688230.095
C - 12	CURVA	0+542.782	722116.354	9688232.961	23	15.741	15.435	1.335	39° 14' 58.73"	1.417	8.194	722118.260	9688240.930	0+559.534	722114.634	9688248.307
C - 13	CURVA	0+615.634	722089.731	9688299.351	48	21.021	21.634	1.232	25° 59' 07.89"	1.264	11.101	722084.900	9688309.946	0+637.715	722084.937	9688321.047
C - 14	CURVA	0+685.048	722085.092	9688368.379	85	17.537	17.506	0.453	11° 50' 41.57"	0.455	8.800	722085.121	9688377.179	0+702.585	722083.343	9688385.198
C - 15	CURVA	0+742.355	722075.301	9688424.777	64	16.944	16.834	0.563	15° 14' 43.32"	0.568	8.522	722073.579	9688433.124	0+759.329	722074.113	9688441.630
C - 16	CURVA	0+788.356	722075.368	9688471.198	47	17.046	16.955	0.763	20° 34' 36.43"	0.776	8.616	722076.508	9688479.797	0+806.002	722073.391	9688488.037
C - 17	CURVA	0+867.638	722055.384	9688546.384	110	5.727	5.726	0.037	2° 50' 51.93"	0.037	2.864	722055.147	9688543.723	0+873.365	722054.454	9688552.502
C - 18	CURVA	0+930.241	722050.370	9688568.877	25	11.435	11.336	0.652	26° 14' 36.42"	0.669	5.820	722048.962	9688574.524	0+901.677	722045.202	9688576.966
C - 19	CURVA	0+923.341	722031.205	9688595.501	110	10.944	10.940	0.136	5° 42' 02.08"	0.136	5.477	722027.667	9688593.681	0+934.285	722023.730	9688603.489
C - 20	CURVA	0+955.171	722008.719	9688618.012	76	3.820	3.813	0.159	7° 24' 47.39"	0.159	4.917	722005.186	9688621.431	0+964.931	722002.123	9688625.277
C - 21	CURVA	0+973.777	721936.643	9688632.149	32	4.730	4.726	0.088	8° 32' 04.25"	0.088	2.369	721935.173	9688634.003	0+978.507	721933.438	9688635.616
C - 22	CURVA	1+008.163	721911.723	9688699.897	62	15.012	14.975	0.455	13° 54' 44.45"	0.459	7.543	721906.201	9688660.951	1+023.176	721905.605	9688664.814
C - 23	CURVA	1+050.350	721935.543	9688671.736	59	16.676	16.598	0.737	18° 07' 44.97"	0.746	9.417	721927.609	9688682.964	1+063.028	721916.362	9688684.143
C - 24	CURVA	1+022.185	721946.160	9688634.196	19	22.433	28.596	6.541	38° 20' 18.38"	10.005	21.868	721944.606	9688638.318	1+054.617	721951.088	9688718.966
C - 25	CURVA	1+010.055	721954.018	9688725.073	27	15.653	15.432	1.147	33° 49' 22.85"	1.159	8.065	721956.674	9688732.688	1+076.744	721954.642	9688740.493
C - 26	CURVA	1+053.377	721951.459	9688752.718	33	16.899	16.719	1.065	28° 03' 11.66"	1.101	8.635	721943.283	9688761.075	1+096.276	721943.323	9688767.323
C - 27	CURVA	1+048.533	721914.152	9688737.905	45	25.355	25.027	1.756	31° 56' 53.83"	1.826	13.096	721905.168	9688807.324	1+073.934	721902.529	9688820.070
C - 28	CURVA	1+024.836	721792.199	9688863.954	37	17.652	17.487	1.042	27° 07' 41.03"	1.072	8.995	721790.375	9688878.762	1+042.488	721792.776	9688887.431
C - 29	CURVA	1+082.174	721803.367	9688925.678	75	11.295	11.285	0.211	6° 34' 26.69"	0.212	5.658	721804.877	9688931.131	1+093.463	721805.557	9688936.748
C - 30	CURVA	1+006.841	721807.165	9688939.022	35	25.586	25.039	2.293	41° 31' 21.08"	2.453	13.389	721808.775	9688960.634	1+032.436	721801.168	9688974.333
C - 31	CURVA	1+041.052	721790.593	9688989.653	170	43.604	43.484	1.336	14° 41' 52.08"	1.408	21.922	721778.139	9689007.616	1+034.656	721778.151	9689021.985
C - 32	CURVA	1+054.325	721716.267	9689060.883	38	22.399	22.351	0.637	13° 02' 25.82"	0.641	11.248	721707.737	9689068.216	1+076.724	721701.082	9689071.284
C - 33	CURVA	1+030.009	721693.223	9689087.394	63	20.622	20.529	0.849	18° 54' 16.77"	0.860	10.406	721687.066	9689096.382	1+010.631	721678.523	9689102.324
C - 34	CURVA	1+625.279	721666.438	9689110.688	24	50.071	41.546	11.871	118° 58' 59.55"	23.383	40.919	721632.906	9689134.053	1+675.350	721669.622	9689152.117
C - 35	CURVA	1+710.617	721701.267	9689167.686	48	12.634	12.785	0.428	15° 18' 38.25"	0.432	6.435	721707.059	9689170.536	1+723.451	721710.338	9689171.755
C - 36	CURVA	1+764.391	721753.601	9689179.486	116	10.695	10.692	0.123	5° 11' 03.78"	0.123	5.351	721758.856	9689180.497	1+715.086	721754.182	9689181.019
C - 37	CURVA	1+798.878	721787.881	9689183.341	30	21.009	20.590	1.805	33° 48' 21.07"	1.919	10.948	721798.756	9689184.410	1+819.887	721808.447	9689192.202

Nota. Fuente: Elaboración Propia.

4.3.4.- Diseño Vertical

4.3.4.1.- Curvas verticales convexas

Las curvas verticales convexas se diseñaron con un valor de k establecido en la tabla 13 para la cual se tomó el valor redondeado para una velocidad de diseño de 40 km/h, la cual resultó ser 4. Así utilizando la fórmula 16 se obtuvo la longitud mínima.

Ilustración 69

Curvas Verticales Convexas

CURVAS VERTICALES CONVEXAS		
$L_{min} = 0.6 * 40$		
Lmin =	24	m

Nota. Fuente: Elaboración Propia.

4.3.4.2.- Curvas verticales cóncavas

En las curvas verticales cóncavas se adoptó el valor mínimo de K, que es 6 el cual lo proporcionó la tabla 15 para la velocidad de diseño.

4.3.4.3.- Movimiento de tierras

A partir de las características del perfil longitudinal se obtuvo el movimiento de tierras correspondiente a la vía Tixan-Chiquintad, los cuales se presentan en la siguiente tabla:

Ilustración 70

Movimiento de Tierra

TABLA DE MOVIMIENTO DE TIERRAS				
PROGRESIVA	A.C. (m ²)	A.R. (m ²)	V.C. (m ³)	V.R. (m ³)
X	151.42	578.34	118.742	19.456
X	547.98	648.92	61.98	46.23
X	162.87	681.47	224.615	27.118
X	312.64	469.85	39.87	36.105
X	92.315	0.028	19.456	52.93
X	394.23	24.31	46.23	329.814
X	471.58	539.58	27.118	46.23
X	182.91	404.76	182.904	27.118
X	561.74	629.41	69.552	182.904
X	136.52	672.88	114.89	69.552
X	512.88	445.23	148.376	329.814
X	249.37	0.019	36.105	17.842
X	275.46	21.74	52.93	216.395
X	198.15	771.96	329.814	139.227
X	108.94	589.12	17.842	213.668
X	316.72	641.55	216.395	312.64
X	889.56	660.43	139.227	92.315
X	578.49	458.91	213.668	275.46
X	0	0.025	2.417	17.128
TOTALES	6143.775	8238.532	2062.131	2451.946

Nota. Fuente: Elaboración Propia.

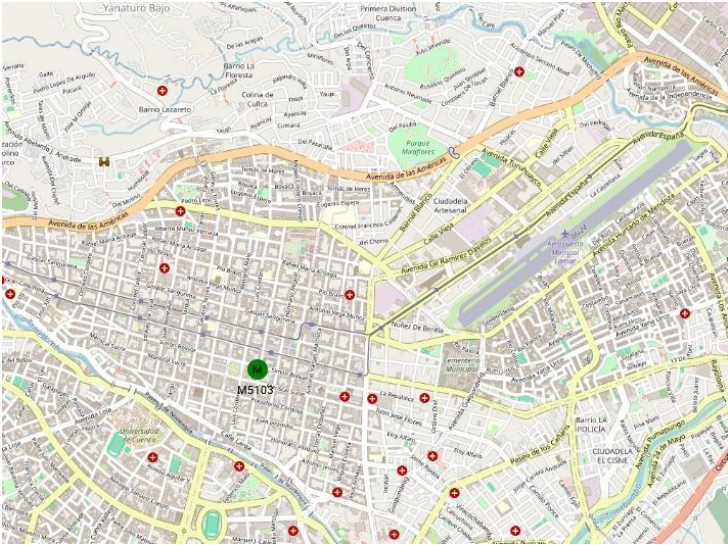
4.4.- Obras de drenaje vial

4.4.1.- Estación Meteorológica

Tomando en cuenta la zona de estudio, la estación meteorológica más cercana y representativa es la M0067 CUENCA-AEROPUERTO.

Ilustración 71

Estacion Meteorológica Cuenca-Aeropuerto



Nota. Fuente: (INAMHI, 2019).

4.4.2.- Diseño de obra de drenaje

4.4.2.1.- Intensidad Máxima de Precipitación

Para el cálculo de la intensidad máxima de precipitación se utilizó los datos y ecuaciones que proporciona el Instituto de Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI).

Ilustración 72

Cálculo del ITR con la estación meteorológica CUENCA-AEROPUERTO

ESTACIÓN		INTERVALOS DE TIEMPO (minutos)	ECUACIONES	R	R ²
CÓDIGO	NOMBRE				
M0067	CUENCA AEROPUERTO	5 < 60	$i = 201.93 * T^{0.1845} * t^{-0.4926}$	0.9885	0.9771
		60 < 1440	$i = 1052.78 * T^{0.3767} * t^{-0.8921}$	0.9979	0.9958

Nota. Fuente: (INAMHI, 2019).

Los valores de T y t son 100 años y 30 minutos respectivamente, aplicándolos se obtuvo un valor de Intensidad máxima de precipitación de 88,424.

Tabla 29

Cálculo de ITR

$I_{TR} = 201.93 * T^{0.1845} * t^{-0.4926}$
ITR: 88,424

Nota. Fuente: Elaboración Propia.

4.4.2.2.- Coeficiente de escorrentía

El coeficiente de escorrentía se seleccionó de acuerdo con la imagen 17 de la cual el valor que fue adoptado es 0,40 para el diseño de cunetas.

Ilustración 73

Coeficiente de escorrentía escogido

PASTOS VEGETACIÓN LIGERA	IMPERMEABLE	0.65	0.60	0.55	0.50	0.45
	SEMIPERMEABLE	0.55	0.50	0.45	0.40	0.35
	PERMEABLE	0.35	0.30	0.25	0.20	0.15

Nota. Fuente: (MTOP, 2003b).

Área total

Para el cálculo del área total en m2 luego transformado a ha se utilizó la siguiente formula:

$$A_{TOTAL} = \text{Longitud del tramo} * \text{ancho de la calzada} \quad (28)$$

Tabla 30

Cálculo del Área Total

$A_{total} = \text{Longitud del tramo} * \text{ancho de calzada}$		
Atotal =	5700	m2
Atotal =	0,57	Ha

Nota. Fuente: Elaboración Propia.

Donde la longitud del tramo es 1907,54 metros y el ancho de la calzada es de 3 metros

Caudal de diseño

En el cálculo de caudal se utilizó la fórmula 20 y se obtuvo un resultado de 0,001482 m³/s.

Tabla 31

Cálculo de Caudal para el método racional

$Q_{DISEÑO} = \frac{C * I * A}{360}$		
Qdiseño =	0,001482	m ³ /s

Nota. Fuente: Elaboración Propia.

En donde le valor de I=2,34 mm/h, Co=0,4 y A=0,57 ha

Para obtener el caudal por el método racional se realizó la siguiente tabla:

Tabla 32

Calculo de caudal por el método racional

Carriz izquierdo		Carril derecho		Caudal total de ambos carriles
AREA (km ²)	Q (m ³ /s)	AREA (km ²)	Q (m ³ /s)	Q (m ³ /s)
0,0057	0,001482	0,0057	0,001482	0,002964

Nota. Fuente: Elaboración Propia.

4.4.2.3.- Calculo de las secciones de la cuneta

Las secciones de la cuneta fueron impuestas y verificadas, así se analizará si son óptimas para su construcción y uso, los datos para el cálculo de las secciones fueron:

- y= 0,25 m
- z= 0,1 m
- Cota mayor= 2732,459 msnm
- Cota menor= 2705,696 msnm
- Longitud= 1907,54 m

- $n = 0,0015$

Mediante estos datos se calculó el Área, Perímetro Mojado, Radio Hidráulico, Pendiente y Caudal de diseño utilizando las siguientes formulas:

$$A = z * y^2 \quad (29)$$

$$Pm = 2y * \sqrt{1 + z^2} \quad (30)$$

$$Rh = \frac{z * y}{2 * \sqrt{1 + z^2}} \quad (31)$$

$$Rh = \frac{z * y}{2 * \sqrt{1 + z^2}} \quad (32)$$

$$S = \frac{Cota\ mayor - Cota\ menor}{L} \quad (33)$$

$$Q = \frac{1}{n} * \left(\frac{A^{\frac{5}{3}}}{P^{\frac{2}{3}}} \right) * S^{\frac{1}{2}} \quad (34)$$

Obteniendo, así como resultado los siguientes valores:

Tabla 33

Calculo de Área, Perímetro Mojado, Radio Hidráulico, Pendiente y Caudal de la Cuneta

$A = z * y^2$			$Pm = 2y * \sqrt{1 + z^2}$		
A =	0,125	m ²	Pm =	0,71	m
$Rh = \frac{z * y}{2 * \sqrt{1 + z^2}}$			$S = \frac{Cota\ mayor - Cota\ menor}{L}$		
Rh =	0,088	m	S =	1,40	%
			S =	0,01403011	m/m
$Q = \frac{1}{n} * \left(\frac{A^{\frac{5}{3}}}{P^{\frac{2}{3}}} \right) * S^{\frac{1}{2}}$					
Q =	0,00310909	m ³ /s			
SI CUMPLE					

Nota. Fuente: Elaboración Propia.

Verificando los valores de las dimensiones de la cuneta, se comprueba que los valores impuestos son óptimos ya que el caudal de diseño es mayor que el caudal total de ambos carriles, esto representa que el caudal que va a transportar la cuneta es mayor al caudal que va a entrar a la misma.

4.5.- Señalización

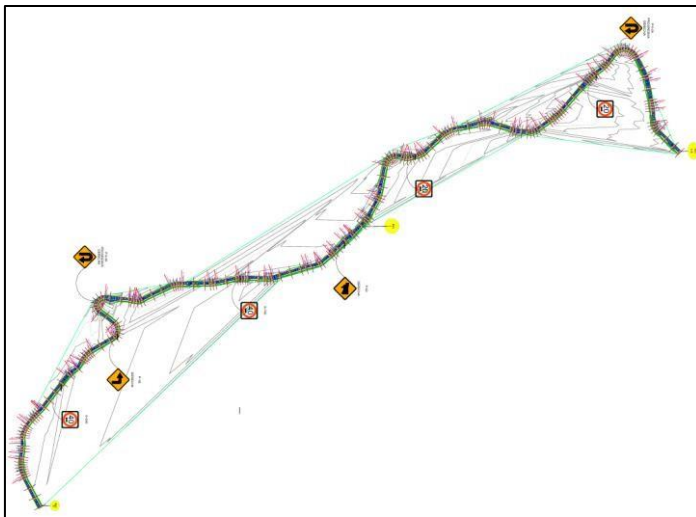
La señalización vertical se utilizó en puntos estratégicos que incluyen curvas, zonas de reducción de velocidad y sectores donde existen puntos críticos. Las señalizaciones que se implementaron son:

- Curva cerrada a la derecha
- Curva cerrada a la izquierda
- Reduzca la velocidad
- No rebasar
- Límite de velocidad (20 y 40 km/h)
- Curva y contracurva cerrada
- Doble vía
- Pare

Adicional a esta señalización se utilizó la horizontal, las cuales se implementaron en forma de líneas continuas blancas en los extremos de la vía y en el centro una línea segmentada amarilla.

Ilustración 74

Señalización en la vía Tixan-Chiquintad



Nota. Fuente: Elaboración Propia.

4.6.- Presupuesto

El presupuesto estimado para la obra se representa en la siguiente tabla:

Ilustración 75

Presupuesto Estimado para la vía Tixan-Chiquintad

Presupuesto						
Item	Codigo	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total
1		OBRAS PREELIMINARES				38712.94
1.1	5A1005	Replanteo y nivelación de vías	ml	2,036.12	3.60	7330.032
1.2	5AE044	Excavación a maquina con retroexcavadora	m3	2,094.23	2.01	4209.4023
1.3	5AE005	Excavación manual material sin clasificar	m3	114.01	25.17	2869.6317
1.4	5AE035	Cargado de material con cargadora	m3	2,294.23	1.76	4037.8448
1.5	5AE058	Transporte de materiales hasta 6km, incluye pago en escombrera	m3	13,601.36	1.49	20266.0264
2		ESTRUCTURA VIAL				251526.2586
2.1	5AE018	Subrasante conformación y compactación con equipo pesado	m2	6,100.37	1.21	7381.4477
2.2	5AE022	Sub-base conformación y compactación con equipo pesado	m3	915.16	19.91	18220.8356
2.3	5AE024	Base Granular conformación y compactación con equipo pesado	m3	915.16	31.07	28434.0212
2.4	580008	Imprimación asfáltica con barrido mecánico	m2	6,100.37	29.97	182828.0889
2.5	580006	Carpeta asfáltica (e=3") Ho Asf. mezclado en planta	m3	460.92	31.81	14661.8652
3		DRENAJE VIAL				385398.9413
3.1	5AE052	Excavación manual, zanja 0-2 m, material sin clasificar	m3	815.25	17.67	14405.4675
3.2	549001	Excavación mecánica, zanja 0-2 m, material sin clasificar, cuchara 40cm	m3	815.25	3.66	2983.815
3.3	5AE035	Cargado de material con cargadora	m3	815.25	1.76	1434.84
3.4	5AE058	Transporte de materiales hasta 6km, incluye pago en escombrera	m3*km	4,891.50	1.49	7288.335
3.5	5A2004	Sobreacarreo de materiales para desalojo, lugar determinado por el Fiscalizador, Distancia > 6 km	m3*km	4,891.50	0.79	3864.285
3.6	5AE033	Cama de arena e=3cm	m3	24.46	2.07	50.6322
3.7	573008	Acero de refuerzo fy=4200 kg/cm2 (Incluye corte y doblado)	kg	725.00	1.69	1225.25
3.8	5AB058	Hormigón simple f'c=210 kg/cm2 para cunetas triangulares h=35cm, e=10cm. (inc.Encofrado y desencofrado)	m3	32.67	242.39	7918.8813
3.9	534002	Hormigón simple f'c=210 kg/cm2 para cunetas triangulares h=20cm, e=10cm. (inc.Encofrado y desencofrado)	m3	20.38	18.49	376.8262
3.10	5AB058	Encofrado metálico para cunetas	m2	1,426.69	242.39	345815.3891
3.11	540002	Alcantarillas	U	6.00	5.87	35.22
4		SEÑALIZACIÓN				7041.639
4.1	595006	Señalización Vertical	U	11.00	86.33	949.63
4.2	585002	Pintura para línea central	m2	305.72	8.54	2610.8488
4.3	585002	Pintura para líneas de borde	m2	407.63	8.54	3481.1602
Son: SETECIENTOS OCHENTA Y CINCO MIL OCHENTA Y UN DOLARES CON SETENTA Y CUATRO					SUBTOTAL	682679.78
					IVA	15%
					TOTAL	785081.74

Nota. Fuente: Elaboración Propia.

CAPITULO V

5.1.- Conclusiones

El presente estudio permitió desarrollar el diseño geométrico y estructural de la vía Tixán - Chiquintad, ubicada en el cantón Cuenca, provincia del Azuay, contribuyendo a mejorar la transitabilidad, seguridad y sostenibilidad del tramo en estudio. A través de una metodología integral que incluyó levantamientos de campo, ensayos de laboratorio, análisis normativos y diseño técnico, se logró cumplir con los objetivos propuestos, asegurando una propuesta viable y conforme con la normativa vigente del MTOP.

TPDA y Velocidad de Diseño

El TPDA es uno de los indicadores más importantes en el diseño de carreteras, ya que representa el promedio del flujo vehicular diario a lo largo de un año. Su cálculo permite estimar la demanda actual de tráfico y proyectar el comportamiento futuro, lo que es esencial para dimensionar adecuadamente el pavimento, definir la clase de vía y seleccionar los parámetros geométricos del diseño.

Con base en este análisis, y considerando un Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA) de 558 vehículos/día se clasificó la vía del proyecto como Tipo 3 y su velocidad de diseño de 40 km/h.

Sistemas de Drenaje

El diseño del sistema de drenaje se realizó tomando como referencia los datos pluviométricos de la estación meteorológica **Cuenca-Aeropuerto**, junto con parámetros hidráulicos adecuados para el manejo de la escorrentía superficial. Con base en este análisis, se dimensionó una cuneta de sección trapezoidal cuya capacidad de conducción resulta suficiente para transportar el caudal estimado de **3.109 l/s**. De esta manera, se garantiza una evacuación eficaz del agua de lluvia.

Diseño Estructural

La caracterización del suelo se constituyó como un elemento fundamental para el dimensionamiento del pavimento, ya que permitió determinar la capacidad portante de la subrasante y la calidad de los materiales disponibles en el área de influencia. Para ello se realizaron ensayos de laboratorio, tales como granulometría, límites de Atterberg, Proctor y CBR, los cuales proporcionaron información clave sobre la composición, plasticidad, compactación y resistencia del suelo.

Análisis granulométrico: Distribución de partículas y determinar la clasificación del material, lo cual es determinante para definir su comportamiento mecánico y su susceptibilidad a la degradación por acción del agua para el cálculo de Atterberg.

Por su parte, los límites de Atterberg (límite líquido, límite e índice plásticos) fueron esenciales para establecer el grado de plasticidad del suelo y evaluar su estabilidad frente a cambios de humedad para el ensayo de Proctor. El ensayo Proctor se utilizó para determinar la **densidad máxima seca** y el **contenido óptimo de humedad** del material, parámetros indispensables para el control de compactación durante la construcción.

Finalmente, el ensayo **CBR (California Bearing Ratio)** permitió cuantificar la capacidad portante del suelo, estableciendo un valor de referencia que se utilizó como base para el diseño de la estructura del pavimento. Este indicador es esencial para dimensionar el espesor de las capas (subbase, base y carpeta asfáltica).

Los resultados evidenciaron un valor crítico de CBR del 6,42 % correspondiente al promedio de las calicatas.

El diseño estructural adoptado responde a un Número Estructural (SN) de 2.4211, ajustado a los valores mínimos normativos, con una estructura compuesta por 3 pulgadas de carpeta asfáltica, 15 cm de base y 15 cm de subbase.

Diseño geométrico

Mediante levantamientos topográficos detallados se obtuvo una caracterización precisa del relieve, pendientes, alineamientos y elementos geomorfológicos presentes en el tramo. Con esta información, se determinó un trazado geométrico que se adapta a las condiciones naturales del terreno, minimizando la necesidad de movimientos de tierra excesivos y reduciendo el impacto ambiental. El diseño geométrico consideró aspectos clave como:

- Alineamiento horizontal (tangentes y curvas) ajustado a radios adecuados para la velocidad de diseño.
- Alineamiento vertical, optimizando pendientes y visibilidad en función del relieve montañoso.
- Distancias de visibilidad y peraltes adecuados en curvas para asegurar estabilidad vehicular.
- Clasificación del tramo según la demanda de tráfico y la función de la vía.
- Sección longitudinal y transversal para creación de corredor
- Movimiento de tierras para corte y relleno.

Presupuesto

Por último, se creó un presupuesto detallado que posibilita calcular con exactitud el coste total de la ejecución del proyecto, que es de **USD 785.081,44**. Esta suma abarca todos los conceptos técnicos y constructivos requeridos para la edificación de la vía, como

lo son las obras de drenaje, el movimiento de tierra y la estructura del pavimento. Asimismo, se incorporó la señalización horizontal y vertical adecuada, lo que mejoró la seguridad vial a través de todo el tramo, particularmente en áreas críticas y giros.

Conclusiones Generales

En términos generales, la propuesta de diseño ayuda a optimizar la conectividad del sector al disminuir los costos operativos, tiempos de viaje para los usuarios. Además, al hacer que el trayecto dure más y tenga mayor seguridad vial, se promueve la continuidad del transporte de bienes y servicios. Esto tiene un efecto positivo en la economía local y en las condiciones de vida de los residentes de la parroquia Chiquintad. Así, la investigación se establece como una solución completa que satisface no solo una necesidad técnica, sino también una demanda económica y social de la sociedad.

5.2.- Recomendaciones

Como recomendación primordial para un diseño geométrico y estructural, debemos realizar un correcto levantamiento topográfico, ya que, al momento de nosotros alzar nuestra nube de puntos para proceder con el trazado de la vía, si no tenemos los suficientes puntos de terreno, tendremos un error crucial en el diseño, ya que el software civil 3D interpretara que no hay información en ciertas zonas al momento de sacar nuestras tablas de corte y relleno.

Una correcta elaboración de los ensayos nos dará resistencias, espesores adecuados de Sub-Base, Base, Subrasante y carpeta asfáltica para el diseño de la vía Tixán-Chiquintad asegurando así la seguridad y calidad estructural a futuro.

Se recomienda que se repete los criterios geométricos, estructurales e hidráulicos establecidos, ya que su correcta aplicación es clave para asegurar la funcionalidad y durabilidad de la vía. Es indispensable aplicar un control de calidad riguroso durante la construcción, especialmente en la compactación, conformación de capas y obras de drenaje, para evitar fallas prematuras.

De igual manera, se recomienda implementar desde la etapa inicial de operación un plan de mantenimiento preventivo que contemple intervenciones periódicas, tales como la limpieza de cunetas, la inspección y mantenimiento de alcantarillas, así como la

conservación oportuna del pavimento. Estas acciones resultan especialmente relevantes debido a las condiciones climáticas y topográficas propias de la zona de estudio. Adicionalmente, considerando el crecimiento progresivo del tránsito vehicular, se sugiere realizar actualizaciones periódicas de los estudios técnicos a mediano plazo, con el fin de ajustar y orientar adecuadamente futuras decisiones de mejoramiento de la infraestructura vial.

5.3.- Bibliografía

AASHTO. (1993). *Diseño de Pavimentos (AASHTO-93)*.

INAMHI. (2019). *Intensidades máximas de precipitación Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología*.

INEN. (2011). *Instituto Ecuatoriano de Normalización*.

MTOP. (2003a). *NORMAS DE DISEÑO GEOMÉTRICO DE CARRETERAS*.

MTOP. (2003b). *Norma de diseño geométrico de carreteras*.

MTOP. (2013a). *NORMA PARA ESTUDIOS Y DISEÑOS VIALES NEVI-12*.

MTOP. (2013b). *Norma para estudios y diseños viales nevi-12*.

MTOP. (2013b). *Reglamento Ley Sistema Infraestructura Vial del Transporte Terrestre*.
www.lexis.com.ec

Ministerio de Transporte y Obras Públicas. (2013). Norma para estudios y diseños viales NEVI-12 (Vol. 2A).
https://www.mit.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/12/01-122013_Manual_NEVI12_VOLUMEN_2A.pdf

República del Ecuador. (2012). Reglamento a la Ley de Transporte Terrestre, Tránsito y Seguridad Vial (Decreto Ejecutivo No. 1196). Ministerio de Transporte y Obras Públicas.
<https://www.mit.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/03/Decreto-Ejecutivo-No.-1196-de-11-06-2012-REGLAMENTO-A-LA-LEY-DE-TRANSPORTE-TERRESTRE-TRANSITO-Y-SEGURIDAD-VIA.pdf>

República del Ecuador. (2015). Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE-INEN 004:2011 (LOTAIP). Ministerio de Transporte y Obras Públicas. https://www.mit.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/04/LOTAIP2015_reglamento-tecnico-ecuadoriano-rte-inen-004-1-2011.pdf

Navarro, S. J. (2011). Curvas horizontales, transiciones y peraltes [Documento técnico].
https://sjnavarro.wordpress.com/wp-content/uploads/2011/08/curvas-horizontales_transiciones-y-peraltes1.pdf

Ministerio de Transporte y Obras Públicas. (2018). Manual de diseño geométrico. Ministerio de Transporte y Obras Públicas.

Ministerio de Transporte y Obras Públicas. (2019). Normativa para diseño de pavimentos flexibles y rígidos: Adaptación de AASHTO 93. Ministerio de Transporte y Obras Públicas.

QGIS Development Team. (2024). QGIS Geographic Information System (Versión 3.34) [Software de computadora]. Open Source Geospatial Foundation. <https://qgis.org>

Cabrera Quezada, E. A., & Jumbo Cueva, A. F. (2025). Diseño geométrico y estructural de la vía Tixán – Chiquintad en el tramo comprendido entre la abscisa 0+000 y 1+900 en la ciudad de Cuenca, Ecuador [Tesis de grado, Universidad Politécnica Salesiana]. DSpace UPS. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/31008/1/UPS-CT012231.pdf>

Servicio Nacional de Contratación Pública. (s. f.). Catálogo de rubros del Sistema Nacional de Contratación Pública. <https://www.sercop.gob.ec>

Recuperado el 18 de enero de 2026.

Ministerio de Transporte y Obras Públicas del Ecuador. (2003). Normas de diseño geométrico de carreteras [Manual técnico]. https://sjnavarro.wordpress.com/wp-content/uploads/2011/08/manual-dedisec3b1o-de-carretera_2003-ecuador.pdf

American Association of State Highway and Transportation Officials. (1993). Guide for design of pavement structures. AASHTO.

Asociación Mundial de la Carretera (PIARC). (2001). Manual de diseño geométrico de carreteras rurales. PIARC.

ASTM International. (2014). ASTM D1883-14: Standard test method for CBR (California bearing ratio) of laboratory-compacted soils. ASTM International.

ASTM International. (2015). ASTM D3282-15: Standard classification of soils and soil-aggregate mixtures for highway construction purposes. ASTM International.

CAPITULO VI

6.- Anexos

Anexos 1

Conteo Vehicular

		ESTUDIO VIAL DEL TRAMO 1+800 a 3+800 KM , EN UNA LONGITUD DE 1.8 KM, EN LA PARROQUIA CHIQUINTAD , CANTÓN CUENCA, PROVINCIA DEL AZUAY										
		AFORO VEHICULARES										
Ubicación:		Parroquia Chiquintad, Canton Cuenca				Fecha:		VIERNES 24/10/2025				
Via:		TIXAN-CHIQUINTAD				Sentido:		ESTE-OESTE				
Aforador:						Hoja:		de:				
Coordinador:						Hora de inicio:		0H00		Hasta 23H59		
		INTERVALOS						Motos		TOTAL	TOTAL SIN MOTOS	Volumen Horario
				AUTOS	BUS	C-2D	C-3A					
1	0H0-01H0	0-15	1	0	0	0	0	1		1	2	
		15-30	0	0	0	0	0	0		0		
		30-45	0	0	0	0	0	0		0		
		45-60	1	0	0	0	1	2		1		
2	01H0-02H0	0-15	0	0	0	0	0	0		0	0	
		15-30	0	0	0	0	0	0		0		
		30-45	0	0	0	0	0	0		0		
		45-60	0	0	0	0	0	0		0		
3	02H0-03H0	0-15	0	0	0	0	0	0		0	2	
		15-30	1	0	0	0	0	1		1		
		30-45	0	0	0	0	0	0		0		
		45-60	1	0	0	0	0	1		1		
4	03H0-04H0	0-15	0	0	0	0	0	0		0	0	
		15-30	0	0	0	0	0	0		0		
		30-45	0	0	0	0	0	0		0		
		45-60	0	0	0	0	0	0		0		
5	04H0-05H0	0-15	0	0	0	0	0	0		0	2	
		15-30	0	0	0	0	0	0		0		
		30-45	1	0	0	0	0	1		1		
		45-60	1	0	0	0	0	1		1		
6	05H0-06H0	0-15	0	0	0	0	0	0		0	2	
		15-30	1	0	0	0	0	1		1		
		30-45	0	0	0	0	1	1		0		
		45-60	1	0	0	0	1	2		1		
7	06H0-07H0	0-15	0	0	0	0	0	0		0	7	
		15-30	0	0	0	0	0	0		0		
		30-45	2	1	1	0	0	4		4		
		45-60	3	0	0	0	0	3		3		
8	07H0-08H0	0-15	0	0	0	0	2	2		0	4	
		15-30	0	0	1	0	0	1		1		
		30-45	1	0	0	0	1	2		1		
		45-60	1	0	0	1	1	3		2		
9	08H0-09H0	0-15	2	0	0	0	0	2		2	12	
		15-30	1	0	0	0	1	2		1		
		30-45	3	0	0	0	1	4		3		
		45-60	5	0	1	0	0	6		6		

10	09HR-10HR	0-15	1	0	0	0	0	1	1	8
		15-30	4	0	0	0	0	4	4	
		30-45	1	0	0	0	1	2	1	
		45-60	2	0	0	0	0	2	2	
11	10HR-11HR	0-15	3	0	0	0	0	3	3	10
		15-30	4	0	0	0	0	4	4	
		30-45	1	0	0	0	0	1	1	
		45-60	2	0	0	0	1	3	2	
12	11HR-12HR	0-15	3	0	0	1	1	5	4	9
		15-30	1	0	0	0	0	1	1	
		30-45	1	0	0	0	2	3	1	
		45-60	2	0	1	0	0	3	3	
13	12HR-13HR	0-15	5	0	0	0	1	6	5	16
		15-30	3	0	1	0	0	4	4	
		30-45	5	0	0	0	1	6	5	
		45-60	2	0	0	0	1	3	2	
14	13HR-14HR	0-15	7	0	0	0	1	8	7	23
		15-30	8	0	0	0	0	8	8	
		30-45	3	0	1	0	1	5	4	
		45-60	3	0	0	1	0	4	4	
15	14HR-15HR	0-15	5	0	0	0	1	6	5	16
		15-30	3	0	0	0	0	3	3	
		30-45	3	0	1	0	2	6	4	
		45-60	4	0	0	0	0	4	4	
16	15HR-16HR	0-15	4	0	1	1	0	6	6	14
		15-30	3	0	0	0	0	3	3	
		30-45	4	0	0	0	1	5	4	
		45-60	1	0	0	0	4	5	1	
17	16HR-17HR	0-15	8	0	0	1	1	10	9	28
		15-30	14	0	0	0	1	15	14	
		30-45	3	0	0	0	0	3	3	
		45-60	2	0	0	0	1	3	2	
18	17HR-18HR	0-15	3	0	1	0	3	7	4	18
		15-30	6	0	1	1	1	9	8	
		30-45	2	0	0	0	1	3	2	
		45-60	3	0	1	0	1	5	4	
19	18HR-19HR	0-15	3	0	0	0	1	4	3	23
		15-30	7	0	0	0	1	8	7	
		30-45	9	0	0	0	2	11	9	
		45-60	4	0	0	0	1	5	4	
20	19HR-20HR	0-15	5	0	0	0	2	7	5	17
		15-30	3	0	0	0	0	3	3	
		30-45	5	0	0	0	1	6	5	
		45-60	4	0	0	0	0	4	4	
21	20HR-21HR	0-15	4	0	0	0	1	5	4	10
		15-30	3	0	0	0	1	4	3	
		30-45	1	0	0	0	1	2	1	
		45-60	2	0	0	0	0	2	2	

22	21H0-22H0	0-15	1	0	0	0	0	1	1	8
		15-30	3	0	0	0	0	3	3	
		30-45	2	0	1	0	0	3	3	
		45-60	1	0	0	0	0	1	1	
23	22H0-23H0	0-15	1	0	0	0	0	1	1	7
		15-30	3	0	0	0	0	3	3	
		30-45	0	0	0	0	0	0	0	
		45-60	3	0	0	0	0	3	3	
24	23H0-23.59H0	0-15	0	0	0	0	0	0	0	2
		15-30	1	0	0	0	0	1	1	
		30-45	1	0	0	0	0	1	1	
		45-60	0	0	0	0	0	0	0	
TOTAL 24 HORAS		221	1	12	6	47	287	240	240	

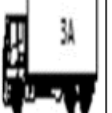
ESTUDIO VIAL DEL TRAMO 1-900 a 3-800 KM , EN UNA LONGITUD DE 1.8 KM, EN LA PARROQUIA CHIQUINTAD , CANTÓN CUENCA, PROVINCIA DEL AZUAY									
AFORO VEHICULARES									
Ubicación:		Parroquia Chiguintad, Canton Cuenca			Fecha: VIERNES 24/10/2025				
Via:		TIXAN-CHIQUINTAD			Sentido: OESTE-ESTE				
Aforador:					Hoja: de:				
Coordinador:					Hora de inicio 0H00		Hasta		23H59
	INTERVALOS						TOTAL	TOTAL SIN MOTOS	Volumen Horario
		AUTOS	BUS	C-20	C-34	Motos			
1	00HO-01HO	0-15	0	0	0	0	0	0	1
		15-30	1	0	0	0	1	1	
		30-45	0	0	0	0	0	0	
		45-60	0	0	0	0	0	0	
2	01HO-02HO	0-15	0	0	0	0	0	0	1
		15-30	0	0	0	0	0	0	
		30-45	0	0	0	0	0	0	
		45-60	1	0	0	0	1	1	
3	02HO-03HO	0-15	0	0	0	0	0	0	1
		15-30	1	0	0	0	1	1	
		30-45	0	0	0	0	0	0	
		45-60	0	0	0	0	0	0	
4	03HO-04HO	0-15	0	0	0	0	0	0	0
		15-30	0	0	0	0	0	0	
		30-45	0	0	0	0	0	0	
		45-60	0	0	0	0	0	0	
5	04HO-05HO	0-15	0	0	0	0	0	0	0
		15-30	0	0	0	0	0	0	
		30-45	0	0	0	0	0	0	
		45-60	0	0	0	0	0	0	
6	05HO-06HO	0-15	0	0	0	0	0	0	2
		15-30	0	0	0	0	0	0	
		30-45	0	0	0	1	1	0	
		45-60	2	0	0	1	3	2	
7	06HO-07HO	0-15	1	0	0	0	1	1	8
		15-30	2	0	0	0	2	2	
		30-45	2	0	0	1	3	2	
		45-60	3	0	0	2	5	3	
8	07HO-08HO	0-15	1	0	0	1	2	1	6
		15-30	2	0	0	0	2	2	
		30-45	1	0	0	1	2	1	
		45-60	2	0	0	0	2	2	
9	08HO-09HO	0-15	2	0	0	1	4	3	13
		15-30	1	0	0	2	3	1	
		30-45	3	0	0	1	4	3	
		45-60	5	0	1	0	6	6	
10	09HO-10HO	0-15	2	0	0	1	3	2	12
		15-30	1	0	1	1	3	3	
		30-45	3	0	0	1	4	3	
		45-60	4	0	0	1	5	4	

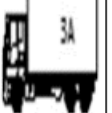
11	10H0-11H0	0-15	3	0	0	0	1	4	3	11
		15-30	4	0	0	1	1	6	5	
		30-45	2	0	0	0	0	2	2	
		45-60	1	0	0	0	1	2	1	
12	11H0-12H0	0-15	2	0	0	0	0	2	2	16
		15-30	2	0	1	0	1	4	3	
		30-45	3	1	1	0	0	5	5	
		45-60	5	0	1	0	0	6	6	
13	12H0-13H0	0-15	4	0	1	0	2	7	5	20
		15-30	3	0	1	1	1	6	5	
		30-45	5	0	0	1	1	7	6	
		45-60	3	0	1	0	2	6	4	
14	13H0-14H0	0-15	4	0	1	0	1	6	5	23
		15-30	5	0	1	1	0	7	7	
		30-45	5	0	0	0	1	6	5	
		45-60	6	0	0	0	1	7	6	
15	14H0-15H0	0-15	6	0	1	1	0	8	8	24
		15-30	7	0	0	0	1	8	7	
		30-45	2	0	1	0	2	5	3	
		45-60	5	0	0	1	0	6	6	
16	15H0-16H0	0-15	2	0	0	0	0	2	2	13
		15-30	5	0	0	0	1	6	5	
		30-45	3	0	1	0	0	4	4	
		45-60	2	0	0	0	1	3	2	
17	16H0-17H0	0-15	4	0	0	0	1	5	4	20
		15-30	5	0	0	1	0	6	6	
		30-45	6	0	0	0	0	6	6	
		45-60	4	0	0	0	1	5	4	
18	17H0-18H0	0-15	7	0	0	0	1	8	7	26
		15-30	11	0	0	0	0	11	11	
		30-45	5	0	0	0	0	5	5	
		45-60	3	0	0	0	1	4	3	
19	18H0-19H0	0-15	3	0	0	0	0	3	3	18
		15-30	3	0	0	0	0	3	3	
		30-45	5	0	0	1	0	6	6	
		45-60	6	0	0	0	0	6	6	
20	19H0-20H0	0-15	5	0	0	0	0	5	5	13
		15-30	2	0	0	0	1	3	2	
		30-45	3	0	0	0	0	3	3	
		45-60	3	0	0	0	1	4	3	
21	20H0-21H0	0-15	4	0	0	0	2	6	4	10
		15-30	3	0	0	0	1	4	3	
		30-45	2	0	0	0	0	2	2	
		45-60	1	0	0	0	2	3	1	
22	21H0-22H0	0-15	1	0	0	0	1	2	1	6
		15-30	0	0	0	0	0	0	0	
		30-45	1	0	0	0	1	2	1	
		45-60	4	0	0	0	1	5	4	
23	22H0-23H0	0-15	2	0	0	0	0	2	2	7
		15-30	1	0	0	0	0	1	1	
		30-45	1	0	0	0	1	2	1	
		45-60	3	0	0	0	0	3	3	
24	23H0-23.59H0	0-15	4	0	0	0	0	4	4	11
		15-30	3	0	0	0	0	3	3	
		30-45	2	0	0	0	0	2	2	
		45-60	2	0	0	0	0	2	2	
TOTAL 24 HORAS			238	1	13	10	47	309	262	262

Nota. Fuente: Elaboración Propia.

Anexos 2

Cálculo del TPDA

RESUMEN AFORO VEHICULAR VIA TIXAN-CHIKUINTAD						
Días de aforo (Este-Oeste)	 AUTOS	 BUS	 C-2D	 C-3A	 MOTOS	TOTAL
MIERCOLES	228	0	18	4	45	295
JUEVES	245	0	16	3	46	310
VIERNES	221	1	12	6	47	287
SABADO	231	0	8	4	41	284
DOMINGO	249	1	6	0	40	296
LUNES	226	0	16	1	47	290
MARTES	233	0	16	1	49	299
PROMEDIO	233	0	13	3	45	294

Días de aforo (Oeste-Este)	 AUTOS	 BUS	 C-2D	 C-3A	 MOTOS	TOTAL
MIERCOLES	234	1	17	2	45	299
JUEVES	242	0	14	2	42	300
VIERNES	238	1	13	10	47	309
SABADO	255	0	10	1	33	299
DOMINGO	226	1	4	0	38	269
LUNES	235	1	16	1	44	297
MARTES	233	1	15	2	35	286
PROMEDIO	238	1	13	3	41	294

VOLUMEN OBSERVADO		
TIPO	VOLUMEN	%
Autos	471	93.61
Buses	1	0.20
C-2D	26	5.14
C-3A	5	1.05
TOTAL	503	100.00

1.- Estimación Factor Horario

- Se asume el coeficiente mayor que resulte de dividir para cada día.
Total de tráfico de día (AUTOMÁTICO)
Total del día del conteo manual

FH	1.00	Asumimos el coeficiente mayor que resulte de dividir para cada día
----	------	--

2.- Estimación Factor Diario

Promedio diario semanal del conteo automatico
Conteo automático del día del conteo manual

FD	1.000	No, por que se conto durante los 7 dias
----	-------	---

3.- Estimación Factor Semanal

Tráfico semanal mensual del conteo (AUTOMÁTICO)
Tráfico de la semana del conteo manual

Julio	31	Días	2025
Semana	4.43	#Semanas	
FS	1.108	Octubre del 2025 mes de conteo	

4.- Estimación Factor Mensual

AZUAY 2023	DIESEL PREMIUM	EXTRA CON ETANOL	SUPER	TOTAL
6000604	GAL	GAL	GAL	GAL
7476168	7476168	7476168	7476168	14018776

1.6 Clasificación Nacional de la red Vial.

Clasificación de Carreteras.

Según el Tráfico (MTOP).

4.- Estimación Factor Mensual

AZUAY 2023	DIESEL PREMIUM	EXTRA CON ETANOL	SUPER	TOTAL
	GAL	GAL		
ENERO	6200504	7476168	342104	14018776
FEBRERO	5833440	6985917	414918	1324275
MARZO	6503609	7523682	345194	14372485
ABRIL	5963292	7090143	313108	13366543
MAYO	6541071	7659316	348540	14548927
JUNIO	5981975	7401574	354555	13738104
JULIO	6453307	7447427	382048	14282782
AGOSTO	6620729	7379950	508760	14509439
SEPTIEMBRE	6815474	7536252	346152	14697878
OCTUBRE	6989068	7569567	334685	14893320
NOVIEMBRE	6737594	7498414	328758	14564766
DICIEMBRE	7234877	7937027	387116	15559020
TOTAL	77874940	89505437	4405938	171786315

Fuente: PETROECUADOR, Despachos mensuales

Promedio mensual 14315526.3

Consumo del mes del conteo 14282782

FM 1.002

TPDA comercial = TPDA total * $\left(\frac{\%veh. comerciales}{100}\right)$

FH	1.00
FD	1.00
FS	1.11
FM	1.00
TPDA	558
TPDA LIVIANO	523
TPDA BUSS	1
TPDA CAMION	35

CLASIFICACIÓN TPDA		
TIPO	COMPOSICIÓN	TOTAL
Livianos	93.73%	523
Buses	0.18%	1
C-2D	5.20%	29
C-3A	1.08%	6
TOTAL	100%	558

1.6 Clasificación Nacional de la red Vial.

Clasificación de Carreteras.

- Según el Tráfico (MTPD)
 - I o II-B: TPDA > 6000
 - I: 3000-TPDA-6000
 - II: 1500-TPDA-3000
 - III: 500-TPDA-1500
 - IV: 200-TPDA-500
 - V: TPDA<200
- Según la función, clase y tráfico (MTPD)
 - Carreteras arteriales:
 - Vías Colectoras:
 - Carreteras vecinales

CUADRO B-2 RELACION FUNCION, CLASE VOP Y TIPO DE TRAFICO

FUNCION	CLASE DE CARRETERA (según VOP)	TPDA (L) (CON PAV. DE BUSES)
STACIONES AUTOMOV.	II - III (C)	> 6000
COLECTORA	I	3000 - 6000
	II	1500 - 3000
	III	500 - 1500
	IV	200 - 500
VEICULOS	V	TPDA < 200

Notas:
 (1) De acuerdo al nivel de servicio asignado al final de la red vial
 (2) RD - Autopista.

VIA COLECTORA TIPO III

TASAS DE CRECIMIENTO AZUAY

PERIODO	LIVIANOS	BUSES	CAMIONES
2015-2020	5.98	2.27	4.45
2020-2025	5.16	1.96	4.07
2025-2030	4.51	1.72	3.67
2030-2035	3.99	1.51	3.33
2035-2040	3.47	1.3	2.99
2040-2045	2.95	1.09	2.65
2045-2050	2.43	0.88	2.31

TPDA PROYECTADO LIVIANOS										TPDA PROYECTADO BUSES									
Año de consideración (n)			Año de cálculo	Transito inicial año 2025 (Ti)	Tasa de crecimiento anual del transito (r)	Transito acumulado		Transito en el año n (Tn)		Año de consideración (n)			Año de cálculo	Transito inicial año 2025 (Ti)	Tasa de crecimiento anual del transito (r)	Transito acumulado		Transito en el año n (Tn)	
N	Via geometrica	Pavimento				Via geometrica	Pavimento	Via geometrica	Pavimento	N	Via geometrica	Pavimento				Via geometrica	Pavimento	Via geometrica	Pavimento
1	2025	2025	2025	523	4.51%	523	523	523	523	1	2025	2025	2025	1	1.72%	1	1	1	1
2	2026	2026			4.51%	535	535	547	547	2	2026	2026			1.72%	1	1	1	1
3	2027	2027			4.51%	1094	1094	571	571	3	2027	2027			1.72%	2	2	1	1
4	2028	2028			4.51%	1678	1678	597	597	4	2028	2028			1.72%	3	3	1	1
5	2029	2029			4.51%	2288	2288	624	624	5	2029	2029			1.72%	4	4	1	1
6	2030	2030			3.99%	2888	2888	636	636	6	2030	2030			1.51%	5	5	1	1
7	2031	2031			3.99%	3537	3537	661	661	7	2031	2031			1.51%	6	6	1	1
8	2032	2032			3.99%	4211	4211	688	688	8	2032	2032			1.51%	7	7	1	1
9	2033	2033			3.99%	4913	4913	715	715	9	2033	2033			1.51%	8	8	1	1
10	2034	2034			3.99%	5642	5642	744	744	10	2034	2034			1.51%	10	10	1	1
11	2035	2035			3.47%	6233	6233	736	736	11	2035	2035			1.30%	11	11	1	1

TPDA PROYECTADO CAMIONES										TPDA PROYECTADO CAMIONES									
Año de consideración (n)			Año de cálculo	Transito inicial año 2025 (Ti)	Tasa de crecimiento anual del transito (r)	Transito acumulado		Transito en el año n (Tn)		Año de consideración (n)			Año de cálculo	Transito inicial año 2025 (Ti)	Tasa de crecimiento anual del transito (r)	Transito acumulado		Transito en el año n (Tn)	
N	Via geometrica	Pavimento				Via geometrica	Pavimento	Via geometrica	Pavimento	N	Via geometrica	Pavimento				Via geometrica	Pavimento	Via geometrica	Pavimento
1	2025	2025	2025	6	3.67%	6	6	6	6	1	2025	2025	2025	29	3.67%	29	29	29	29
2	2026	2026			3.67%	6	6	6	6	2	2026	2026			3.67%	30	30	30	30
3	2027	2027			3.67%	12	12	6	6	3	2027	2027			3.67%	60	60	31	31
4	2028	2028			3.67%	19	19	7	7	4	2028	2028			3.67%	92	92	32	32
5	2029	2029			3.67%	26	26	7	7	5	2029	2029			3.67%	125	125	33	33
6	2030	2030			3.33%	33	33	7	7	6	2030	2030			3.33%	158	158	34	34
7	2031	2031			3.33%	40	40	7	7	7	2031	2031			3.33%	192	192	35	35
8	2032	2032			3.33%	47	47	8	8	8	2032	2032			3.33%	228	228	36	36
9	2033	2033			3.33%	55	55	8	8	9	2033	2033			3.33%	265	265	38	38
10	2034	2034			3.33%	63	63	8	8	10	2034	2034			3.33%	304	304	39	39
11	2035	2035			2.99%	70	70	8	8	11	2035	2035			2.99%	337	337	39	39

$$Tn = Ti * (1 + r)^n$$

TPDA (2025)		2030	2035
TIPO	#VEHICULOS	#VEHICULOS	#VEHICULOS
LIVIANOS	523	636	736
BUS	1	1	1
CAMIONES C-2D	29	34	39
CAMIONES C-3A	6	7	8
TOTAL	559	678	784

Nota. Fuente: Elaboración Propia.

Anexos 3

Valores de diseño recomendados por la MTOP

NORMAS	CLASE I 3 000 – 8 000 TPDA ⁽¹⁾						CLASE II 1 000 - 3 000 TPDA ⁽¹⁾						CLASE III 300 – 1 000 TPDA ⁽¹⁾						CLASE IV 100 – 300 TPDA ⁽¹⁾						CLASE V MENOS DE 100 TPDA ⁽¹⁾																	
	RECOMENDABLE			ABSOLUTA			RECOMENDABLE			ABSOLUTA			RECOMENDABLE			ABSOLUTA			RECOMENDABLE			ABSOLUTA			RECOMENDABLE			ABSOLUTA														
	LL	O	M	LL	O	M	LL	O	M	LL	O	M	LL	O	M	LL	O	M	LL	O	M	LL	O	M	LL	O	M	LL	O	M												
Velocidad de diseño (K.P.H.)	110	100	80	100	80	60	100	90	70	90	80	50	90	80	60	80	60	40	80	60	50	60	35	25 ⁽²⁾	60	50	40	50	35	25 ⁽²⁾												
Radio mínimo de curvas horizontales (m)	430	350	210	350	210	110	350	275	160	275	210	75	275	210	110	210	110	42	210	110	75	110	30	20	110	75	42	75	30	20 ⁽³⁾												
Distancia de visibilidad para parada (m)	180	160	110	160	110	70	160	135	90	135	110	55	135	110	70	110	70	40	110	70	55	70	35	25	70	55	40	55	35	25												
Distancia de visibilidad para rebasamiento (m)	830	690	565	690	565	415	690	640	490	640	565	345	640	565	415	565	415	270	480	290	210	290	150	110	290	210	150	210	150	110												
Peralte	MAXIMO = 10%																														10% (Para V > 50 K.P.H.)						8% (Para V < 50 K.P.H.)					
Coefficiente "K" para: ⁽²⁾																																										
Curvas verticales convexas (m)	80	60	28	60	28	12	60	43	19	43	28	7	43	28	12	28	12	4	28	12	7	12	3	2	12	7	4	7	3	2												
Curvas verticales cóncavas (m)	43	38	24	38	24	13	38	31	19	31	24	10	31	24	13	24	13	6	24	13	10	13	5	3	13	10	6	10	5	3												
Gradiente longitudinal ⁽³⁾ máxima (%)	3	4	6	3	5	7	3	4	7	4	6	8	4	6	7	6	7	9	5	6	8	6	8	12	5	6	8	6	8	14												
Gradiente longitudinal ⁽⁴⁾ mínima (%)	0,5%																																									
Ancho de pavimento (m)	7,3			7,3			7,0			6,70			6,70			6,00			6,00			6,00			4,00 ⁽⁵⁾																	
Clase de pavimento	Carpeta Asfáltica y Hormigón						Carpeta Asfáltica						Carpeta Asfáltica o D.T.S.B.						D.T.S.B. Capa Granular o Empedrado						Capa Granular o Empedrado																	
Ancho de espaldones ⁽⁵⁾ estables (m)	3,0	2,5	2,0	2,5	2,0	1,5	3,0	2,5	2,0	2,5	2,0	1,5	2,0	1,5	1,0	1,5	1,0	0,5	0,60 (C.V. Tipo 6 y 7)						---																	
Gradiente transversal para pavimento (%)	2,0						2,0						2,0						2,5 (C.V. Tipo 6 y 7)						4,0																	
Gradiente transversal para espaldones (%)	2,0 ⁽⁶⁾ - 4,0						2,0 - 4,0						2,0 - 4,0						4,0 (C.V. Tipo 5 y 5E)						---																	
Curva de transición	USENSE ESPIRALES CUANDO SEA NECESARIO																																									
Puentes	HS - 20 - 44; HS - MOP; HS - 25																																									
	SERA LA DIMENSION DE LA CALZADA DE LA VIA INCLUIDOS LOS ESPALDONES																																									
	0,50 m mínimo a cada lado																																									
	Según el Art. 3º de la Ley de Caminos y el Art. 4º del Reglamento aplicativo de dicha Ley																																									
Mínimo derecho de vía (m)	LL = TERRENO PLANO 0 = TERRENO ONDULADO M = TERRENO MONTAÑOSO																																									

Nota. Fuente: (MTOP, 2003b).

Anexos 4

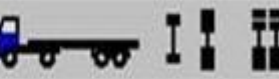
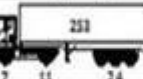
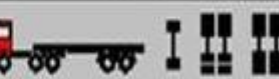
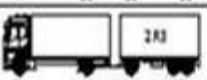
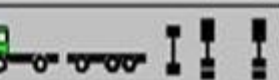
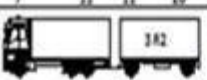
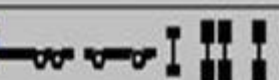
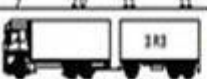
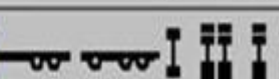
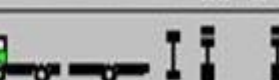
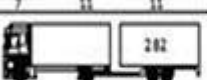
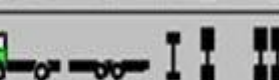
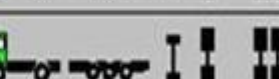
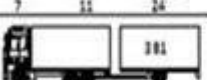
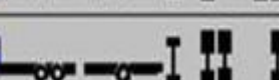
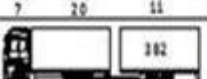
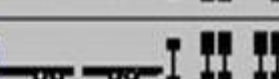
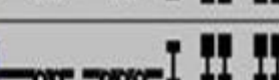
Tabla Nacional de pesos y dimensiones: "Tipo de vehículos motorizados remolques y semirremolques"

CUADRO DEMOSTRATIVO DEL TIPO DE VEHÍCULOS MOTORIZADOS REMOLQUES Y SEMIREMOLQUES								
TIPO	DISTRIBUCIÓN MÁXIMA DE CARGA POR EJE	DESCRIPCIÓN		PESO MÁXIMO PERMITIDO (Ton.)	LONGITUDES MÁXIMAS PERMITIDAS (metros)			
					largo	ancho	alto	
2 D			CAMIÓN DE 2 EJES PEQUEÑO	7	5,00	2,60	3,00	
2DA			CAMIÓN DE 2 EJES MEDIANOS	10	7,50	2,60	3,50	
2DB			CAMIÓN DE 2 EJES GRANDES	18	12,20	2,60	4,10	
3-A			CAMIÓN DE 3 EJES	27	12,20	2,60	4,10	
4-C			CAMIÓN DE 4 EJES	31	12,20	2,60	4,10	
4-0			CAMIÓN CON TÁNDEM O RECOONAL Y TÁNDEM POSTERIOR	32	12,20	2,60	4,10	
V2DB			VOLQUETA DE DOS EJES 8 m³	18	12,20	2,60	4,10	
V3A			VOLQUETA DE TRES EJES 10-14 m³	27	12,20	2,60	4,10	
VZS			VOLQUETA ZS DE 3 EJES 16 m³	27	12,20	2,60	4,10	
T2			TRACTO CAMIÓN DE 2 EJES	18	8,50	2,60	4,10	
T3			TRACTO CAMIÓN DE 3 EJES	27	8,50	2,60	4,10	
S3			SEMIREMOLQUE DE 3 EJES	24	13,00	3,00	4,30	
S2			SEMIREMOLQUE DE 2 EJES	20	13,00	3,00	4,30	
S1			SEMIREMOLQUE DE 1 EJE	11	13,00	3,00	4,30	
R2			REMOLQUE DE 2 EJES	22	10,00	3,00	4,30	
R3			REMOLQUE DE 3 EJES	31	10,00	3,00	4,30	
B1			REMOLQUE BALANCEADO DE 1 EJE	11	10,00	3,00	4,30	
B2			REMOLQUE BALANCEADO DE 2 EJES	20	10,00	3,00	4,30	
B3			REMOLQUE BALANCEADO DE 3 EJES	24	10,00	3,00	4,30	

Nota. Fuente: (MTOP, 2003b).

Anexos 5

Tabla Nacional de pesos y dimensiones: "Posibles combinaciones"

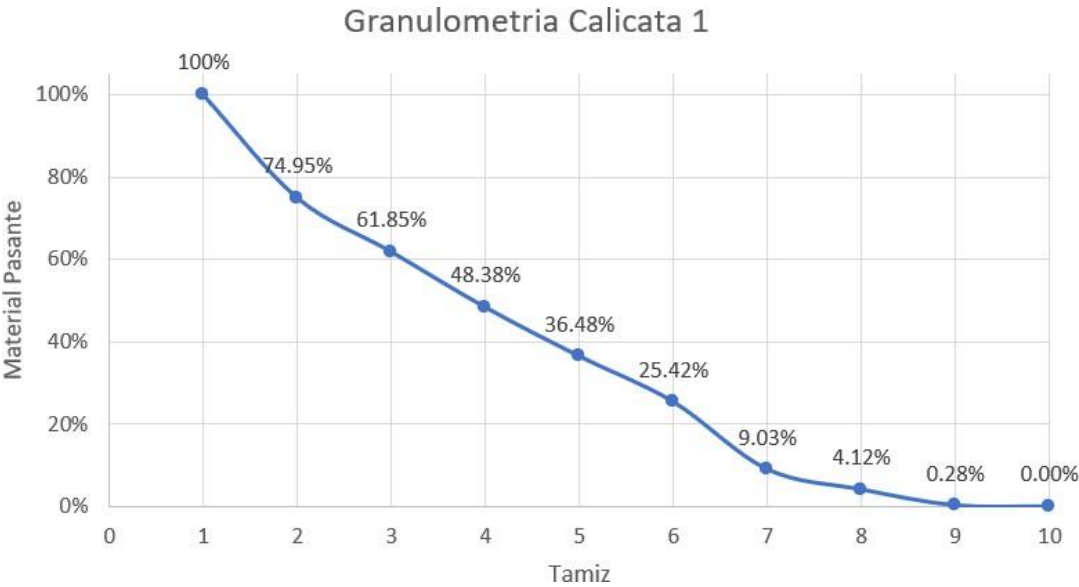
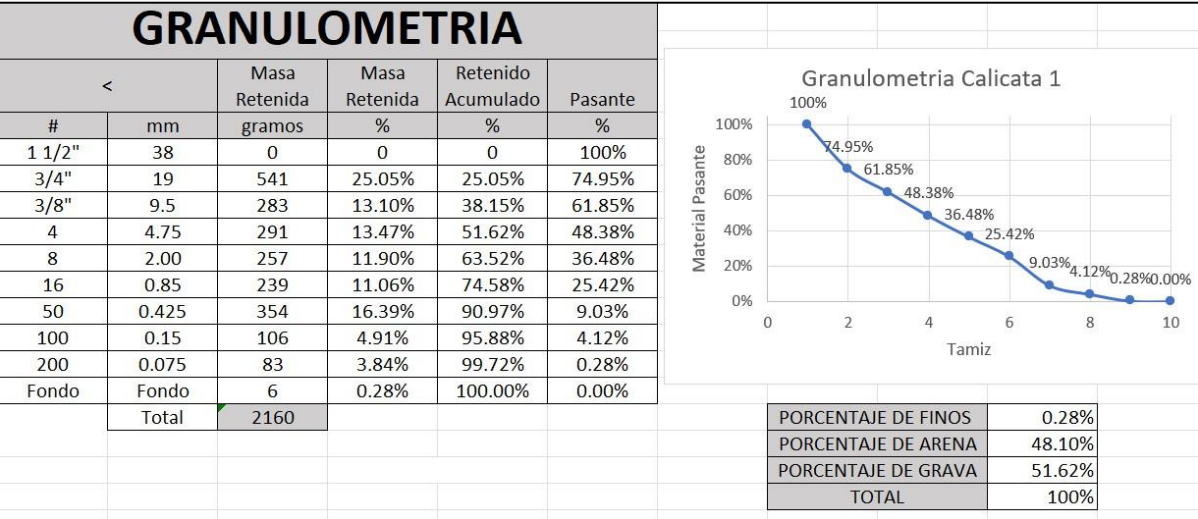
TIPO	DISTRIBUCIÓN MÁXIMA DE CARGA POR EJE	DESCRIPCIÓN	VEHICULAR MÁXIMO PERMITIDO (toneladas)	DIMENSIONES MÁXIMAS PERMITIDAS (en metros)		
				Largo	Ancho	Alto
2S1			TRACTO CAMIÓN DE 2 EJES Y SEMIREMOLQUE DE 1 EJE	29	20,50	2,60
2S2			TRACTO CAMIÓN DE 2 EJES Y SEMIREMOLQUE DE 2 EJES	38	20,50	2,60
2S3			TRACTO CAMIÓN DE 2 EJES Y SEMIREMOLQUE DE 3 EJES	42	20,50	2,60
3S1			TRACTO CAMIÓN DE 3 EJES Y SEMIREMOLQUE DE 1 EJE	38	20,50	2,60
3S2			TRACTO CAMIÓN DE 3 EJES Y SEMIREMOLQUE DE 2 EJES	47	20,50	2,60
3S3			TRACTO CAMIÓN DE 3 EJES Y SEMIREMOLQUE DE 3 EJES	48	20,50	2,60
2R2			CAMIÓN REMOLCADOR DE 2 EJES Y REMOLQUE DE 2 EJES	40	20,50	2,60
2R3			CAMIÓN REMOLCADOR DE 2 EJES Y REMOLQUE DE 3 EJES	48	20,50	2,60
3R2			CAMIÓN REMOLCADOR DE 3 EJES Y REMOLQUE DE 2 EJES	48	20,50	2,60
3R3			CAMIÓN REMOLCADOR DE 3 EJES Y REMOLQUE DE 3 EJES	48	20,50	2,60
2B1			CAMIÓN REMOLCADOR DE 2 EJES Y REMOLQUE BALANCEADO DE 1 EJE	29	20,50	2,60
2B2			CAMIÓN REMOLCADOR DE 2 EJES Y REMOLQUE BALANCEADO DE 2 EJES	38	20,50	2,60
2B3			CAMIÓN REMOLCADOR DE 2 EJES Y REMOLQUE BALANCEADO DE 3 EJES	42	20,50	2,60
3B1			CAMIÓN REMOLCADOR DE 3 EJES Y REMOLQUE BALANCEADO DE 1 EJE	38	20,50	2,60
3B2			CAMIÓN REMOLCADOR DE 3 EJES Y REMOLQUE BALANCEADO DE 2 EJES	47	20,50	2,60
3B3			CAMIÓN REMOLCADOR DE 3 EJES Y REMOLQUE BALANCEADO DE 3 EJES	48	>20,50	3,00

Nota. Fuente: (MTOP, 2003b).

Anexos 6

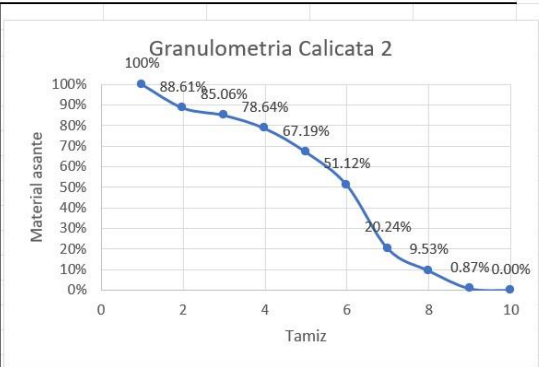
Calculo del ensayo de granulometría para la calicata 1 y 2

CALICATA 1

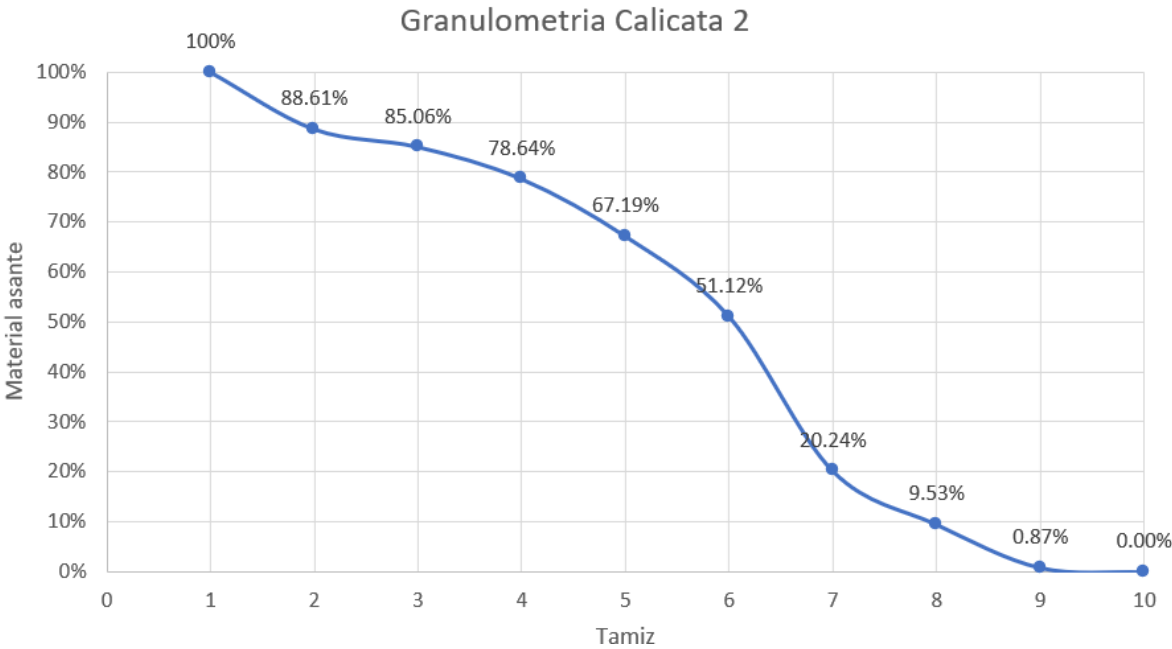


CALICATA 2

GRANULOMETRIA					
<		Masa Retenida	Masa Retenida	Retenido	Pasante
#	mm	gramos	%	%	%
1 1/2"	38	0	0	0	100%
3/4"	19	183	11.39%	11.39%	88.61%
3/8"	9.5	57	3.55%	14.94%	85.06%
4	4.75	103	6.41%	21.36%	78.64%
8	2.00	184	11.46%	32.81%	67.19%
16	0.85	258	16.06%	48.88%	51.12%
50	0.425	496	30.88%	79.76%	20.24%
100	0.15	172	10.71%	90.47%	9.53%
200	0.075	139	8.66%	99.13%	0.87%
Fondo	Fondo	14	0.87%	100.00%	0.00%
Total		1606			



PORCENTAJE DE FINOS	0.87%
PORCENTAJE DE ARENA	77.77%
PORCENTAJE DE GRAVA	21.36%
TOTAL	100%

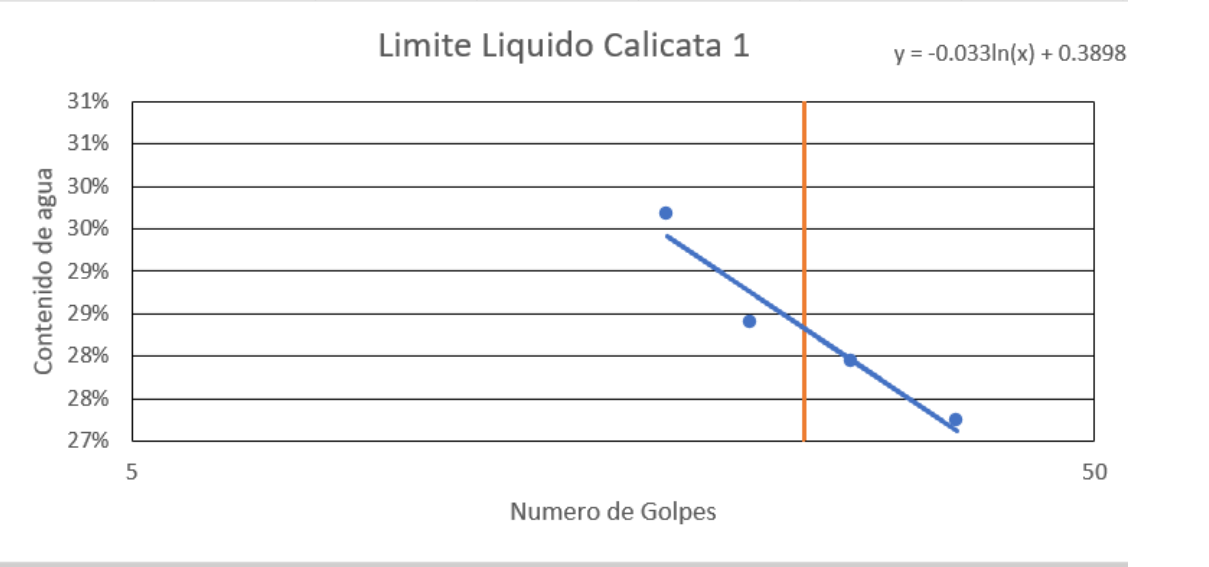
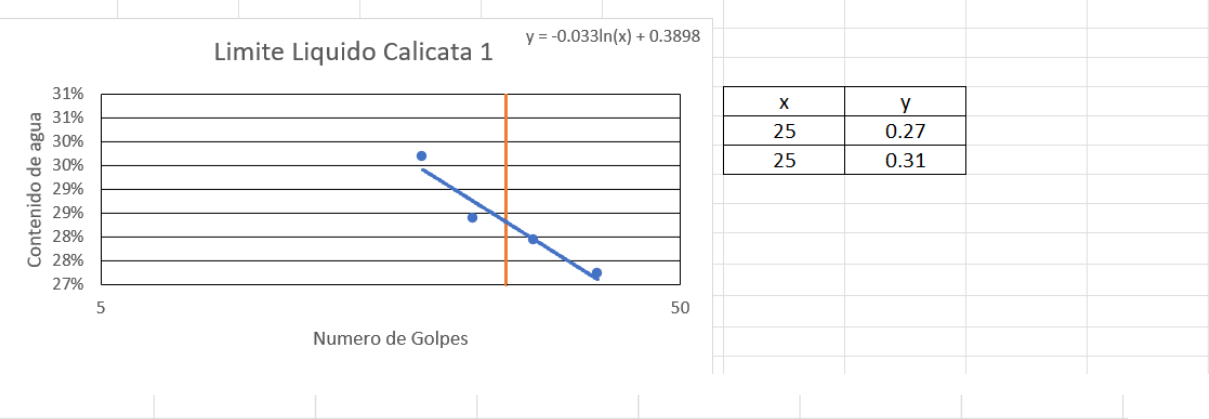


Nota. Fuente: Elaboración Propia.

Anexos 7

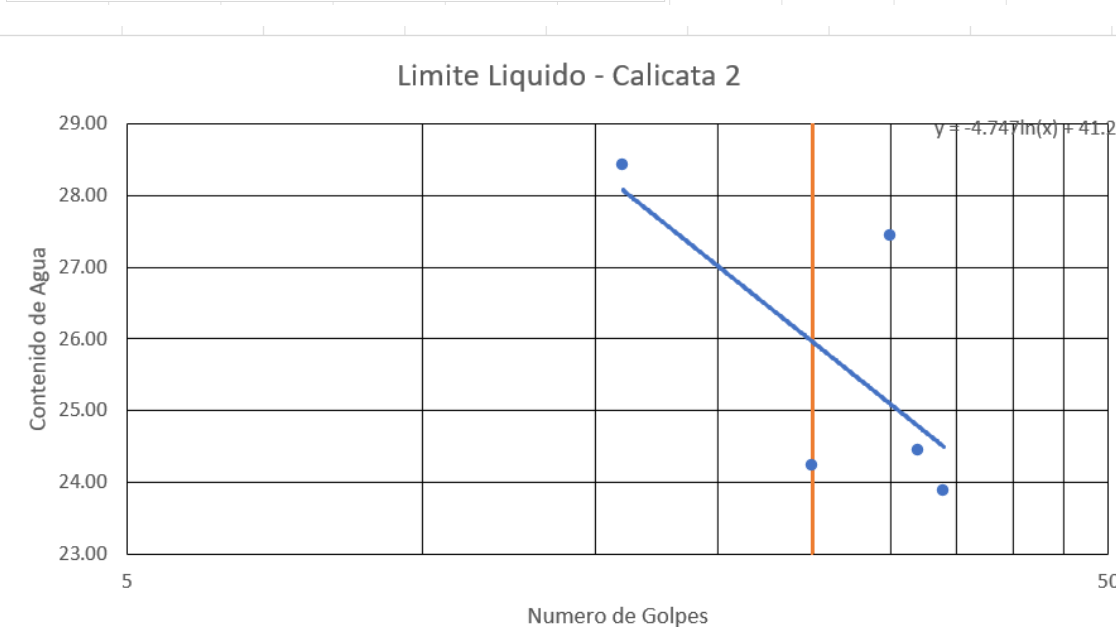
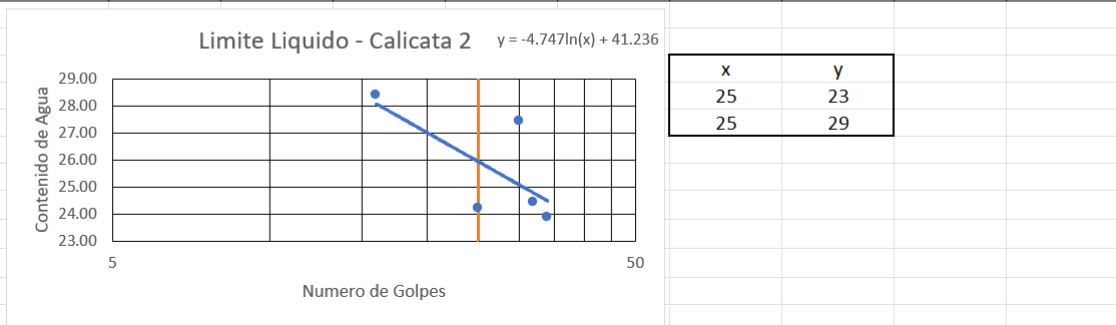
Calculo del ensayo en limite líquido y limite plástico para la calicata 1 y 2

CASA GRANDE - LIMITE LIQUIDO									
Numero de golpes	Peso del suelo humedo + capsula (g)	Peso del suelo seco + capsula (g)	Peso del agua (g)	Peso de la capsula (g)	Peso del suelo seco (g)	Contenido del agua (%)	Promedio de contenido de agua (%)	Promedio de golpes	Limite Liquido
36	29.13	26.6	2.53	17.31	9.29	27%	28%	26%	28.23
28	28.51	26.15	2.36	17.7	8.45	28%			
22	28.97	26.44	2.53	17.53	8.91	28%			
18	30.07	27.18	2.89	17.44	9.74	30%			



CARTA DE PLASTICIDAD MEJORADA									
Peso del suelo humedo + capsula (g)	Peso del suelo seco + capsula (g)	Peso del agua (g)	Peso de la capsula (g)	Peso del suelo seco (g)	Contenido del agua (%)	Limite plastico (%)	Indice plastico (%)	Limite Liquido (%)	Indice de liquidez (%)
19.73	19.39	0.34	17.34	2.05	16.59	23.21	5.02	28.23	43.96
19.67	19.38	0.29	17.28	2.1	13.81				
19.52	19.01	0.51	17.27	1.74	29.31				
19.81	19.22	0.59	17.44	1.78	33.15				

CASA GRANDE - LIMITE LIQUIDO									
Numero de golpes	Peso del suelo humedo + capsula (g)	Peso del suelo seco + capsula (g)	Peso del agua (g)	Peso de la capsula (g)	Peso del suelo seco (g)	Contenido del agua (%)	Promedio de contenido de agua (%)	Promedio de golpes	Limite Liquido (%)
16	23.46	22.15	1.31	17.54	4.61	28.42	25.24	26.75	25.52
34	23.29	22.17	1.12	17.48	4.69	23.88			
25	22.18	21.23	0.95	17.31	3.92	24.23			
32	25.37	23.83	1.54	17.53	6.3	24.44			
30	25.72	23.94	1.78	17.45	6.49	27.43			

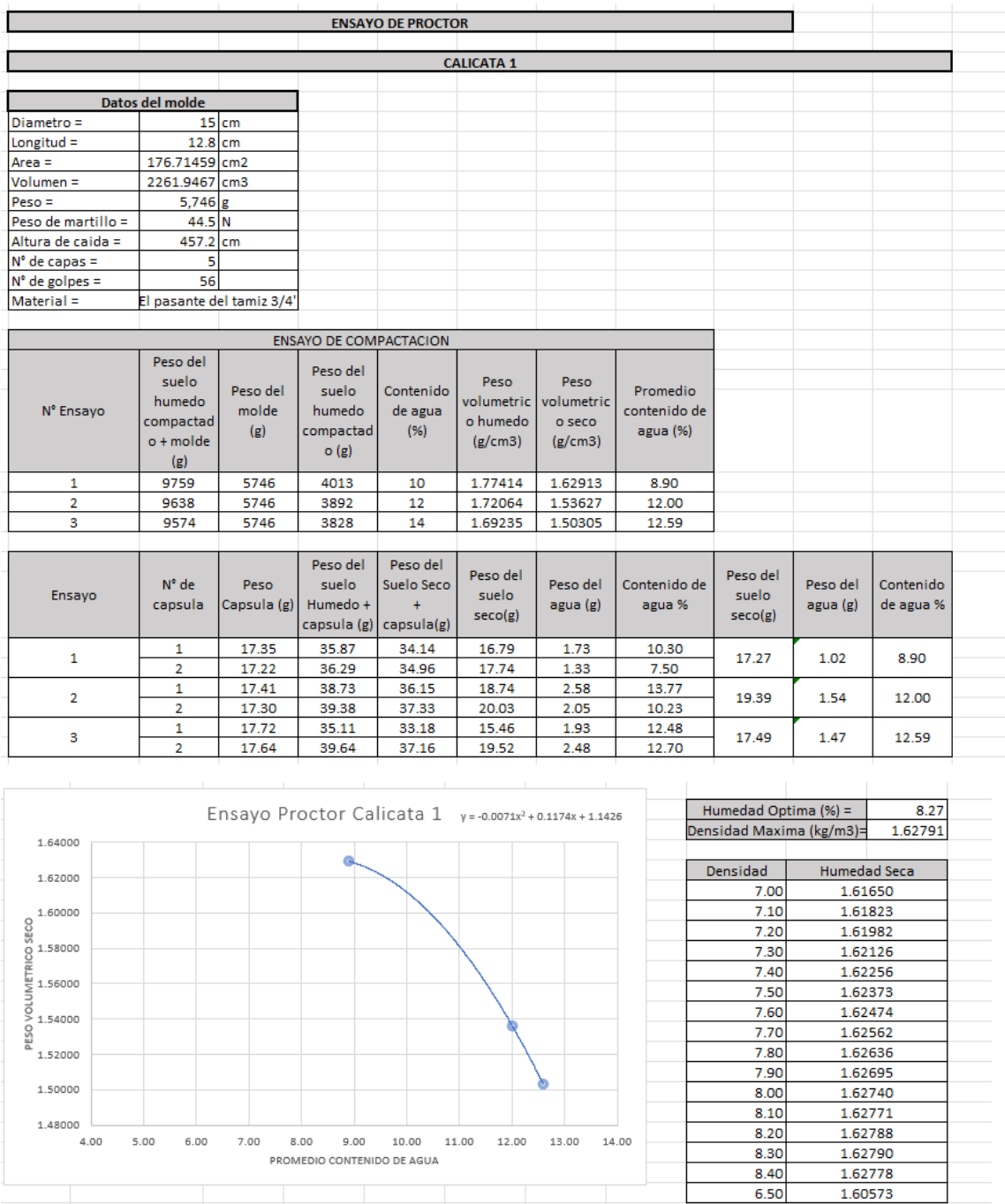


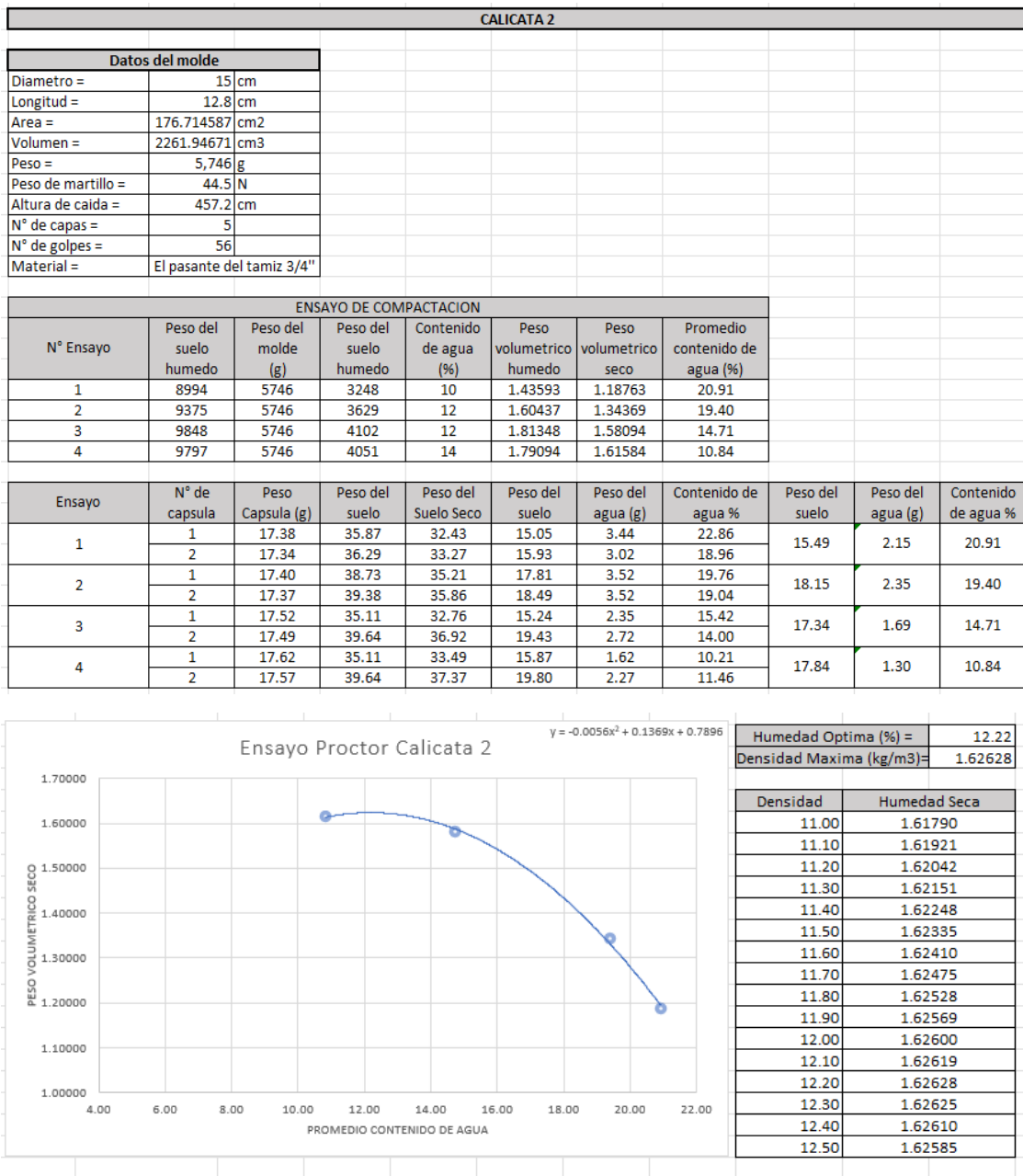
CARTA DE PLASTICIDAD MEJORADA									
Peso del suelo humedo + capsula (g)	Peso del suelo seco + capsula (g)	Peso del agua (g)	Peso de la capsula (g)	Peso del suelo seco (g)	Contenido del agua (%)	Limite plastico (%)	Indice plastico (%)	Limite Liquido (%)	Indice de liquidez (%)
19.26	18.97	0.29	17.52	1.45	20.00	21.31	4.21	25.52	50.37
19.61	19.14	0.47	17.4	1.74	27.01				
19.82	19.38	0.44	17.31	2.07	21.26				
19.49	19.21	0.28	17.56	1.65	16.97				
19.53	19.26	0.27	17.44	1.82	14.84				

Nota. Fuente: Elaboración Propia.

Anexos 8

Calculo del Ensayo de Proctor Modificado para calicata 1 y 2



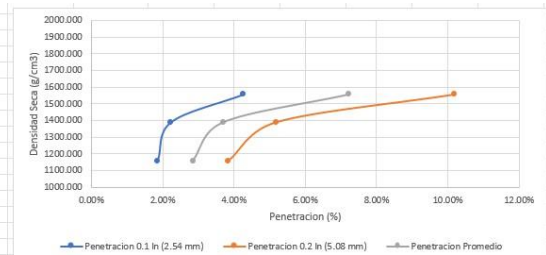
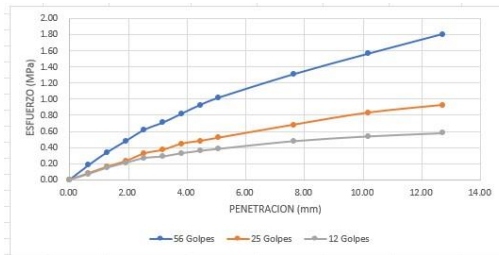


Nota. Fuente: Elaboración Propia.

Anexos 9

Calculo de Ensayo CBR para ambas calicatas

ENSAYO CBR														
DATOS MOLDE 1				DATOS MOLDE 2				DATOS MOLDE 3						
Diametro:	152	15.2		Diametro:	152	15.2		Diametro:	152	15.2				
	mm	cm			mm	cm			mm	cm				
Altura:	176	17.6		Altura	176	17.6		Altura	176	17.6				
	mm	cm			mm	cm			mm	cm				
Peso:	6325	6.325		Peso:	6854	6.854		Peso:	6935	6.935				
	g	kg			g	kg			g	kg				
Volumen:	3193667.69	3193.67		Volumen:	3193667.69	3193.67		Volumen:	3193667.69	3193.67				
	mm^3	cm^3			mm^3	cm^3			mm^3	cm^3				
Compactacion CBR			1	2		3								
N de capas			5	5		5								
N de golpes por capa			56	56	25	25	12	12						
Peso del molde (g)			6325	6325	6854	6854	6935	6935						
Peso humedo + molde (g)			11873	11472	11376	11713	10867	10942						
Peso del suelo humedo (g)			5548	5147	4522	4859	3932	4007						
Volumen del molde (cm^3)			3193.67	3193.67	3193.67	3193.67	3193.67	3193.67						
Densidad humeda (g/cm^3)			1.74	1.61	1.42	1.52	1.23	1.25						
% humedad optima			8.10	7.18	6.28	5.22	8.45	6.38						
Densidad seca (kg/cm^3)			1.607	1.504	1.332	1.446	1.135	1.179						
Peso de la capsula (g)			17.44	17.36	17.37	17.48	17.51	17.43						
Peso de la capsula +muestra humeda (g)			44.67	46.78	43.61	45.11	43.94	48.45						
Peso de la capsula +muestra seca (g)			42.63	44.81	42.06	43.74	41.88	46.59						
Peso del agua (g)			2.04	1.97	1.55	1.37	2.06	1.86						
Peso de la muestra seca (g)			25.19	27.45	24.69	26.26	24.37	29.16						
Contenido de humedad %			8.10	7.18	6.28	5.22	8.45	6.38						
HINCHAMIENTO														
TIEMPO		MOLDE 1			MOLDE 2			MOLDE 3						
ACUMULADO		LECTURA	HINCHAMIENTO		LECTURA	HINCHAMIENTO		LECTURA	HINCHAMIENTO					
(Hs)	(Días)	DEFORM (in)	(mm)	(%)	DEFORM (in)	(mm)	(%)	DEFORM (in)	(mm)	(%)				
0	0	0	0.0000	0.00	0	0.0000	0.00	0	0.0000	0.00				
24	1	0.011	0.2794	0.16	0.007	0.1778	0.10	0.008	0.2032	0.12				
48	2	0.013	0.3302	0.19	0.009	0.2286	0.13	0.011	0.2794	0.16				
72	3	0.01	0.2540	0.14	0.01	0.2540	0.14	0.006	0.1524	0.09				
96	4	0.012	0.3048	0.17	0.012	0.3048	0.17	0.009	0.2286	0.13				
TOTAL =				0.66	TOTAL =				0.55	TOTAL =		0.49		
Diametro del piston		2	In											
		50.8	mm											
CBR 1					CBR 2					CBR 3				
PENETRACI N (mm)	PENETRACION (pulg)	CARGA (N)	ESFUERZO (MPa)	ESFUERZO (PSI)	PENETRACI N (mm)	PENETRACION N (pulg)	CARGA (N)	ESFUERZO (MPa)	ESFUERZO (PSI)	PENETRACI N (mm)	PENETRACION N (pulg)	CARGA (N)	ESFUERZO (MPa)	ESFUERZO (PSI)
0.00	0.000	0	0.00	0.00	0.00	0.000	0	0.00	0.00	0.00	0.000	0	0.00	0.00
0.64	0.025	360	0.18	25.76	0.64	0.025	160	0.08	11.45	0.64	0.025	140	0.07	10.02
1.27	0.050	660	0.34	48.66	1.27	0.050	320	0.16	22.90	1.27	0.050	300	0.15	21.47
1.91	0.075	960	0.48	68.69	1.91	0.075	460	0.23	32.92	1.91	0.075	420	0.21	30.05
2.54	0.100	1240	0.62	88.73	2.54	0.100	650	0.32	46.51	2.54	0.100	540	0.27	38.64
3.18	0.125	1420	0.71	101.61	3.18	0.125	740	0.37	52.95	3.18	0.125	580	0.29	41.50
3.81	0.150	1640	0.82	117.35	3.81	0.150	890	0.44	63.66	3.81	0.150	660	0.33	47.23
4.45	0.175	1860	0.93	133.09	4.45	0.175	960	0.48	68.69	4.45	0.175	720	0.36	51.52
5.08	0.200	2040	1.02	145.37	5.08	0.200	1040	0.52	74.42	5.08	0.200	770	0.38	55.10
7.62	0.300	2620	1.31	187.48	7.62	0.300	1360	0.68	97.32	7.62	0.300	960	0.48	68.69
10.16	0.400	3130	1.56	223.37	10.16	0.400	1660	0.83	118.78	10.16	0.400	1080	0.54	77.28
12.70	0.500	3620	1.81	259.03	12.70	0.500	1950	0.92	132.38	12.70	0.500	1160	0.58	83.01
CARGAS ESTANDAR														
mm	In	MPa	Psi											
2.54	1	6.9	1000											
5.08	2	10	1500											
PENETRACI ON	ESFUERZO (MPa)	% CBR	ESFUERZO (PSI)	% CBR	PENETRACI ON	ESFUERZO (MPa)	% CBR	ESFUERZO (PSI)	% CBR	PENETRACI ON	ESFUERZO (MPa)	% CBR	ESFUERZO (PSI)	% CBR
0.10	0.618	8.961	88.730	8.873	0.10	0.324	4.697	46.511	4.651	0.10	0.269	3.902	38.640	3.864
0.20	1.017	10.172	145.974	9.732	0.20	0.519	5.186	74.418	4.961	0.20	0.384	3.839	55.098	3.673
10.172				9.732	5.186				4.961	3.902				3.864
GRAFICA CBR					CALCULO DE CBR AL 100% Y 95%									
Densidad seca (kg/cm^3)	1.555	1.389	1.157		Molde (#Golpes)		12	25	56					
Densidad seca maxima(kg/cm^3)	1.555				Densidad Seca (g/cm3)		1157.332	1389.148	1555.376					
CBR	10.17	5.19	3.90		Penetracion 0.1 In (2.54 mm)		1.86%	2.24%	4.27%					
CBR 100	9.25				Penetracion 0.2 In (5.08 mm)		3.84%	5.19%	10.17%					
CBR 95	8.09				Penetracion Promedio		2.85%	3.71%	7.22%					
										CBR 95% GRAFICA				
										Densidad seca maxima(kg/cm^3)				
										1525.462				
										CBR 95				
										6.31				



Nota. Fuente: Elaboración Propia.

Anexos 10

Diseño de las cunetas

DISEÑO DE CUNETAS

Datos	
T =	100 años
t =	30 min
I =	2.34 mm/h
Longitud T =	1907.54 m
Ancho calza=	3 m

1.- Cálculo de intensidad máxima de precipitación

$I_{TR} = 201.93 * T^{0.1845} * t^{-0.4926}$	
ITR =	88.424

2.- Coeficiente de escorrentía

PASTOS VEGETACION LIGERA	IMPERMEABLE	0.65	0.60	0.55	0.50	0.45
	SEMIPERMEABLE	0.55	0.50	0.45	0.40	0.35
	PERMEABLE	0.35	0.30	0.25	0.20	0.15
Cescurrent=	0.4					

3.- Cálculo del Area Total

$A_{total} = \text{Longitud del tramo} * \text{ancho de calzada}$	
Atotal =	5722.62 m²
Atotal =	0.572262 Ha

4.- Cálculo de Caudal de Diseño

$Q_{DISEÑO} = \frac{C * I * A}{360}$	
Qdiseño =	0.00148788 m³/s

5.- Cálculo de caudal, Metodo Racional

Carriz Izquierdo		Carril derecho		Caudal total de ambos carriles
AREA (km²)	Q (m³/s)	AREA (km²)	Q (m³/s)	Q (m³/s)
0.00572262	0.00148788	0.00572262	0.00148788	0.002975762

6.- Calculo de la secciones de la cuneta

Datos	
y =	0.25 m
z =	1 m
Cota mayor=	2732.459 m.s.n.m
Cota menor=	2705.696 m.s.n.m
Longitud =	1907.54 m
n =	0.0015

6.1.- Area de la cuneta

$A = z * y^2$	
A =	0.125 m ²

6.4.- Pendiente

$S = \frac{Cota\ mayor - Cota\ menor}{L}$	
S =	1.40 %
S =	0.0140301 m/m

6.2.- Perimetro Mojado

$Pm = 2y * \sqrt{1 + z^2}$	
Pm =	0.71 m

6.- Calculo de caudal

$Q = \frac{1}{n} * \left(\frac{A^{\frac{5}{3}}}{P^{\frac{2}{3}}} \right) * S^{\frac{1}{2}}$	
Q =	0.0031091 m ³ /s
SI CUMPLE	

6.3.- Radio Hidraulico

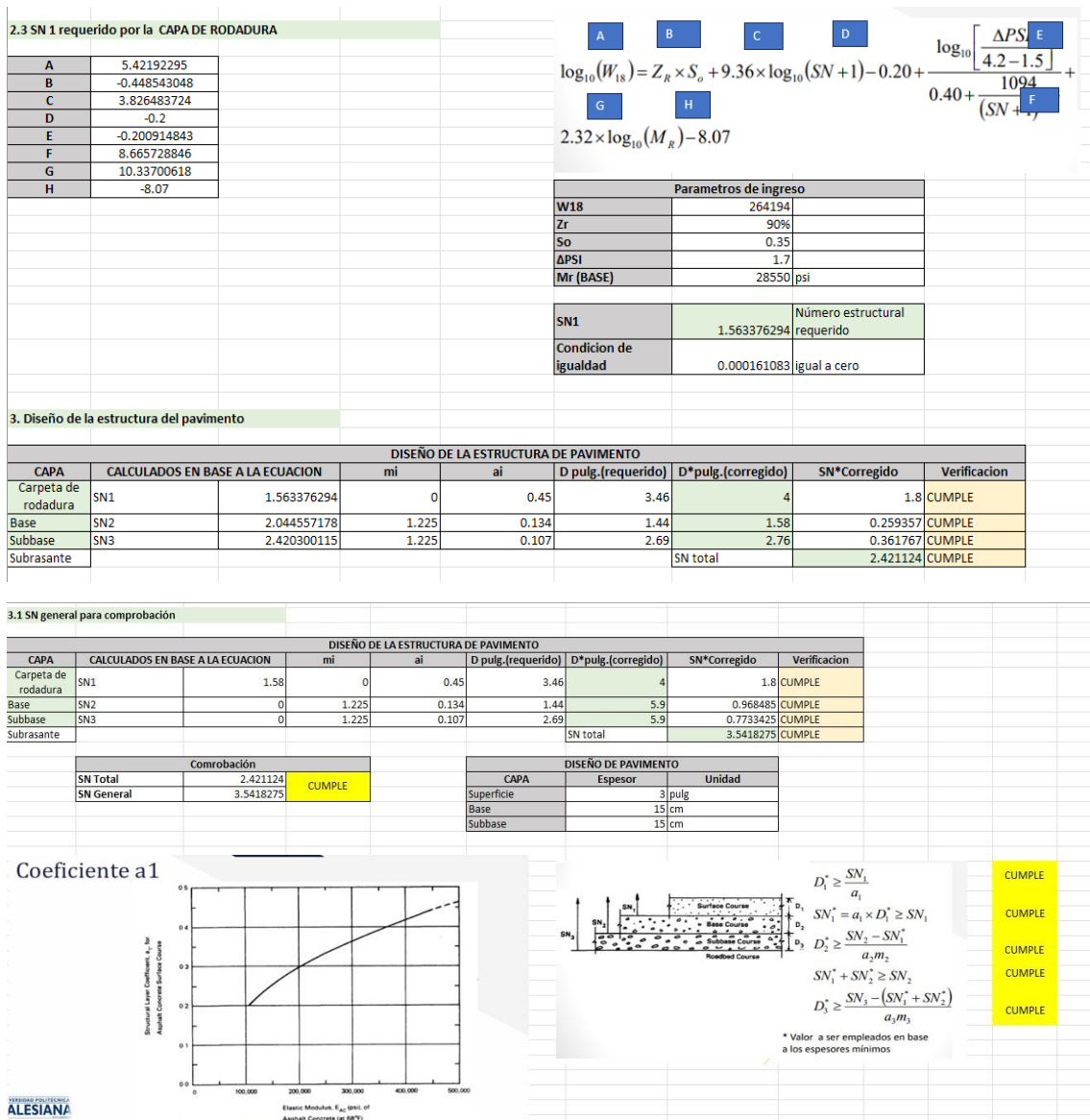
$Rh = \frac{z * y}{2 * \sqrt{1 + z^2}}$	
Rh =	0.088 m

Nota. Fuente: Elaboración Propia.

Anexos 11

Diseño de Pavimento Flexible

TIPO	FRECUENCIA	FACTOR CAMION	TASA DE CRECIMIENTO	FACTOR DE CRECIMIENTO	N. ESALs p/diseño	N. ESALs corregido p/diseño
Autos	736	0.001	0.0279	11.511	1.216	1.37
2D	8	0.097	0.0158	10.826	1.534	1.729
3D	3	3.554	0.0158	10.826	7.022	7.912
V25	47	3.554	0.0158	10.826	224.705	253.183
					234.477	264.194



Nota. Fuente: Elaboración Propia.

Anexos 12

Señalización Vertical Utilizada

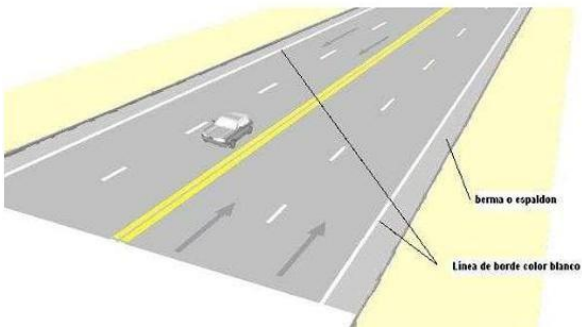
SEÑALIZACION VERTICAL			
Detalle	Gráfico	Detalle	Gráfico
Disminuya la velocidad por el cambio de vía o por condiciones de riesgo		Posibilidad de cruce de animales. Reducir la velocidad t conducir con precaución.	

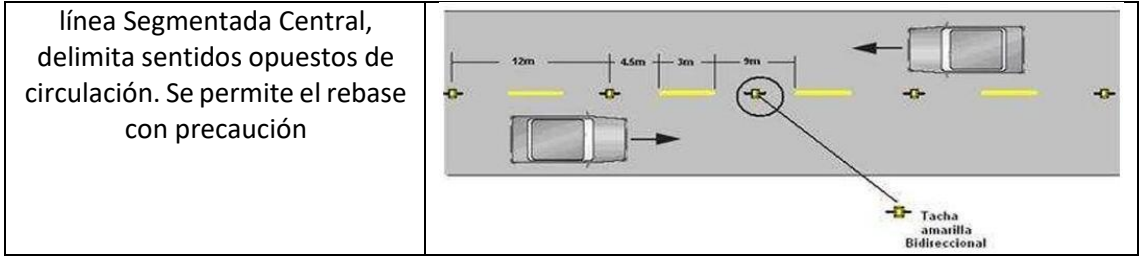
El tránsito de vehículos se realiza en doble sentido. Conducir con precaución.		En este tramo de la vía no rebasar a otros vehículos.	
No exceder el límite de velocidad indicado (En nuestro caso los límites son 20 y 40 km/h)		Curva cerrada a la izquierda.	
Curva cerrada a la derecha.		Detenerse completamente antes de la línea de PARE.	
Curva y Contracurva Cerrada.			

Nota. Fuente: Elaboración Propia.

Anexos 13

Señalización Horizontal utilizada

Señalización Horizontal	
Detalle	Gráfico
Línea de borde blanca, delimita el borde derecho de la calzada. No debe ser cruzada solo en situaciones de emergencia	



Nota. Fuente: Elaboración Propia.

Anexos 14

Movimiento de Tierras

TABLA DE MOVIMIENTO DE TIERRAS						
PROGRESIVA	Á.C. (m ²)	Á.R. (m ²)	V.C. (m ³)	V.R. (m ³)	V.C.A. (m ³)	V.R.A. (m ³)
0+000	2.553	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0+020	6.674	0.000	92.270	0.000	92.270	0.000
0+025	7.787	0.000	36.230	0.000	128.501	0.000
0+030	7.926	0.000	39.368	0.000	167.868	0.000
0+035	6.246	0.000	35.506	0.000	203.375	0.000
0+040	4.601	0.000	27.143	0.000	230.517	0.000
0+060	0.293	1.331	48.931	13.311	279.448	13.311
0+080	0.488	3.823	7.805	51.545	287.253	64.856
0+100	0.078	3.839	5.655	76.620	292.908	141.476
0+115	0.931	0.001	7.561	28.800	300.469	170.276
0+120	3.259	0.000	10.398	0.003	310.866	170.279
0+125	5.486	0.000	21.733	0.000	332.600	170.279
0+130	7.720	0.000	32.814	0.000	365.414	170.279
0+140	12.038	0.000	98.559	0.000	463.974	170.279
0+160	15.929	0.000	279.665	0.000	743.639	170.279
0+180	14.512	0.000	304.410	0.000	1048.048	170.279
0+200	10.941	0.000	254.535	0.000	1302.584	170.279
0+220	5.311	0.000	162.529	0.000	1465.112	170.279
0+240	0.850	0.234	61.616	2.339	1526.729	172.618
0+250	0.000	1.225	4.259	7.305	1530.988	179.923

TABLA DE MOVIMIENTO DE TIERRAS						
PROGRESIVA	Á.C. (m ²)	Á.R. (m ²)	V.C. (m ³)	V.R. (m ³)	V.C.A. (m ³)	V.R.A. (m ³)
0+255	0.000	2.128	0.000	8.409	1530.988	188.332
0+260	0.000	2.891	0.000	12.570	1530.988	200.902
0+280	0.000	5.699	0.000	85.898	1530.988	286.800
0+300	0.000	7.441	0.000	131.402	1530.988	418.202
0+320	0.000	7.330	0.000	147.710	1530.988	565.912
0+325	0.000	7.164	0.000	36.235	1530.988	602.147
0+330	0.000	6.906	0.000	35.199	1530.988	637.346
0+335	0.000	6.441	0.000	33.409	1530.988	670.755
0+340	0.000	5.825	0.000	30.665	1530.988	701.420
0+360	0.000	2.966	0.000	87.908	1530.988	789.328
0+380	0.076	0.498	0.763	34.643	1531.751	823.971
0+400	2.002	0.086	20.782	5.839	1552.533	829.810
0+420	2.886	0.710	48.816	8.006	1601.349	837.816
0+425	2.976	1.089	14.102	4.872	1615.451	842.688
0+430	3.503	1.040	15.510	5.756	1630.961	848.443
0+435	4.239	0.621	18.563	4.500	1649.525	852.943
0+440	5.627	0.384	24.106	2.660	1673.631	855.603
0+460	12.409	0.000	180.362	3.843	1853.993	859.446
0+470	14.182	0.000	133.194	0.000	1987.188	859.446
0+475	15.443	0.000	74.358	0.000	2061.546	859.446

TABLA DE MOVIMIENTO DE TIERRAS						
PROGRESIVA	Á.C. (m²)	Á.R. (m²)	V.C. (m³)	V.R. (m³)	V.C.A. (m³)	V.R.A. (m³)
0+480	16.210	0.000	79.237	0.000	2140.783	859.446
0+485	16.967	0.000	82.831	0.000	2223.615	859.446
0+490	18.141	0.000	87.443	0.000	2311.058	859.446
0+500	18.737	0.000	184.307	0.000	2495.364	859.446
0+510	18.577	0.000	186.612	0.000	2681.977	859.446
0+515	17.929	0.000	91.332	0.000	2773.309	859.446
0+520	17.370	0.000	88.216	0.000	2861.525	859.446
0+525	16.710	0.000	85.128	0.000	2946.653	859.446
0+530	16.519	0.000	83.042	0.000	3029.695	859.446
0+535	16.325	0.000	82.231	0.000	3111.926	859.446
0+540	15.494	0.000	79.723	0.000	3191.648	859.446
0+560	11.373	0.000	268.667	0.000	3460.315	859.446
0+580	8.768	0.000	201.407	0.000	3661.722	859.446
0+585	7.490	0.000	40.750	0.000	3702.472	859.446
0+590	5.379	0.237	32.138	0.615	3734.611	860.061
0+595	3.378	0.946	21.750	3.061	3756.361	863.122
0+600	1.999	2.166	13.276	8.028	3769.638	871.150
0+605	1.190	3.489	7.838	14.551	3777.476	885.702
0+610	0.883	4.547	5.084	20.637	3782.560	906.338
0+615	0.803	5.135	4.132	24.833	3786.692	931.171

TABLA DE MOVIMIENTO DE TIERRAS						
PROGRESIVA	Á.C. (m²)	Á.R. (m²)	V.C. (m³)	V.R. (m³)	V.C.A. (m³)	V.R.A. (m³)
0+620	0.754	5.240	3.814	26.596	3790.506	957.767
0+625	0.638	4.812	3.412	25.770	3793.917	983.537
0+630	0.491	4.031	2.773	22.682	3796.690	1006.219
0+635	0.416	3.032	2.235	18.127	3798.926	1024.345
0+640	0.358	1.882	1.916	12.617	3800.841	1036.963
0+645	0.235	0.910	1.479	7.154	3802.320	1044.116
0+660	0.000	1.631	1.763	19.051	3804.084	1063.167
0+680	0.000	3.932	0.000	55.630	3804.084	1118.797
0+700	0.000	4.981	0.000	89.135	3804.084	1207.932
0+720	0.000	3.848	0.000	88.296	3804.084	1296.228
0+730	0.000	3.739	0.000	37.941	3804.084	1334.170
0+735	0.000	7.695	0.000	30.222	3804.084	1364.392
0+740	0.000	11.709	0.000	52.236	3804.084	1416.628
0+745	0.011	12.662	0.023	65.687	3804.107	1482.315
0+750	0.284	7.496	0.657	54.722	3804.764	1537.037
0+755	1.694	1.085	4.818	23.607	3809.582	1560.644
0+760	3.277	0.148	12.800	3.323	3822.382	1563.968
0+765	3.322	0.108	17.288	0.525	3839.670	1564.493
0+770	2.909	0.385	15.934	1.315	3855.604	1565.808
0+775	3.725	0.144	16.669	1.500	3872.274	1567.309

TABLA DE MOVIMIENTO DE TIERRAS						
PROGRESIVA	Á.C. (m²)	Á.R. (m²)	V.C. (m³)	V.R. (m³)	V.C.A. (m³)	V.R.A. (m³)
0+780	3.922	0.008	19.416	0.423	3891.690	1567.732
0+785	3.674	0.000	19.280	0.016	3910.970	1567.748
0+800	4.307	0.000	59.863	0.000	3970.833	1567.748
0+820	5.112	0.000	94.189	0.000	4065.021	1567.748
0+830	6.250	0.000	57.208	0.000	4122.229	1567.748
0+840	6.545	0.000	64.179	0.000	4186.409	1567.748
0+860	7.809	0.000	143.537	0.000	4329.946	1567.748
0+880	4.003	1.229	118.119	12.288	4448.065	1580.036
0+900	3.197	0.247	71.999	14.760	4520.064	1594.796
0+920	0.000	7.334	31.970	75.809	4552.034	1670.605
0+930	0.000	7.741	0.000	74.469	4552.034	1745.075
0+935	0.002	6.642	0.007	33.445	4552.040	1778.520
0+940	0.000	6.725	0.007	30.711	4552.047	1809.230
0+945	0.000	6.941	0.000	31.529	4552.047	1840.760
0+950	0.000	7.875	0.000	34.485	4552.047	1875.245
0+955	0.000	8.879	0.000	39.219	4552.047	1914.464
0+960	0.000	9.624	0.000	43.099	4552.047	1957.563
0+965	0.000	12.078	0.000	51.002	4552.047	2008.564
0+970	0.000	15.135	0.000	65.203	4552.047	2073.767
0+980	0.000	17.342	0.000	160.497	4552.047	2234.264

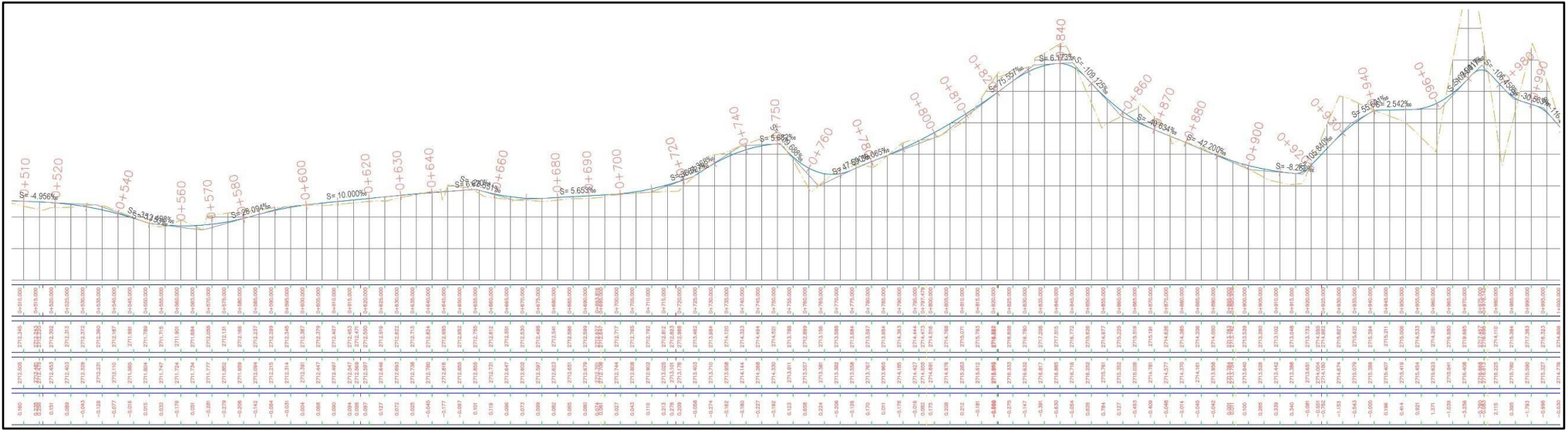
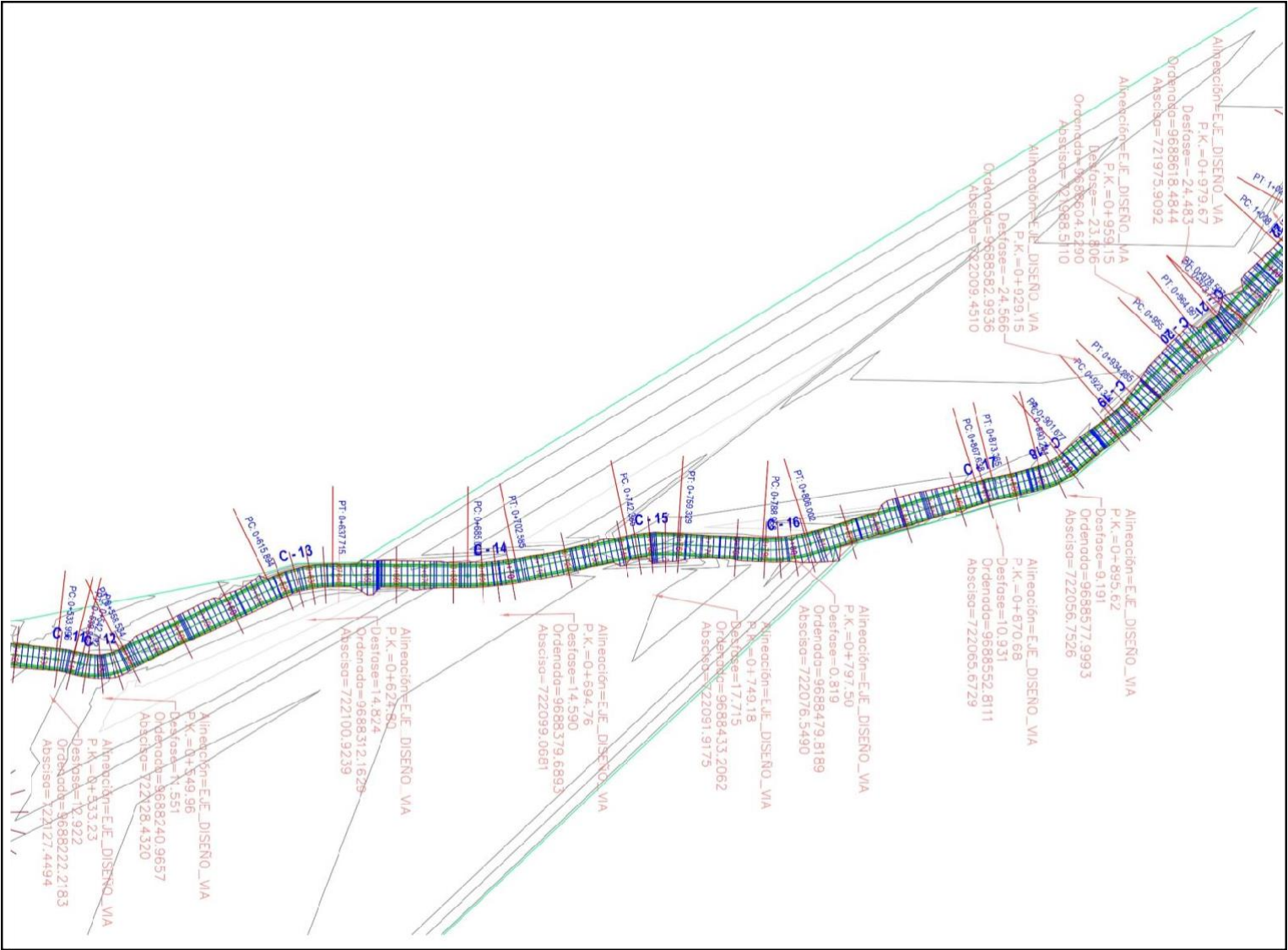
TABLA DE MOVIMIENTO DE TIERRAS						
PROGRESIVA	Á.C. (m²)	Á.R. (m²)	V.C. (m³)	V.R. (m³)	V.C.A. (m³)	V.R.A. (m³)
0+995	0.000	17.226	0.000	259.259	4552.047	2493.5
1+000	0.000	16.337	0.000	81.984	4552.047	2575.5
1+005	0.000	16.817	0.000	80.969	4552.047	2656.4
1+020	0.000	18.837	0.000	266.851	4552.047	2923.3
1+040	0.000	15.359	0.000	341.959	4552.047	3265.2
1+060	0.000	9.201	0.000	245.412	4552.047	3510.6
1+065	0.223	8.049	0.577	42.650	4552.624	3553.3
1+070	1.343	7.107	4.041	37.365	4556.664	3590.7
1+075	1.719	6.566	7.894	33.638	4564.559	3624.3
1+080	0.378	7.122	5.406	33.731	4569.965	3658.0
1+085	0.000	8.347	0.976	38.407	4570.941	3696.4
1+090	0.000	7.493	0.000	39.524	4570.941	3736.0
1+095	0.380	4.910	0.983	30.844	4571.924	3766.8
1+100	3.486	2.986	9.942	19.454	4581.866	3786.3
1+105	7.538	1.694	28.247	11.441	4610.113	3797.7
1+120	1.016	0.748	64.424	18.249	4674.537	3816.0
1+140	2.261	0.118	32.770	8.659	4707.307	3824.6
1+160	5.655	0.000	79.170	1.176	4786.477	3825.8
1+165	6.430	0.000	30.217	0.000	4816.694	3825.8
1+170	7.054	0.000	33.713	0.000	4850.407	3825.8

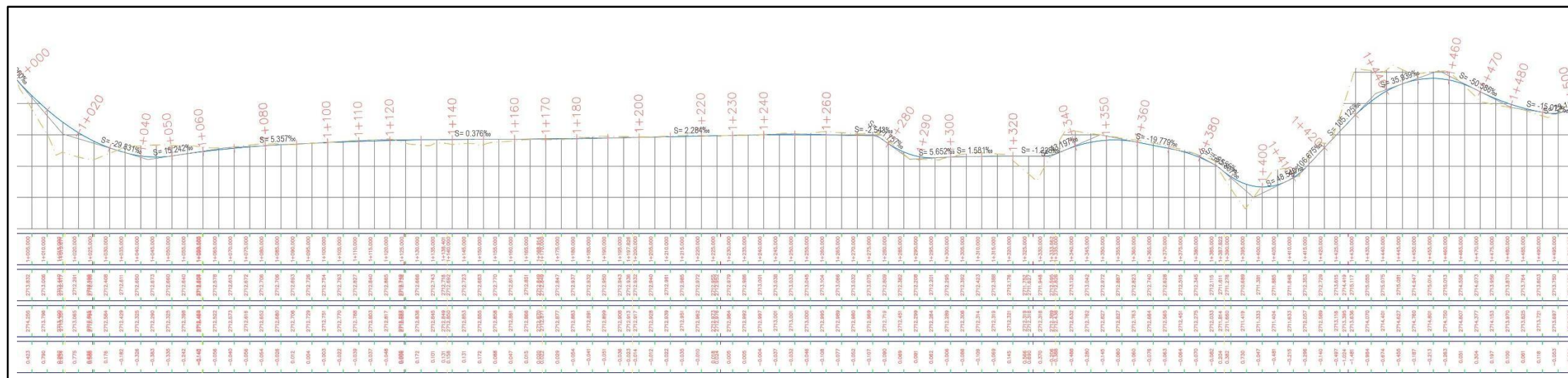
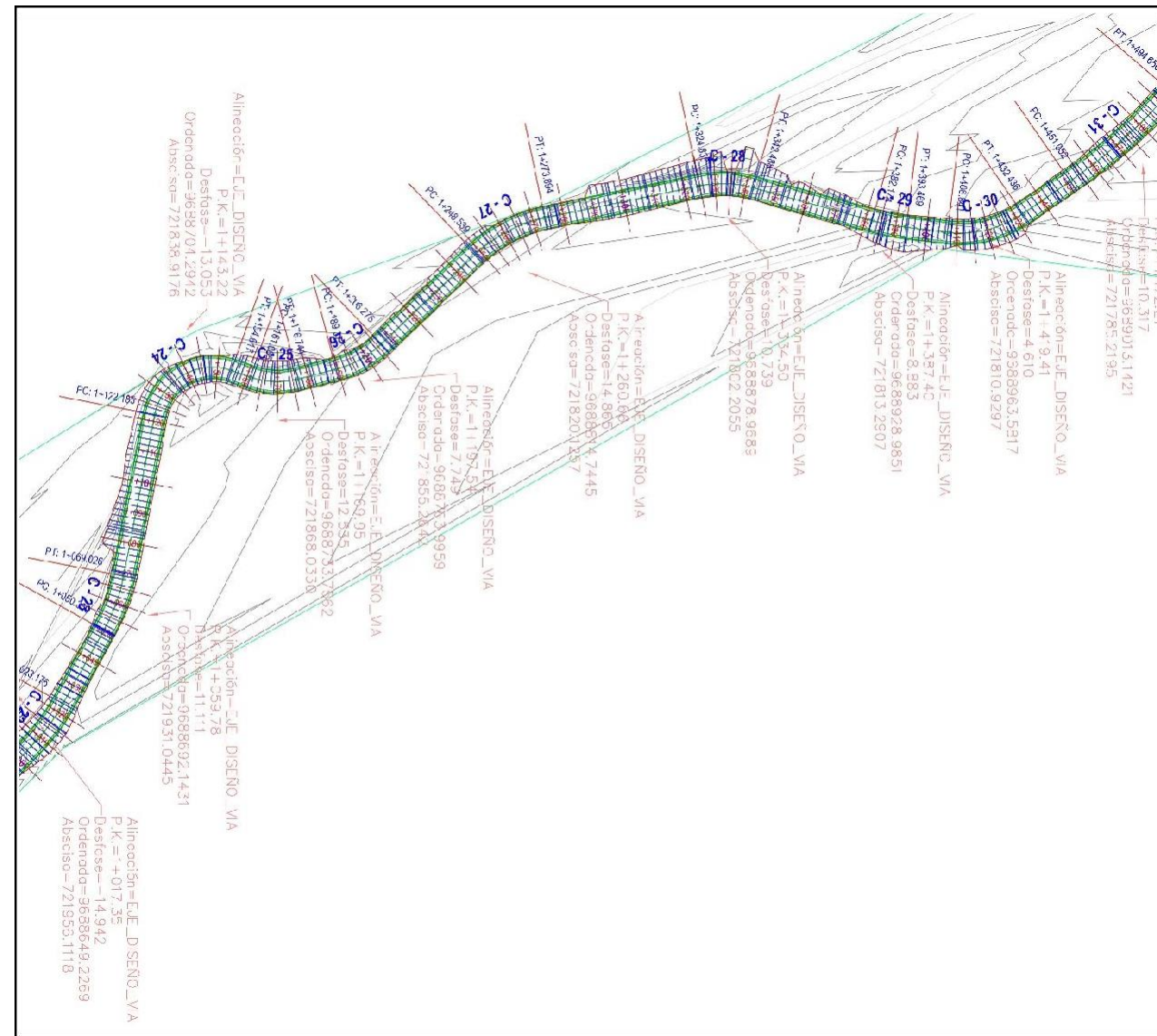
TABLA DE MOVIMIENTO DE TIERRAS						
PROGRESIVA	Á.C. (m²)	Á.R. (m²)	V.C. (m³)	V.R. (m³)	V.C.A. (m³)	V.R.A. (m³)
1+745	5.158	0.003	23.978	0.096	7673.934	4301.500
1+750	6.082	0.000	28.379	0.006	7702.314	4301.507
1+760	6.453	0.000	62.890	0.000	7765.204	4301.507
1+780	6.193	0.003	126.750	0.030	7891.954	4301.537
1+785	5.395	0.002	29.376	0.012	7921.330	4301.548
1+800	3.937	0.007	70.031	0.071	7991.360	4301.619
1+820	4.474	0.002	84.114	0.099	8075.475	4301.718
1+840	4.290	0.118	87.784	1.190	8163.259	4302.908
1+845	5.289	0.035	24.529	0.343	8187.788	4303.251
1+850	6.366	0.006	29.682	0.091	8217.469	4303.342
1+855	7.536	0.000	35.454	0.014	8252.924	4303.355
1+860	8.298	0.000	40.516	0.001	8293.439	4303.356
1+865	7.969	0.000	41.645	0.000	8335.085	4303.356
1+870	9.538	0.000	44.779	0.000	8379.864	4303.356
1+875	11.321	0.000	53.454	0.000	8433.317	4303.356

Nota. Fuente: Elaboración Propia.

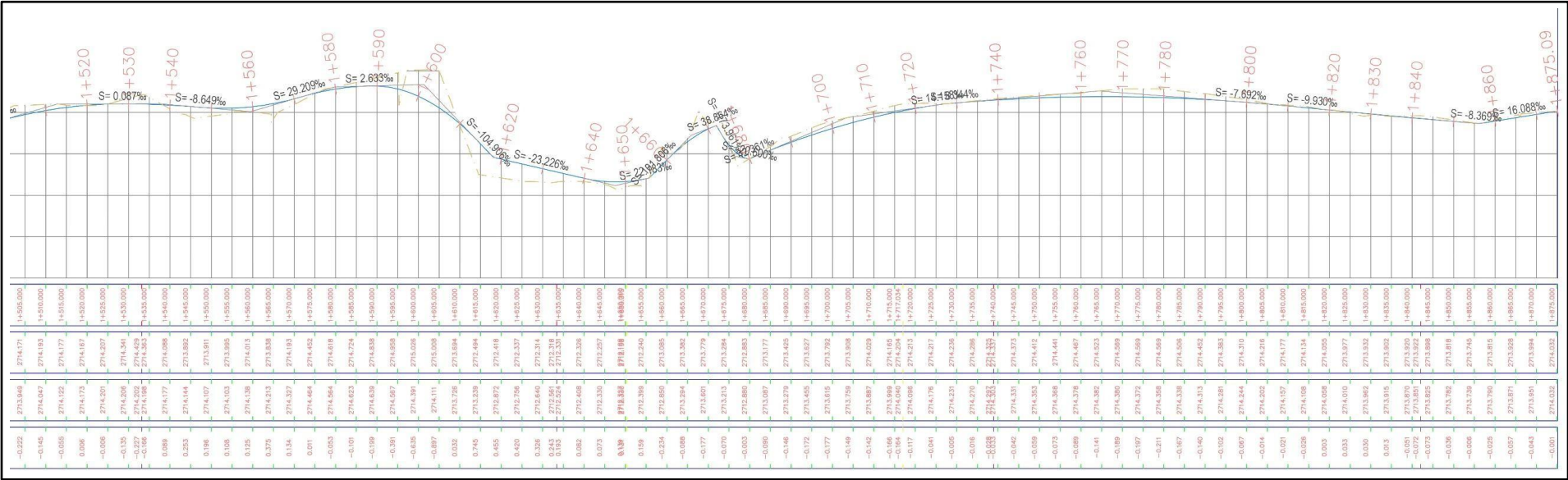
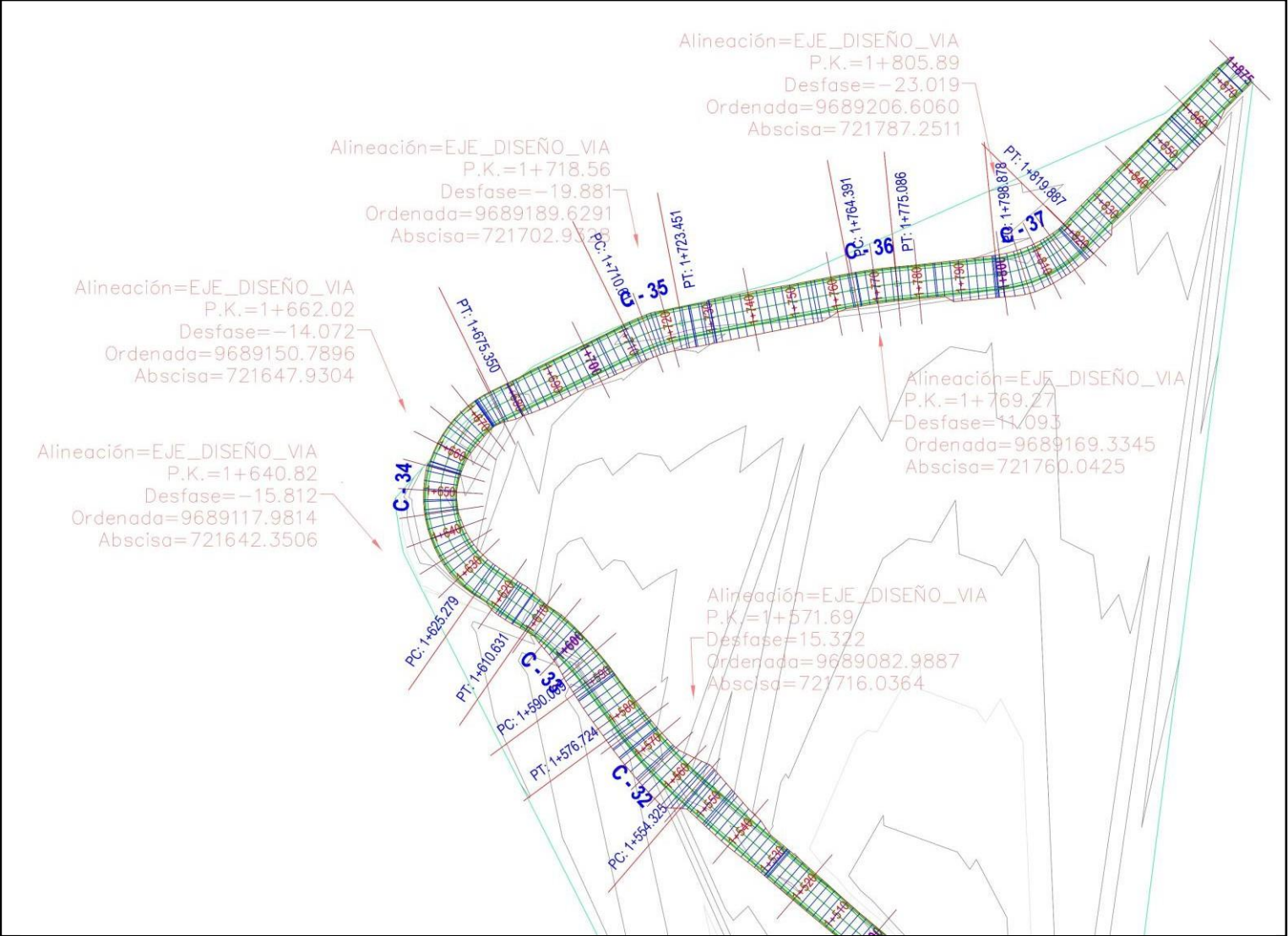
Anexos 15

Planos

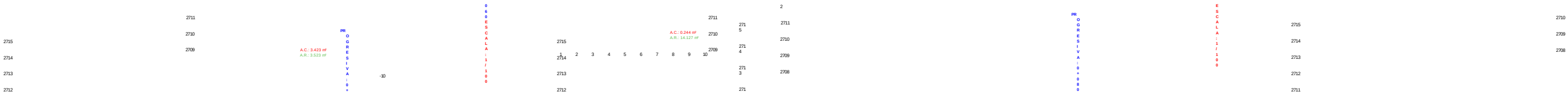
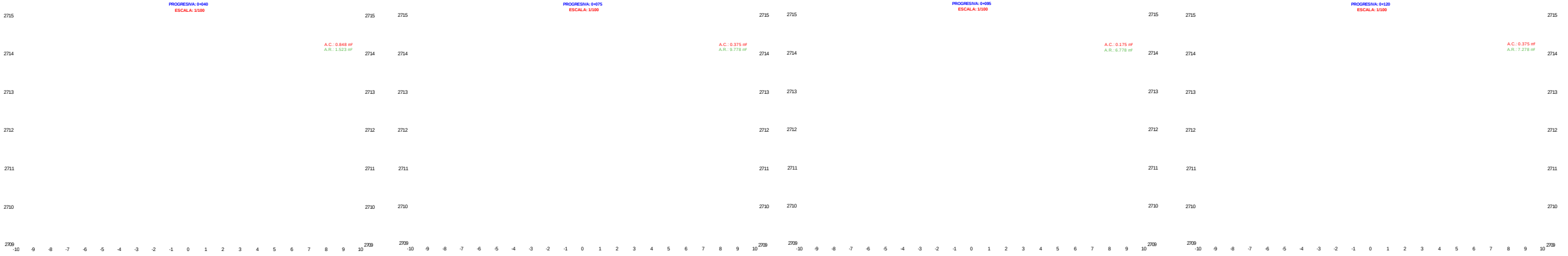
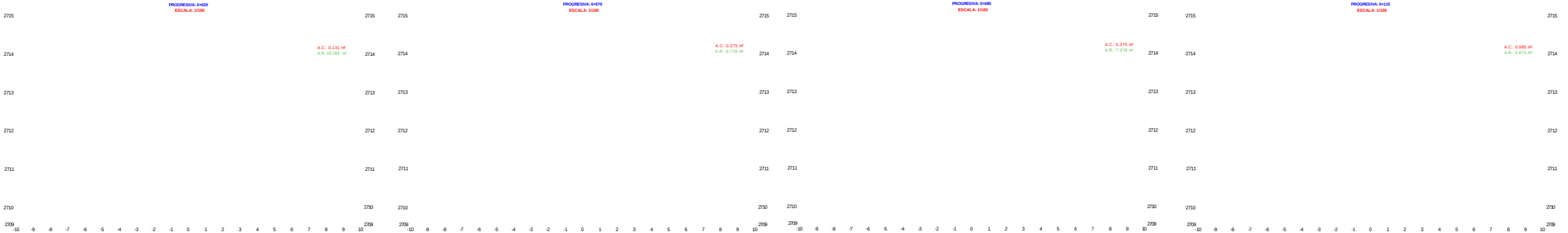
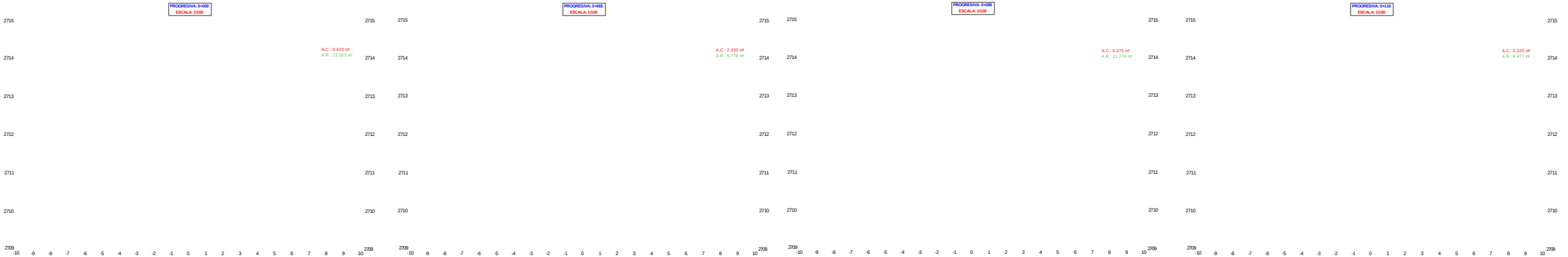


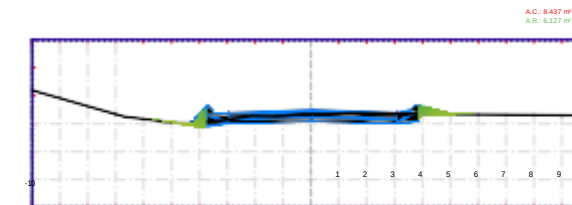
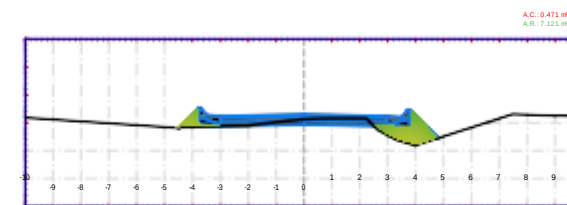
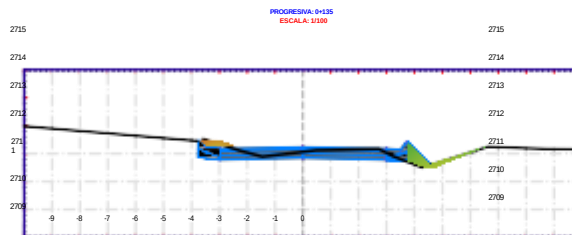
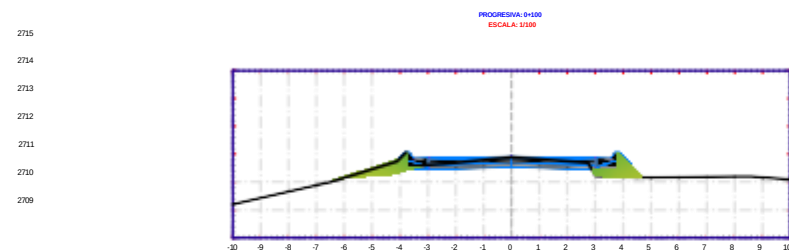


Unidad : Metros	Dibujado	Jorge Córdova, Jaime Zhagñay	Fecha	 UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
			23/11/2025	
	Revisado	Ing. Daniel Cárdenas	12/01/2025	
Escala 1:1	Tema ALINEAMIENTO HORIZONTAL Y PERFIL VERTICAL 1+000 -1+500			Número de Plano P-03



Unidad : Metros	Dibujado	Jorge Córdova, Jaime Zhagñay	Fecha		UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
	Revisado	Ing. Daniel Cárdenas	23/11/2025		
Escala 1:1	Tema ALINEAMIENTO HORIZONTAL Y PERFIL VERTICAL 1+500 -1+907				Número de Plano P-04





Unidad : Metros

Dibujado
Revisado

Jorge Córdova, Jaime Zhagñay
Ing. Daniel Cárdenas

Fecha
23/11/2025
12/01/2025

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

Escala

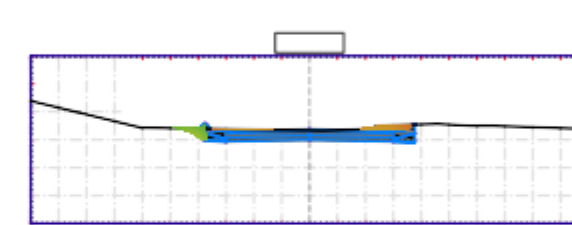
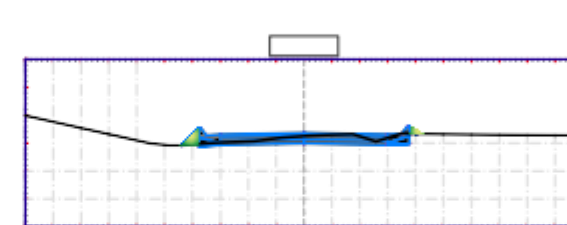
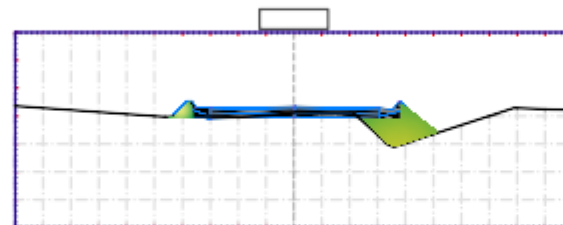
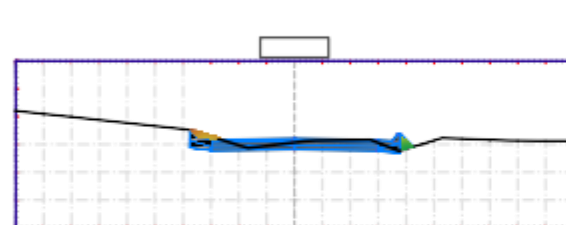
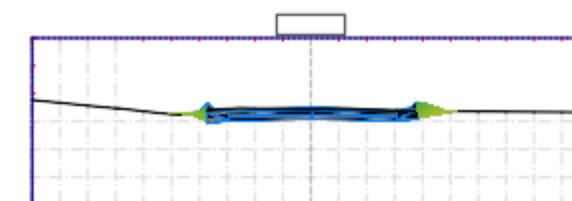
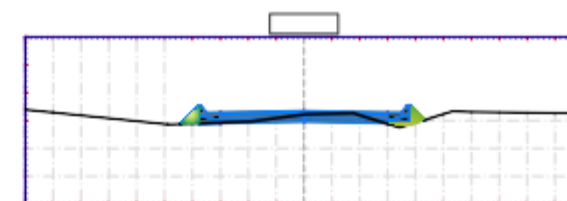
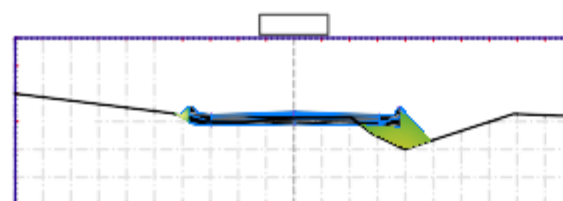
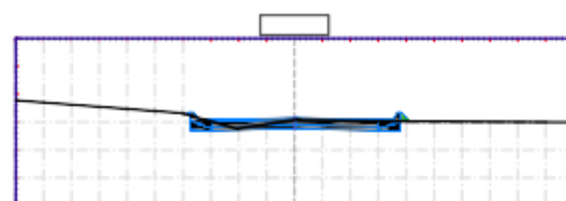
1:1

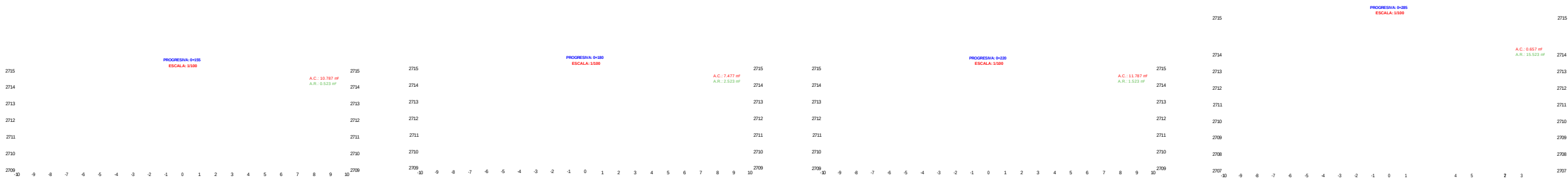
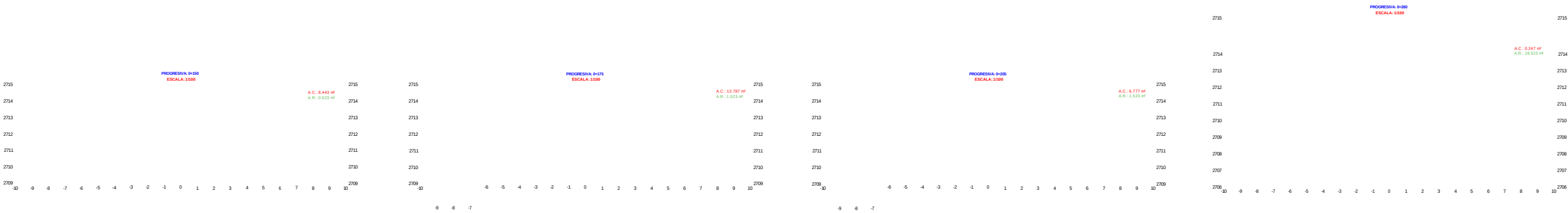
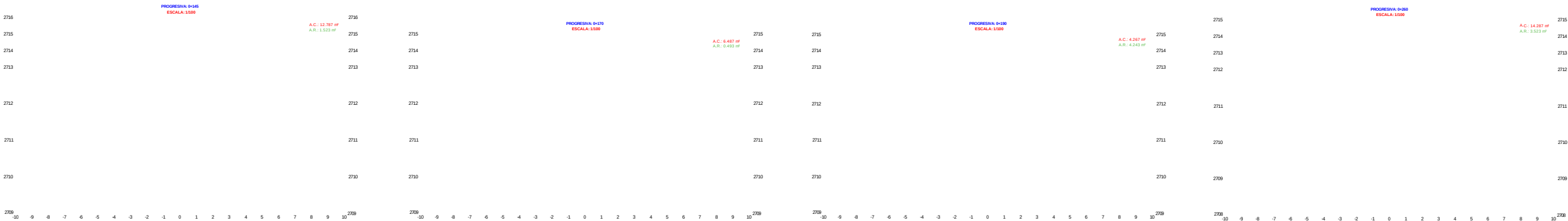
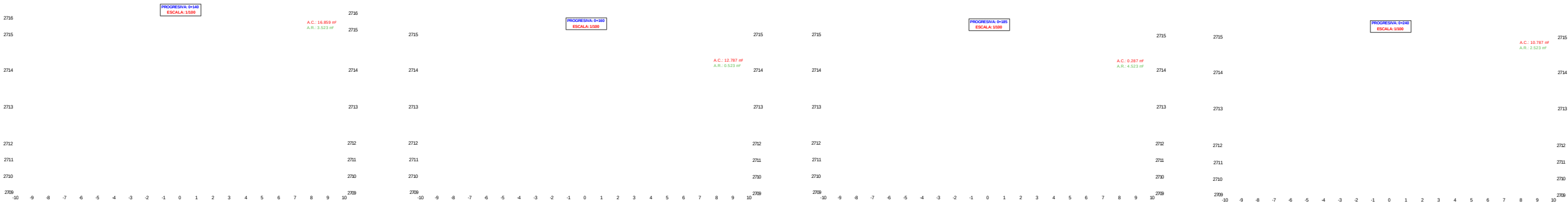
Tema

SECCIONES TRANSVERSALES

Número de Plano

P=05





Unidad : Metros

Dibujado

Revisado

Escala 1:1

Tema

Jorge Córdova, Jaime Zhagñay

Ing. Daniel Cárdenas

Fecha

23/11/2025

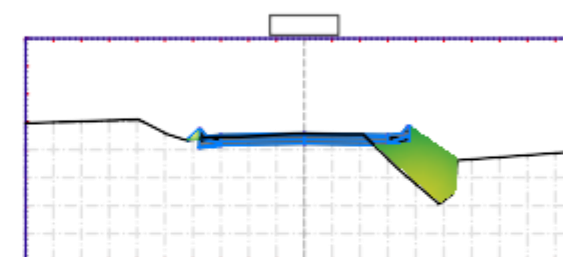
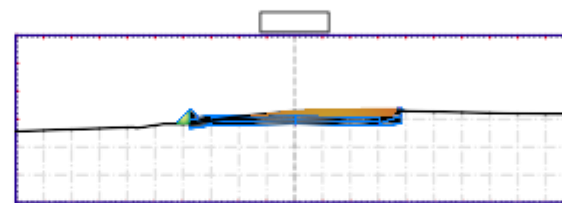
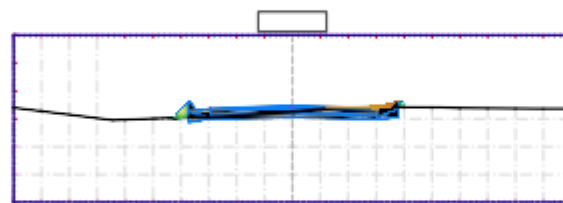
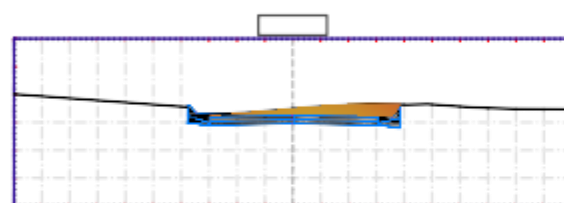
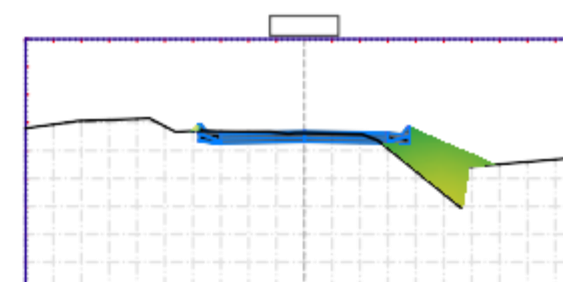
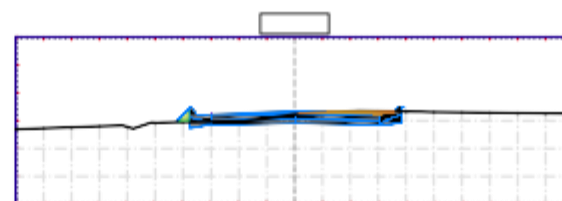
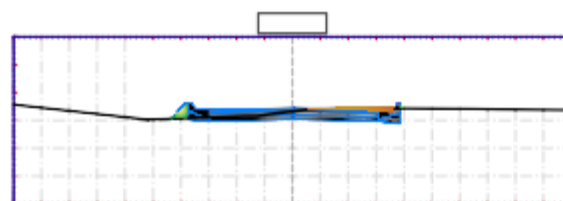
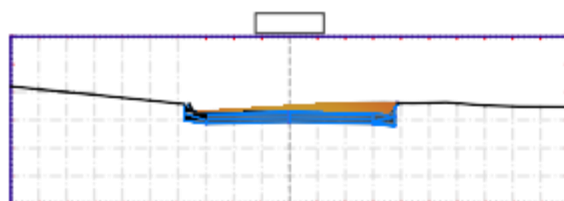
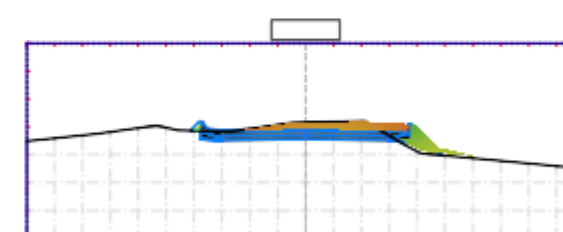
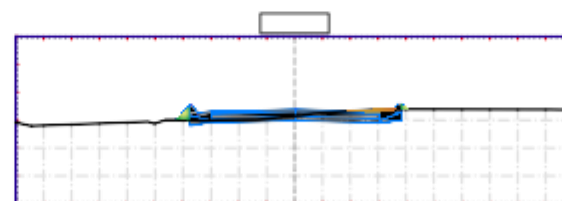
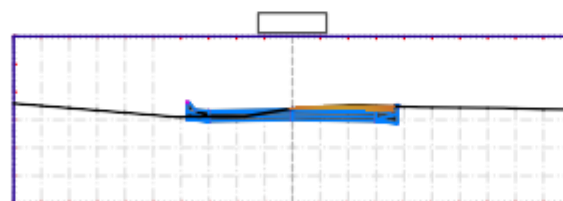
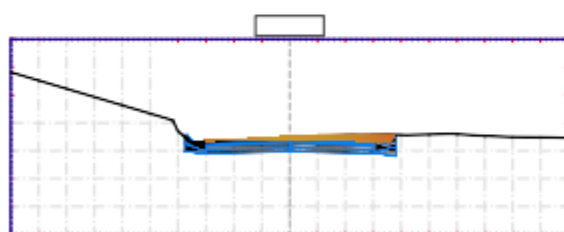
12/01/2025

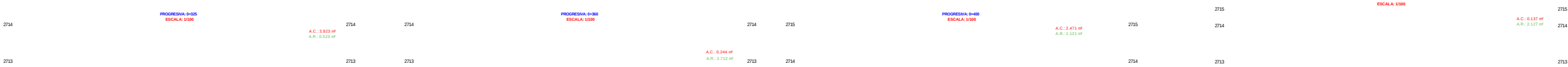
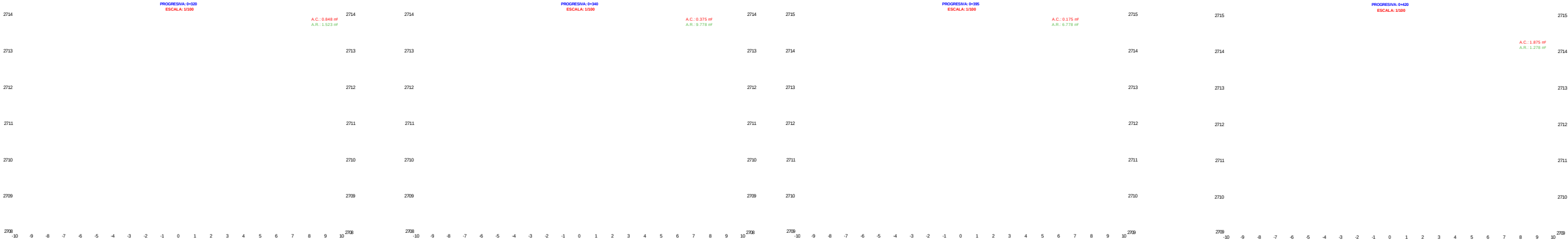
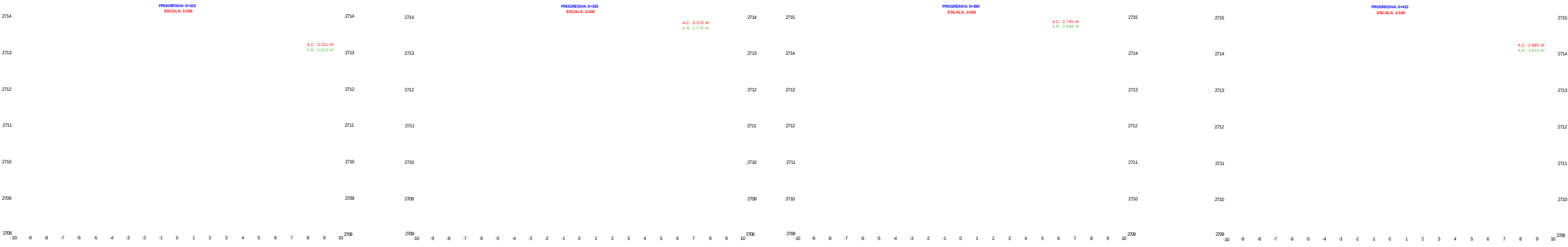
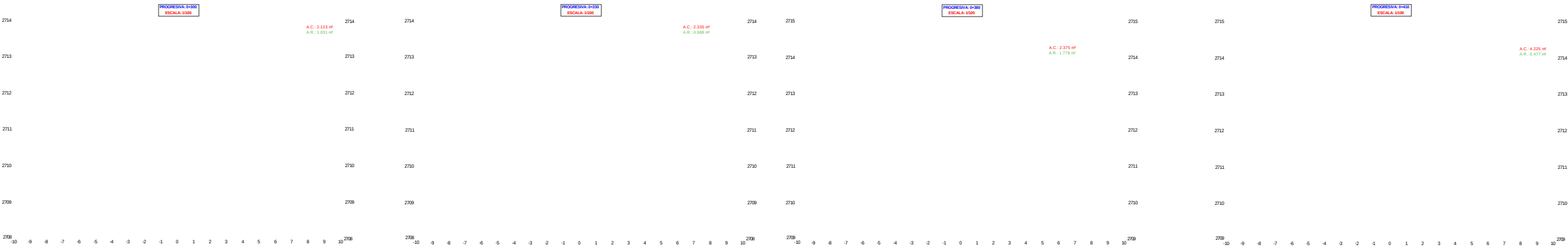
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

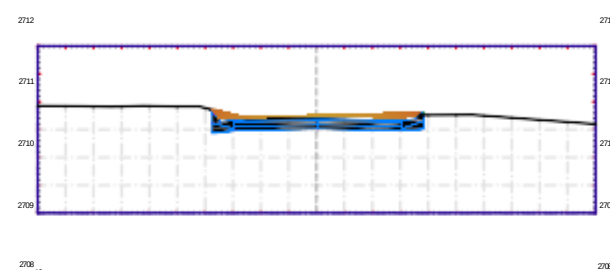
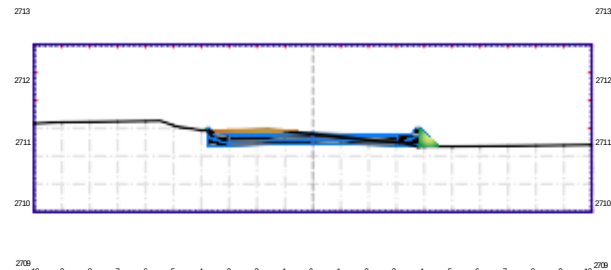
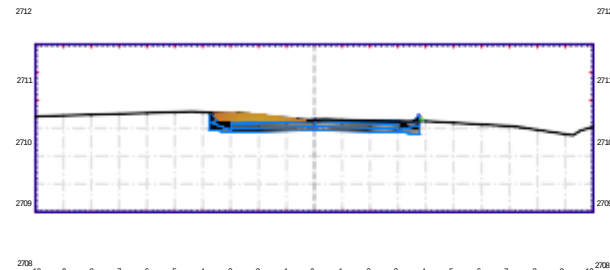
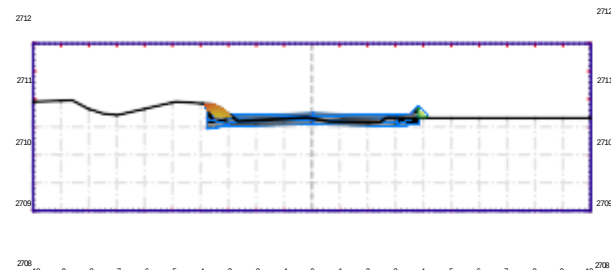
SECCIONES TRANSVERSALES

Número de Plano

P-00







Unidad : Metros

Dibujado
Revisado

Jorge Córdova, Jaime Zhagñay
Ing. Daniel Cárdenas

Fecha
23/11/2025
12/01/2025

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

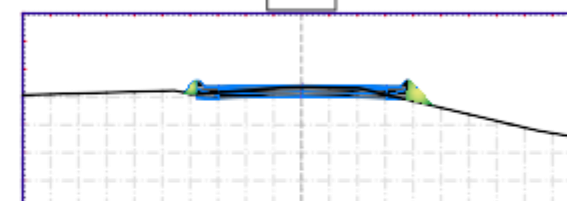
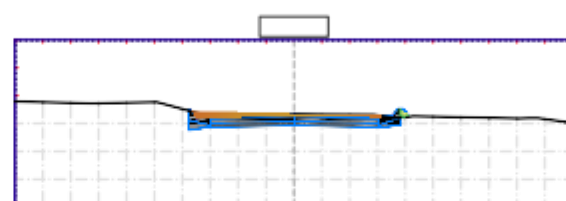
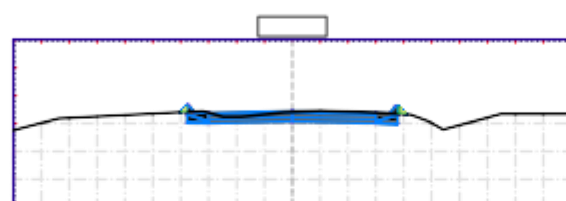
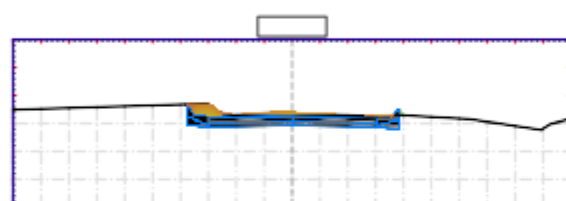
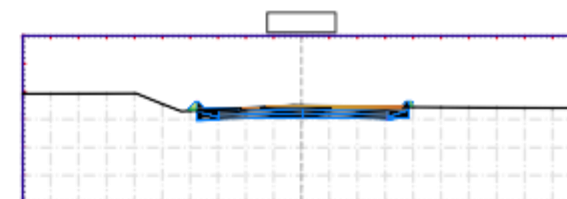
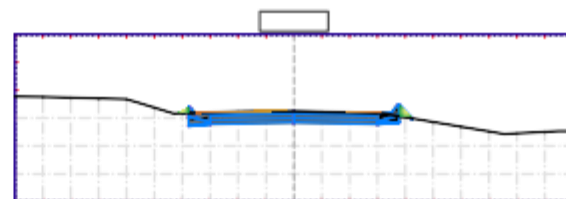
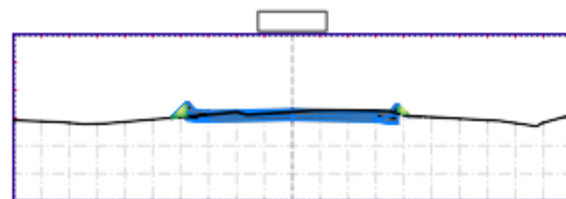
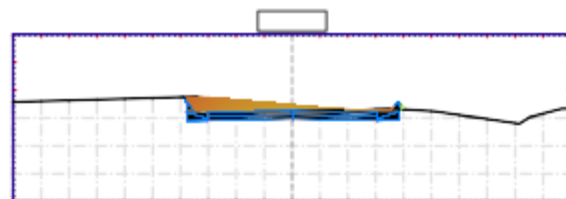
Escala 1:1

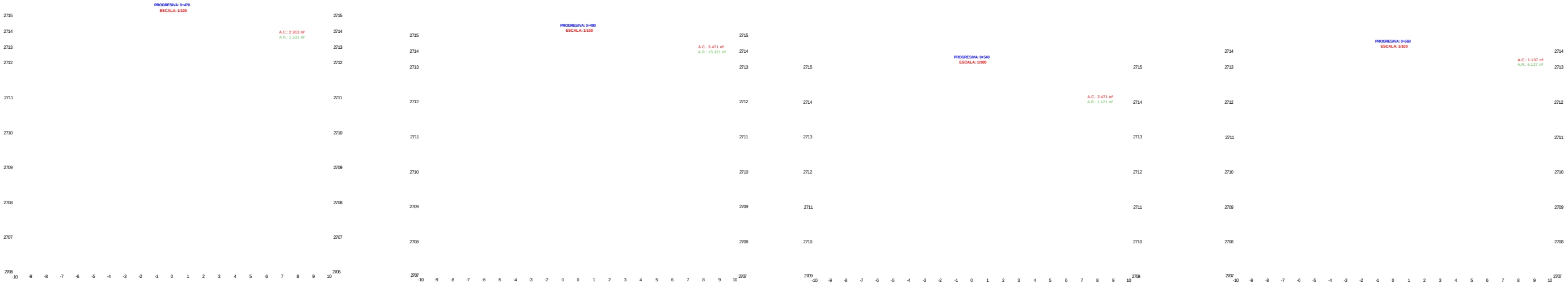
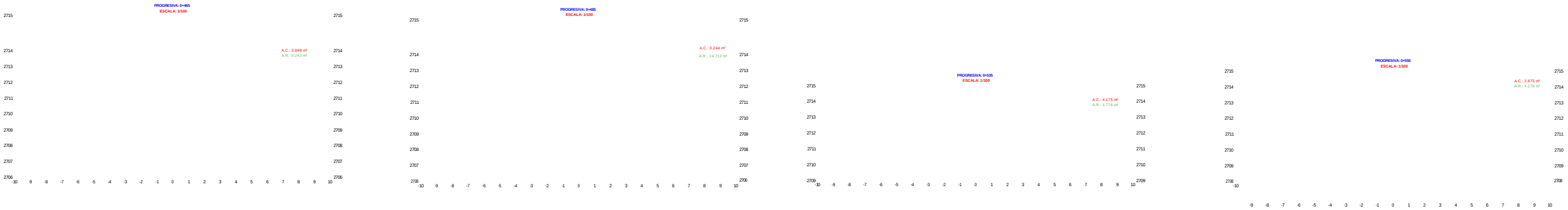
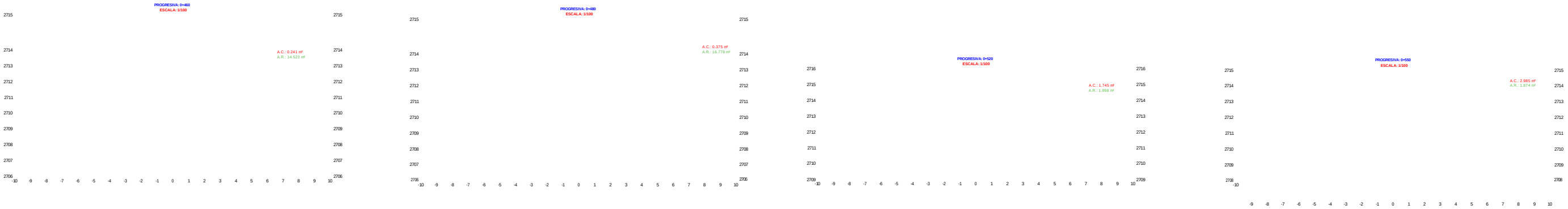
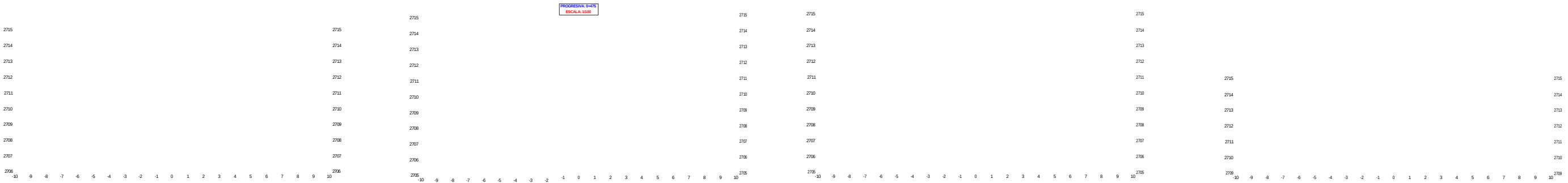
Tema

SECCIONES TRANSVERSALES

Número de Plano

P=03





Unidad : Metros

Escala 1:1

Dibujado

Revisado

Tema

Jorge Córdova, Jaime Zhagñay

Fecha

23/11/2025

Ing. Daniel Cárdenas

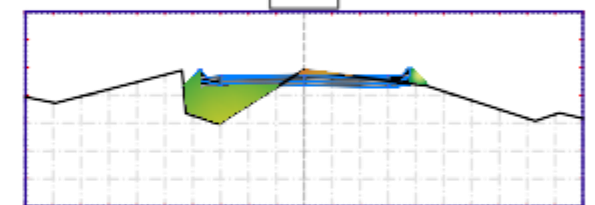
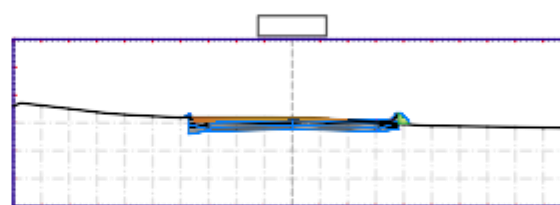
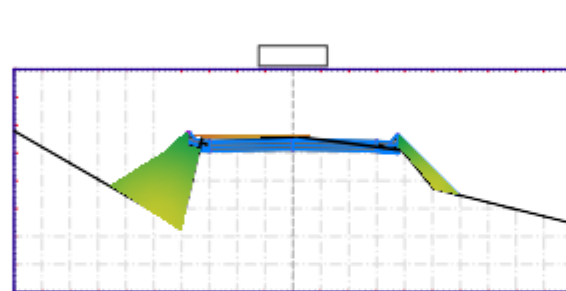
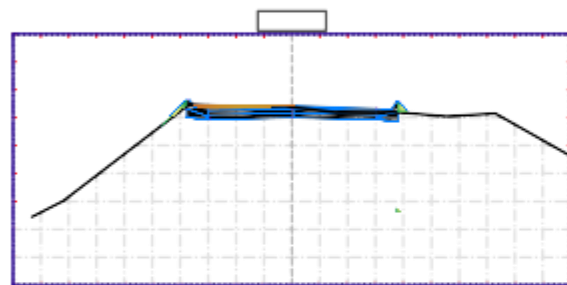
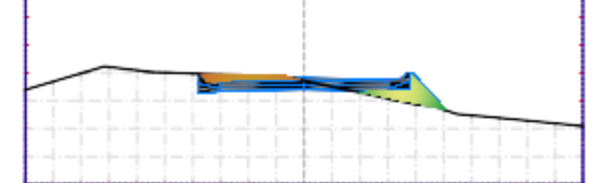
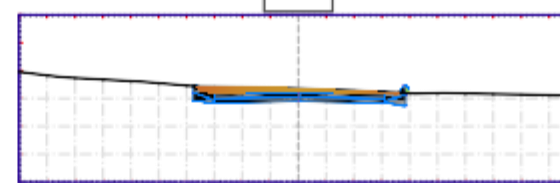
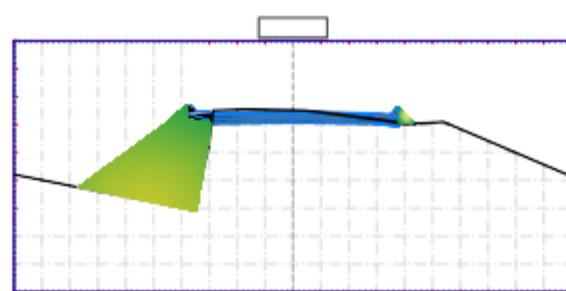
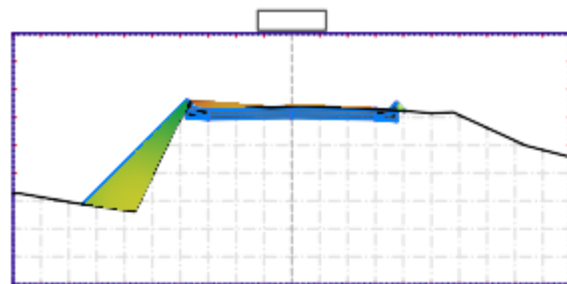
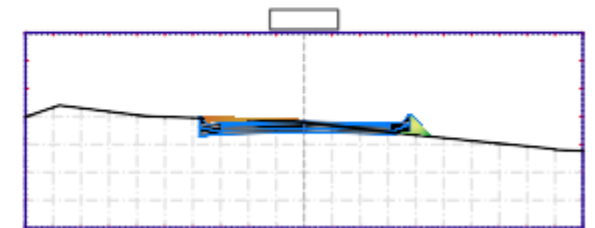
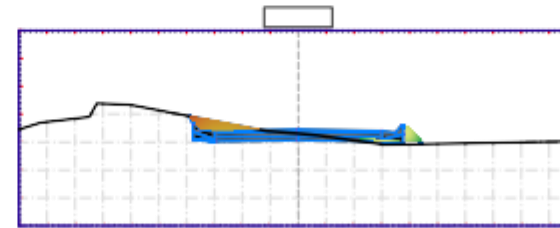
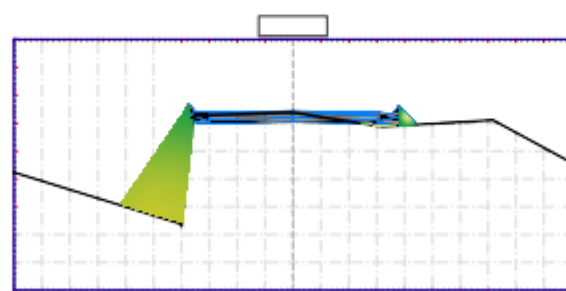
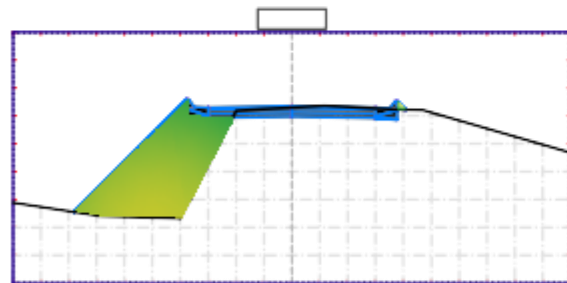
12/01/2025

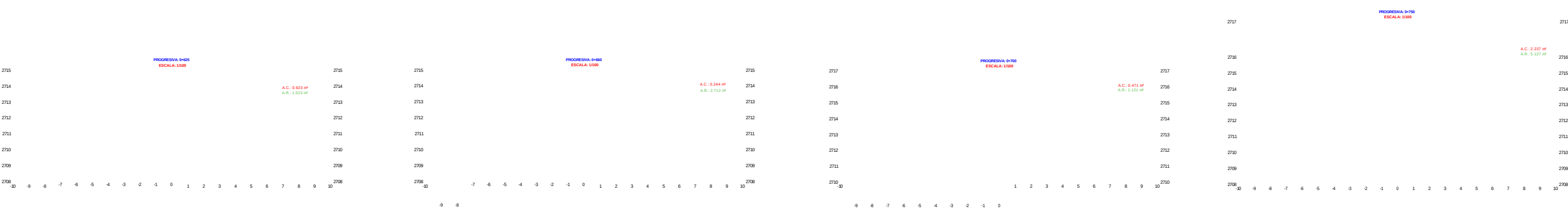
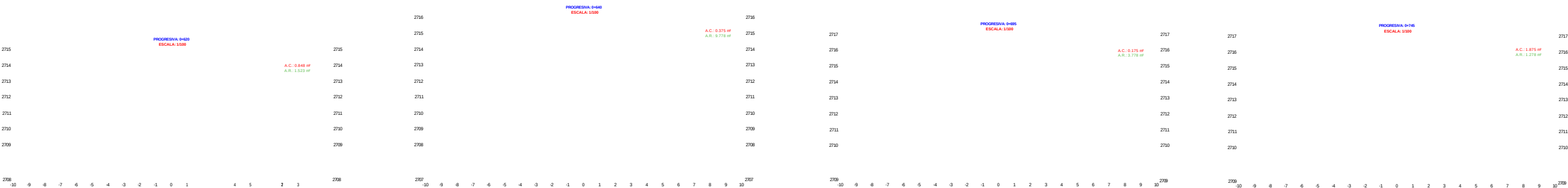
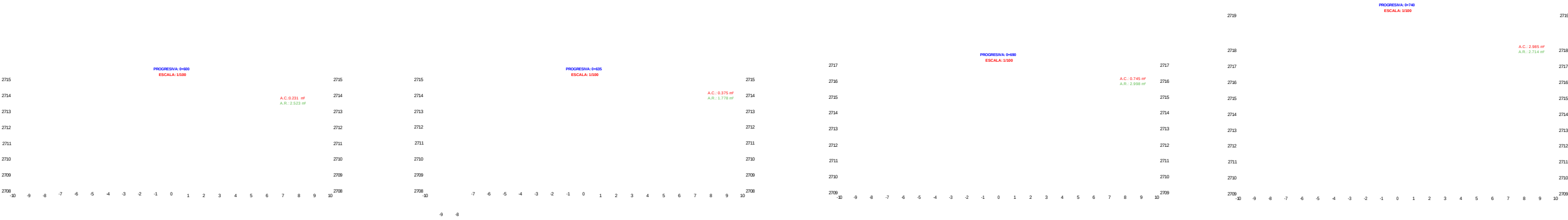
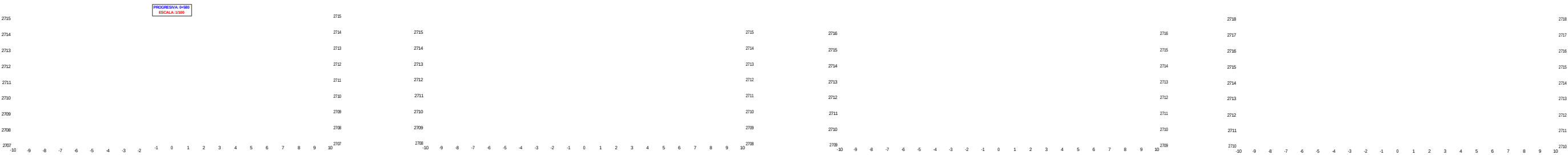
SECCIONES TRANSVERSALES

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

Número de Plano

P=06





Escala 1:1

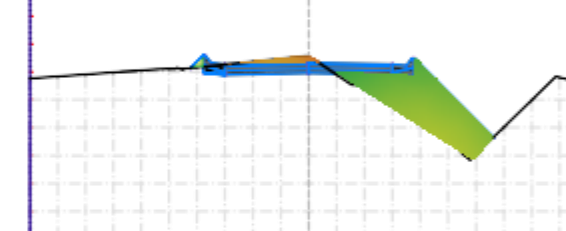
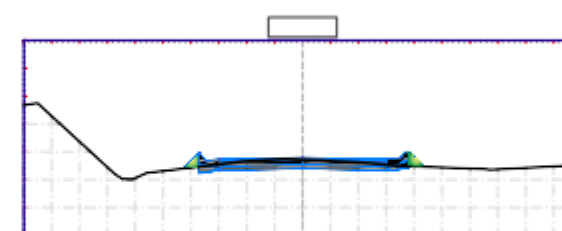
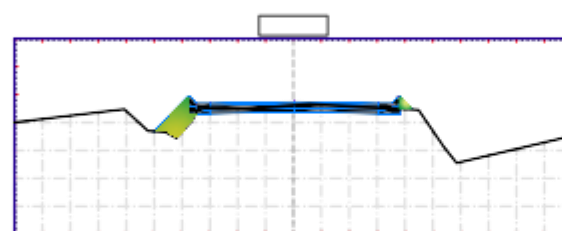
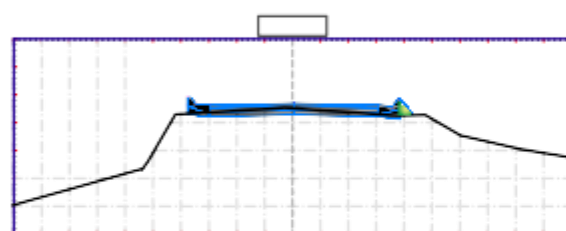
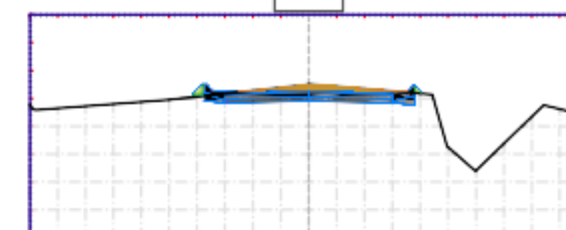
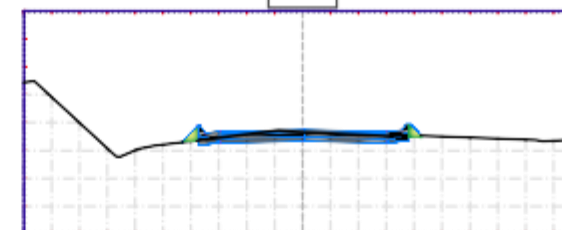
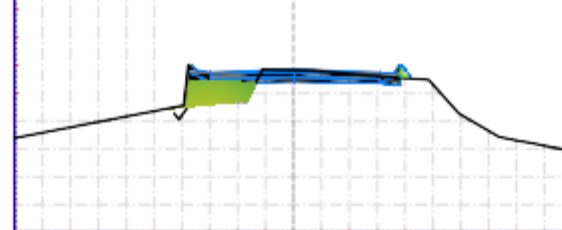
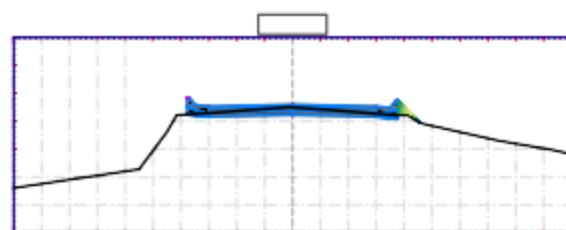
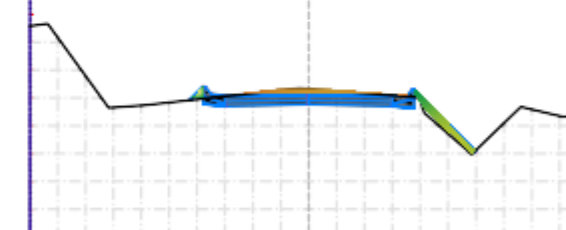
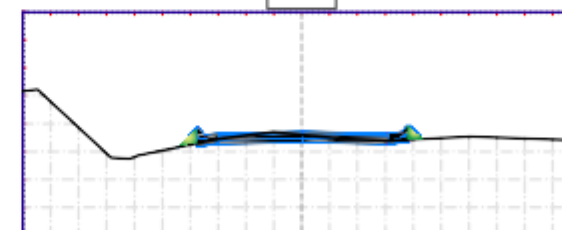
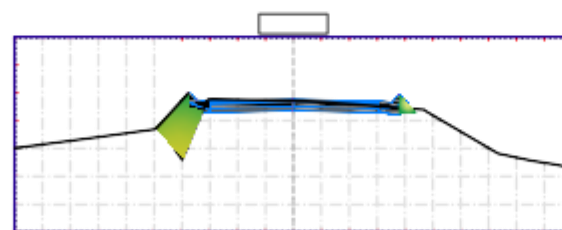
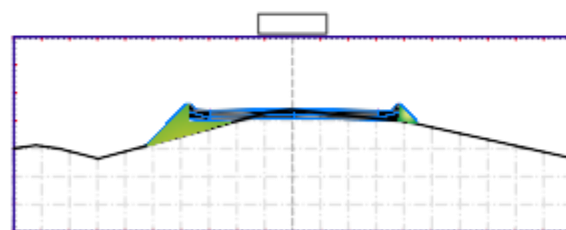
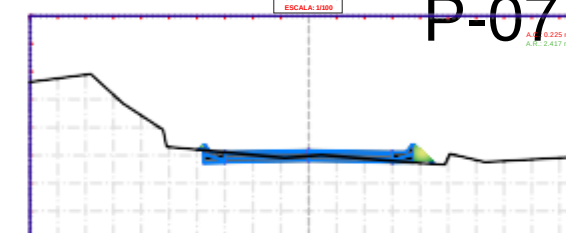
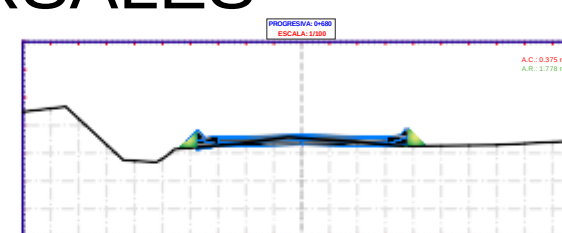
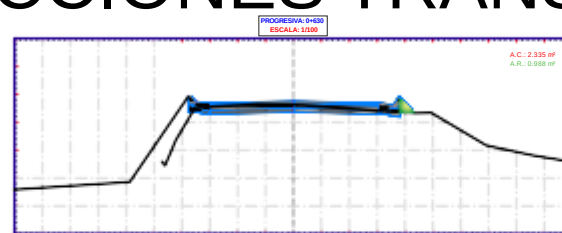
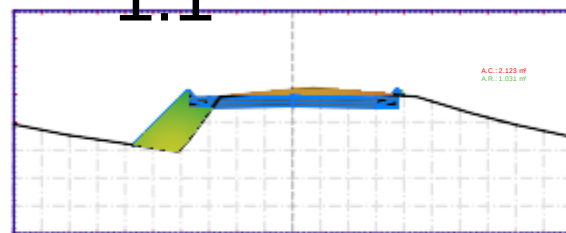
Tema

SECCIONES TRANSVERSALES

Número de Plano

P-09

P-07



Unidad : Metros

Dibujado

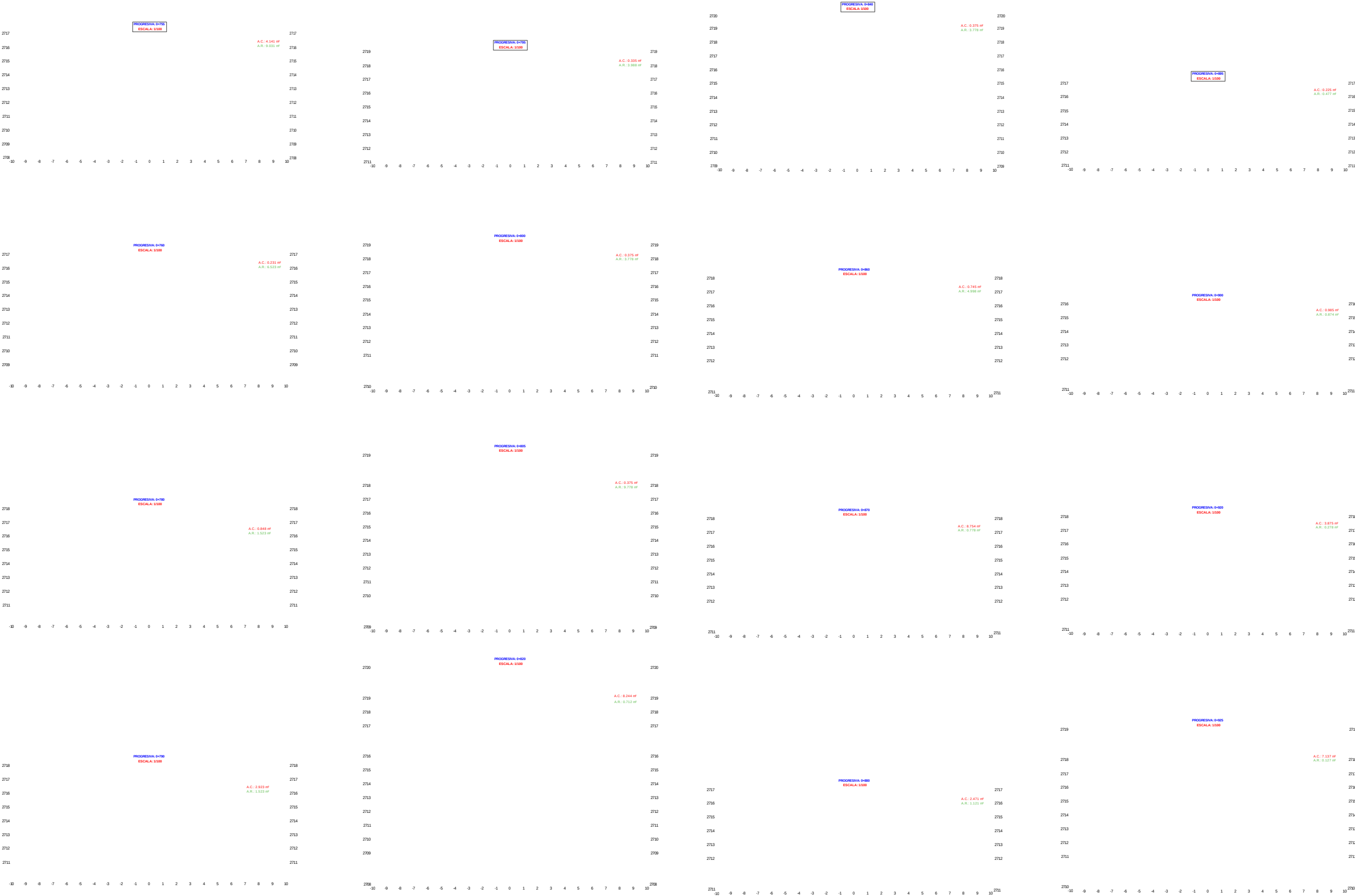
Revisado

Jorge Córdova, Jaime Zhagñay

Ing. Daniel Cárdenas

Fecha
23/11/2025
12/01/2025

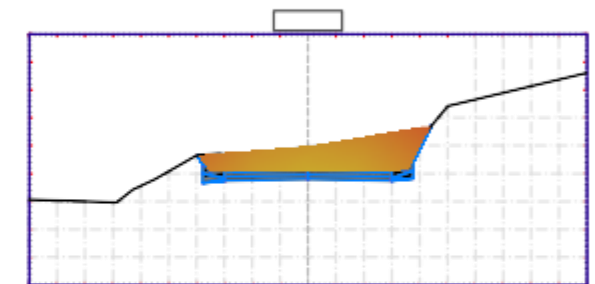
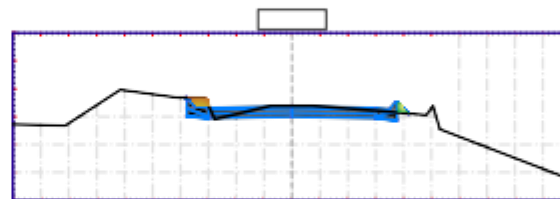
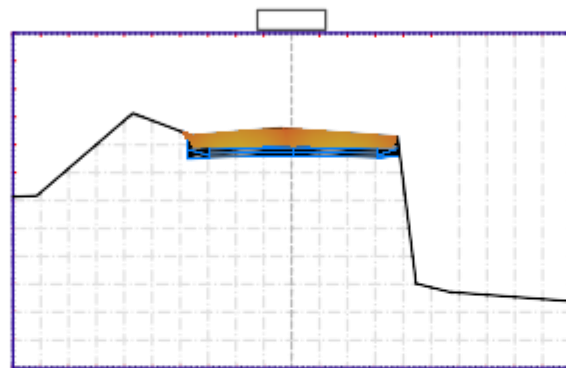
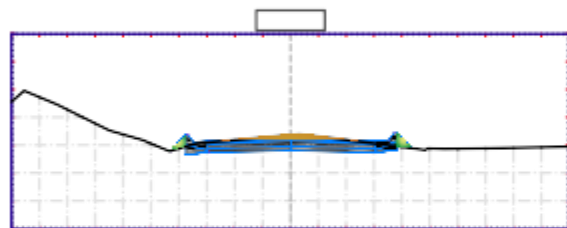
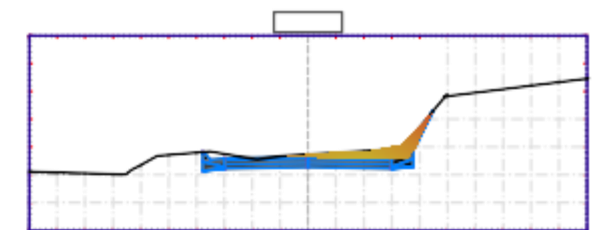
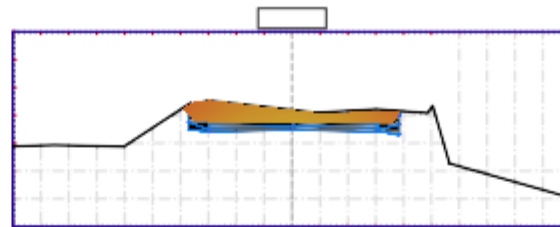
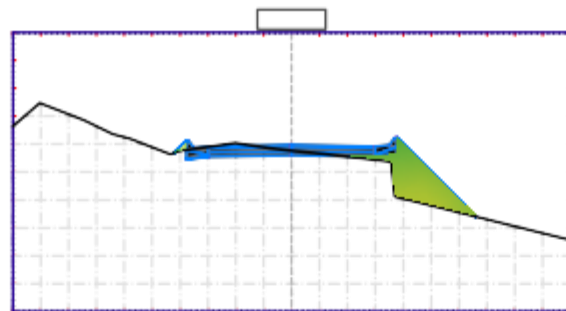
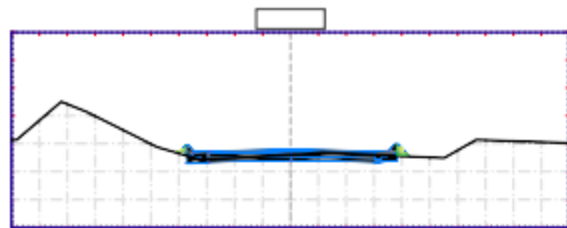
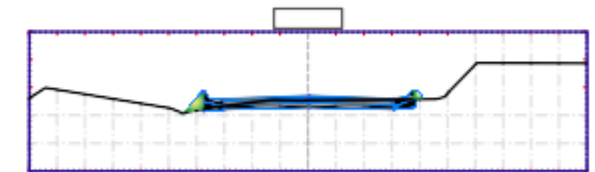
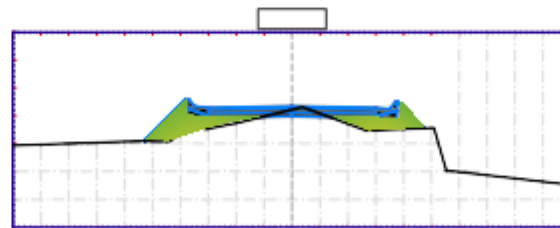
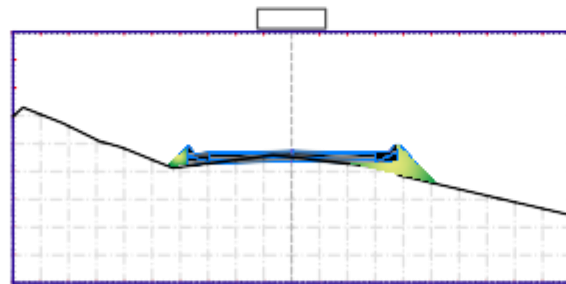
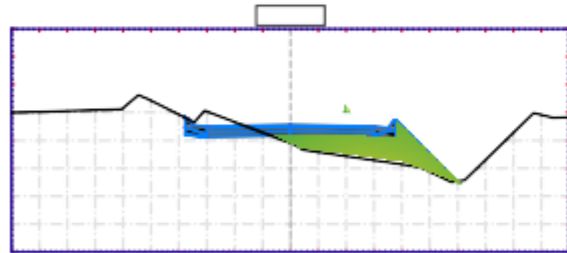
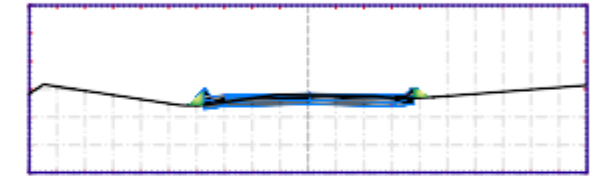
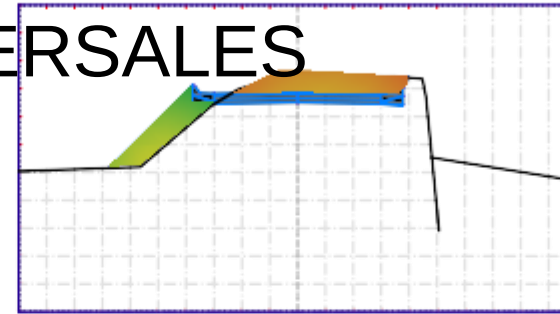
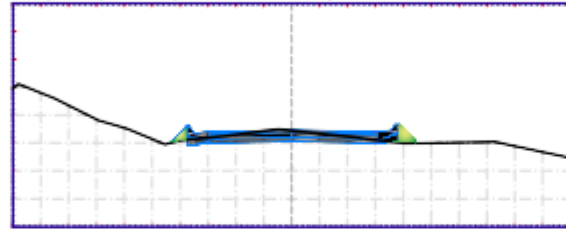
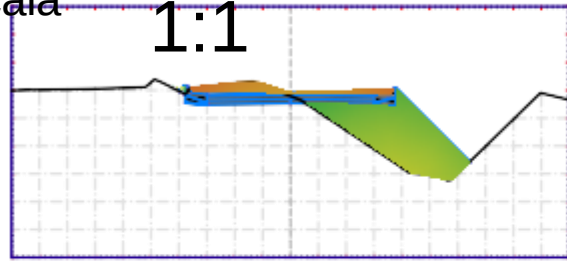
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA



Escala 1:1 Tema

SECCIONES TRANSVERSALES

Número de Plano P-10
P-08



Unidad : Metros

Dibujado
Revisado

Jorge Córdova, Jaime Zhagñay
Ing. Daniel Cárdenas

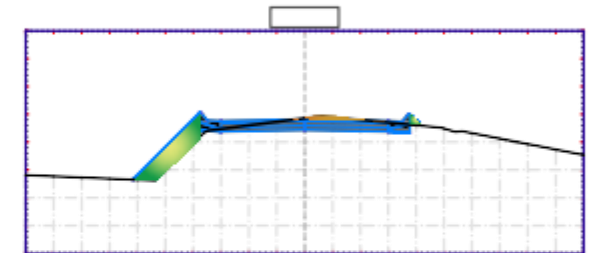
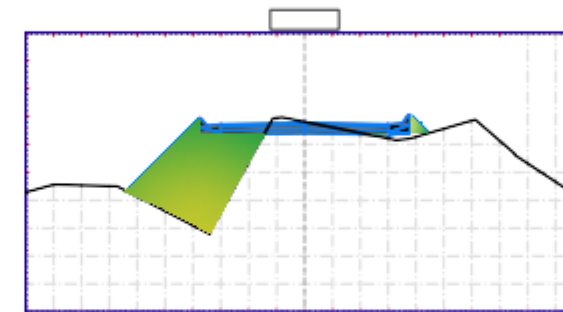
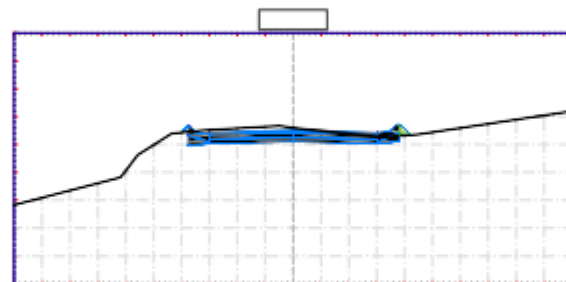
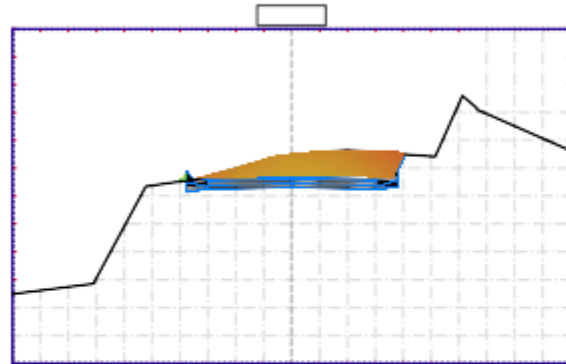
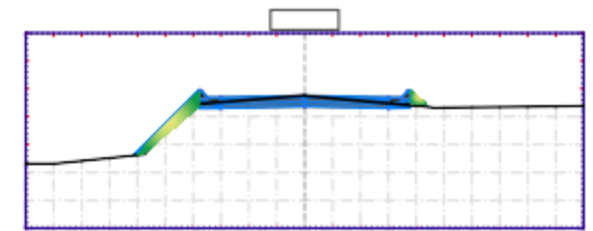
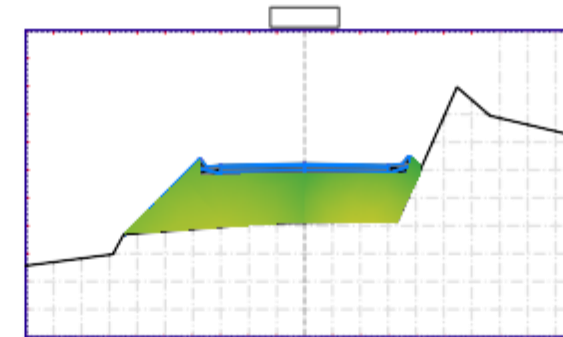
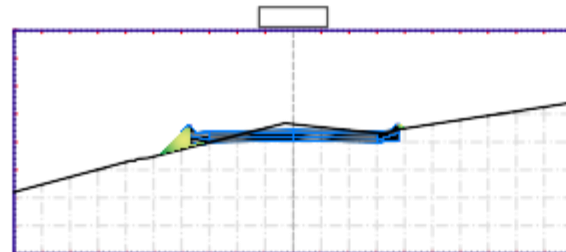
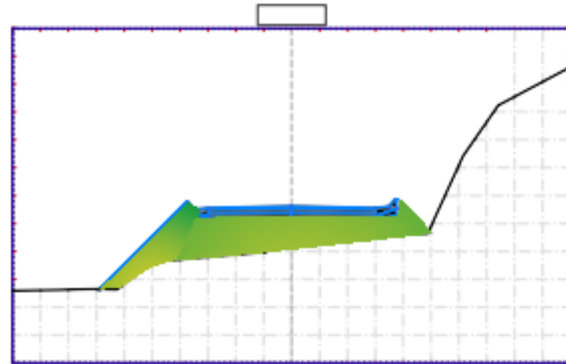
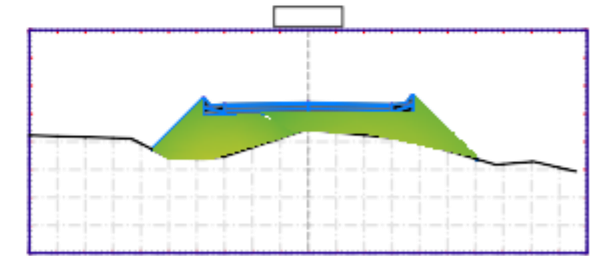
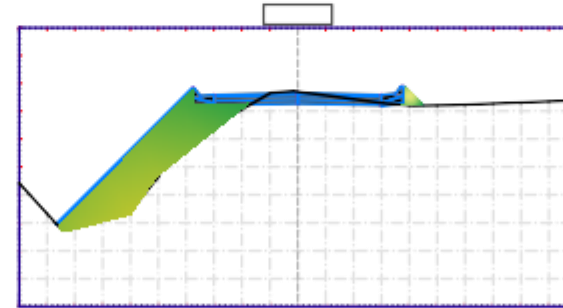
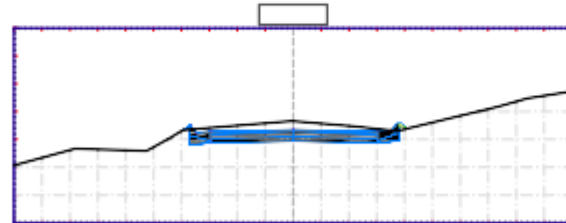
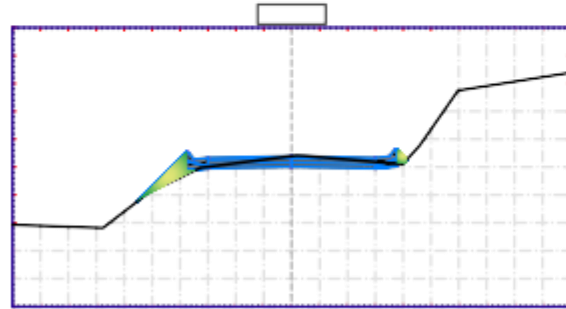
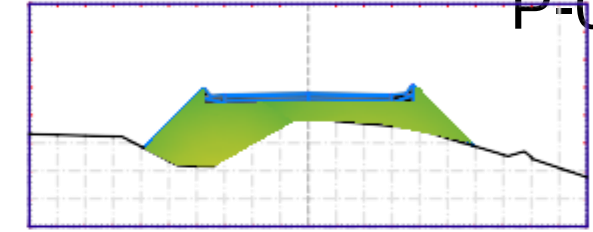
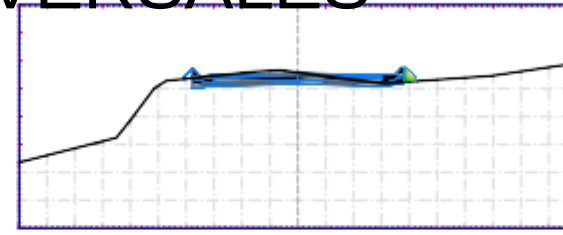
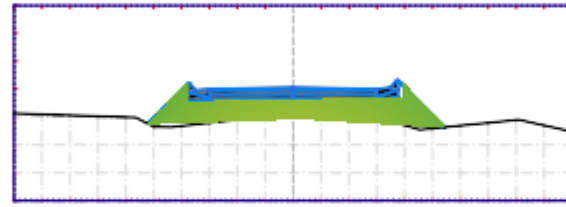
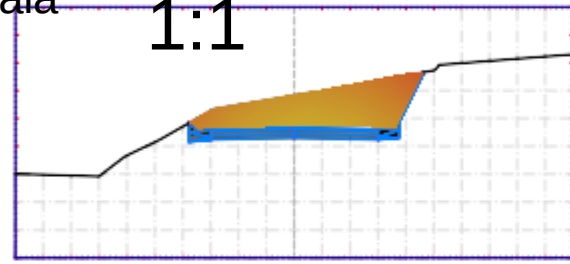
Fecha
23/11/2025
12/01/2025

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

Escala 1:1 Tema

SECCIONES TRANSVERSALES

Número de Plano P-11
P-09



Unidad : Metros

Dibujado

Revisado

Jorge Córdova, Jaime Zhagñay

Ing. Daniel Cárdenas

Fecha
23/11/2025
12/01/2025

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

1:1

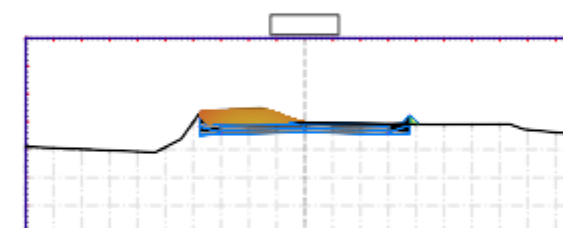
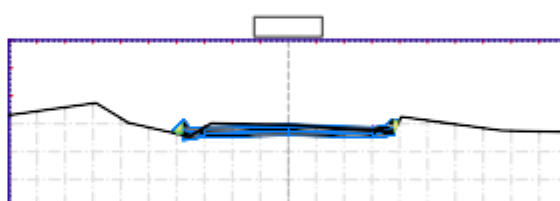
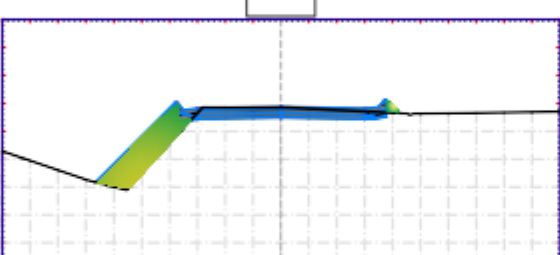
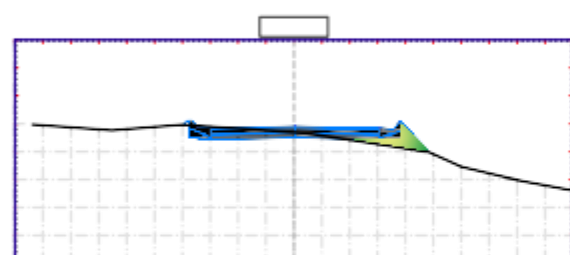
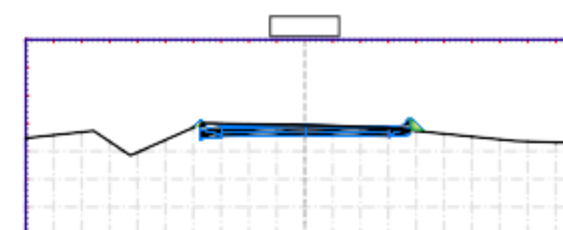
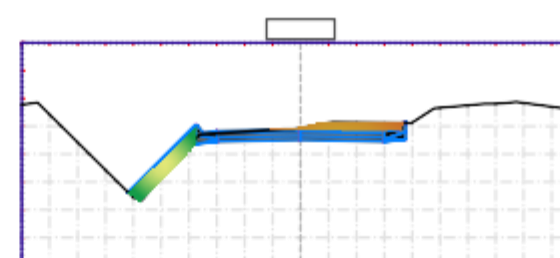
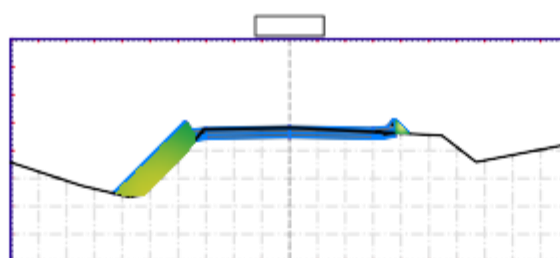
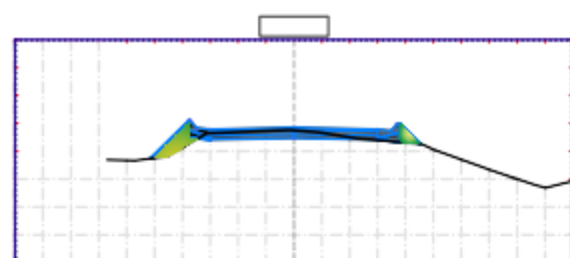
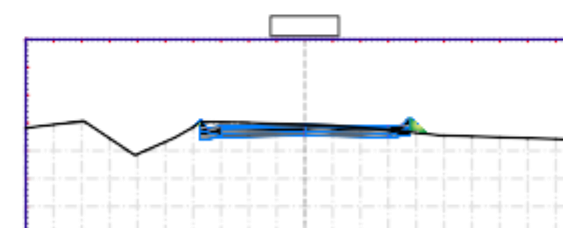
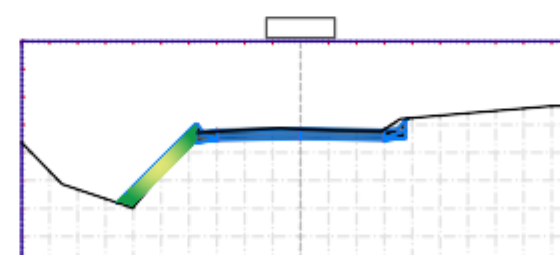
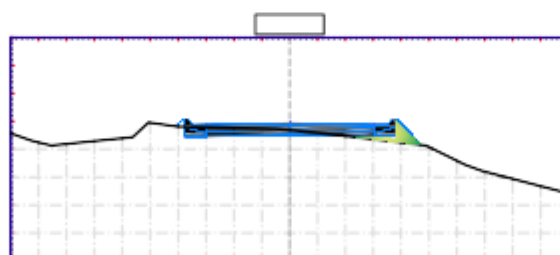
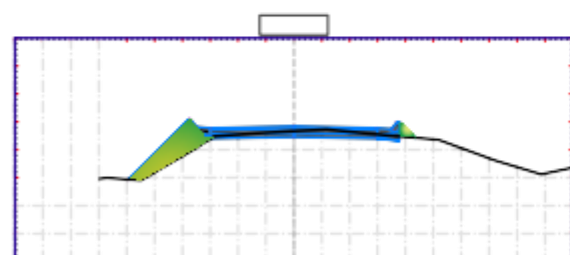
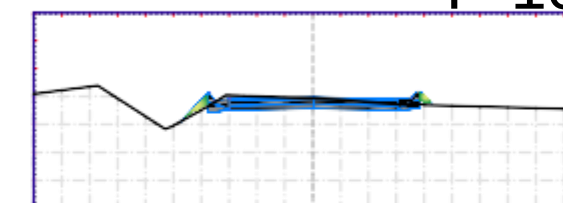
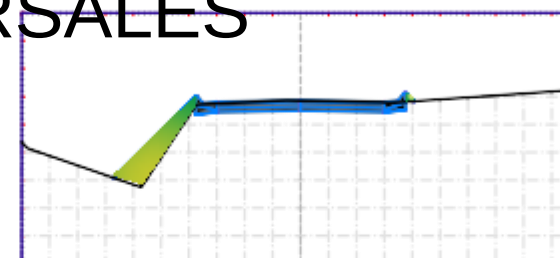
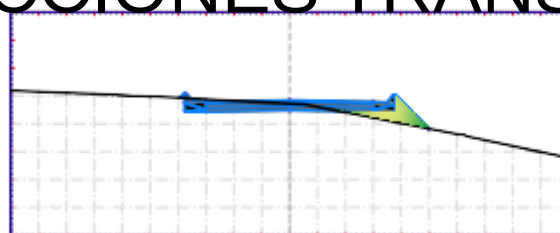
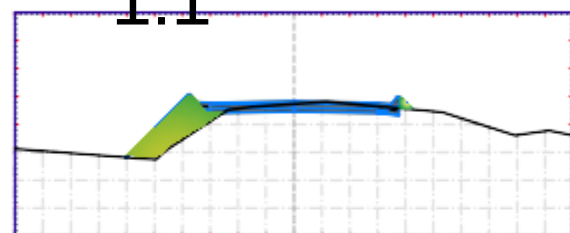
Tema

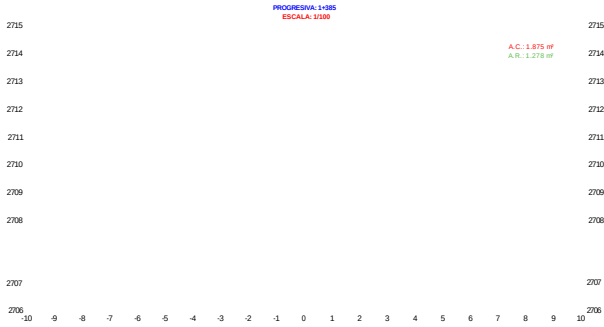
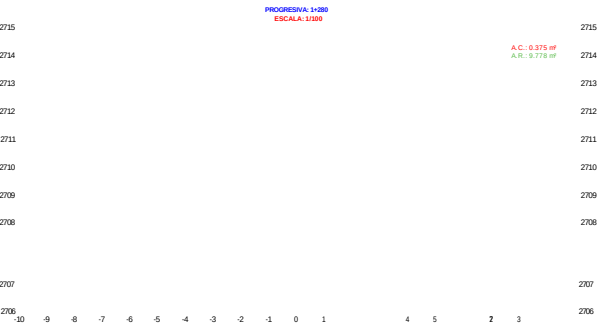
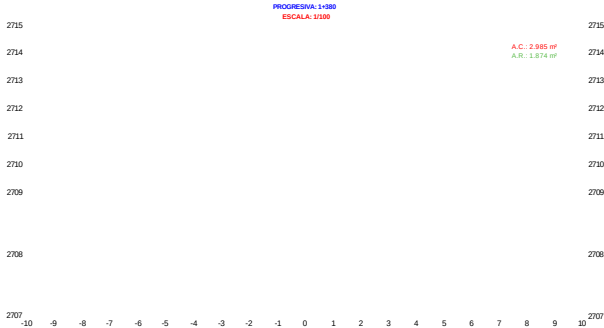
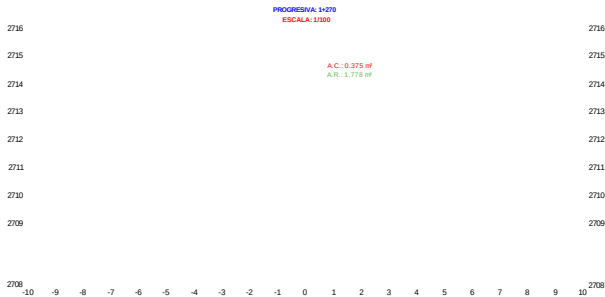
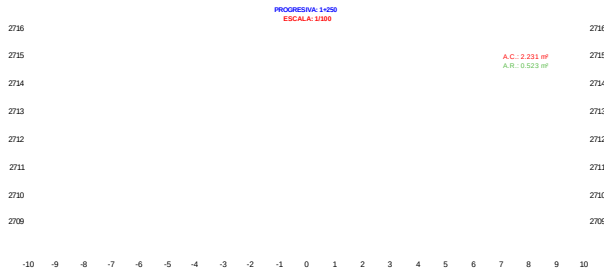
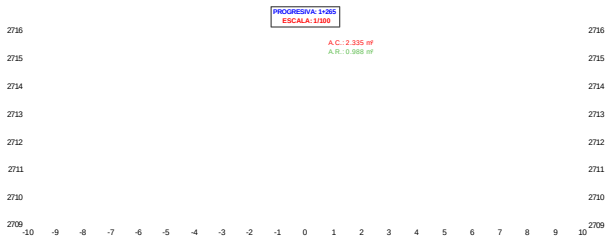
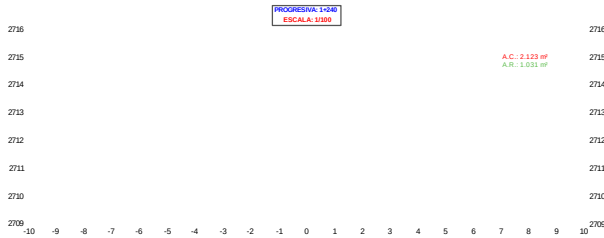
SECCIONES TRANSVERSALES

Número de Plano

P-12

P-10

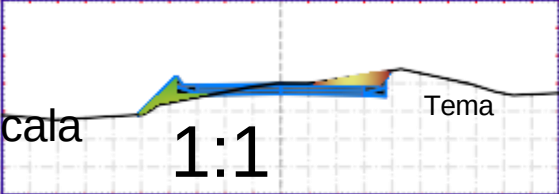




Unidad : Metros

Dibujado
Revisado

Escala **1:1** Tema



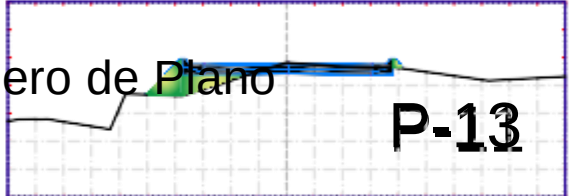
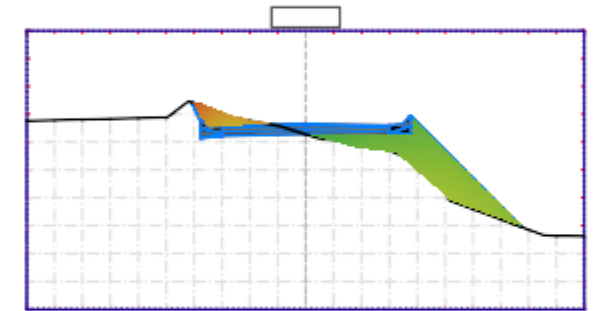
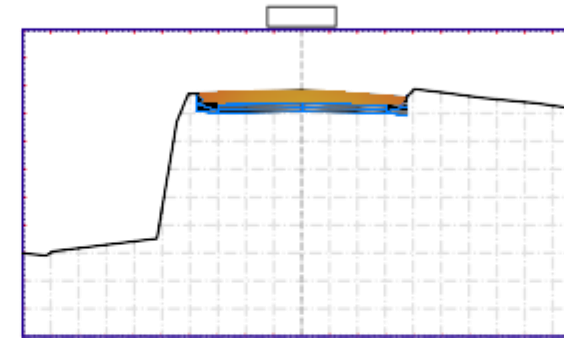
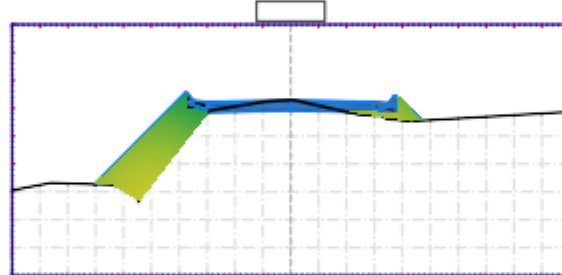
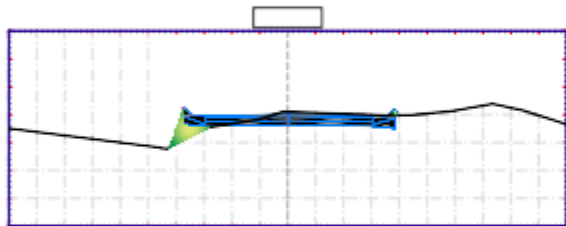
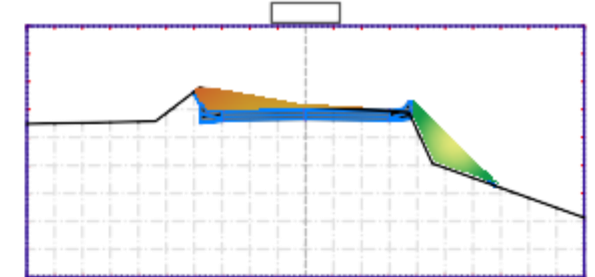
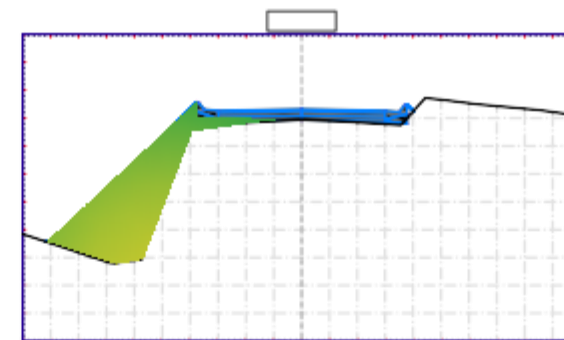
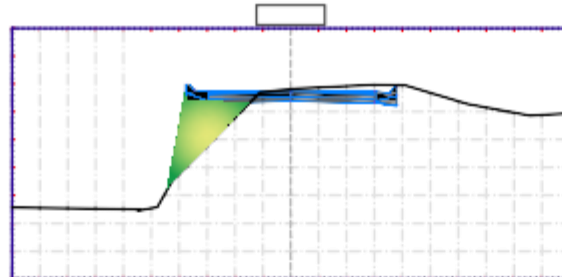
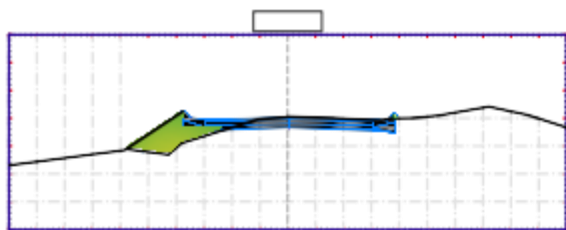
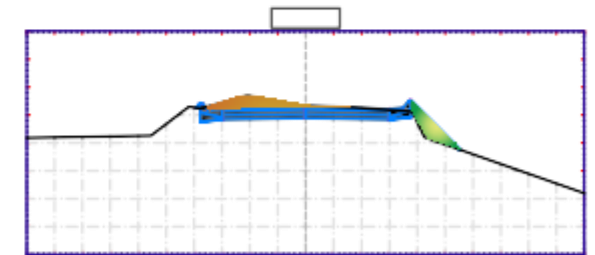
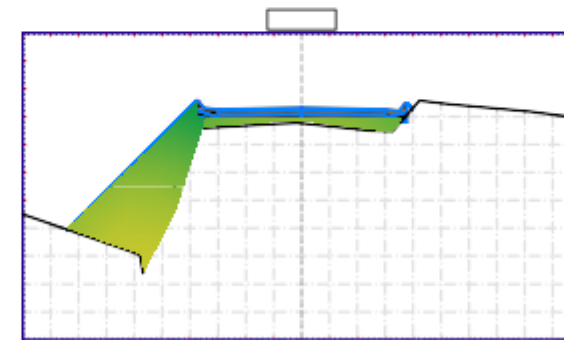
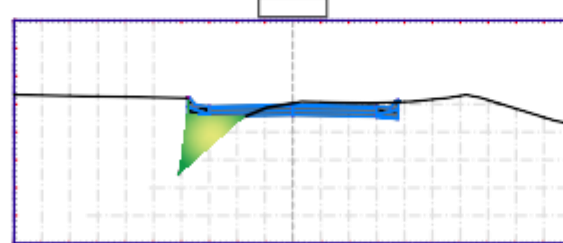
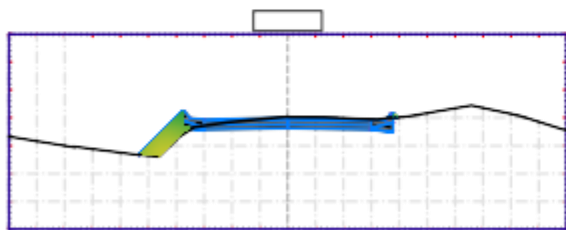
Jorge Córdova, Jaime Zhagñay
Ing. Daniel Cárdenas

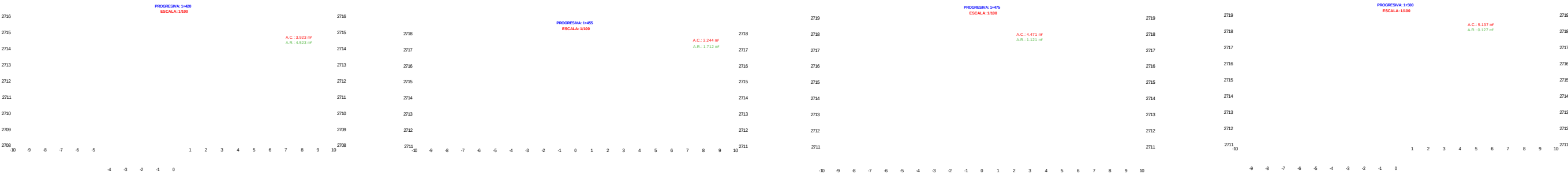
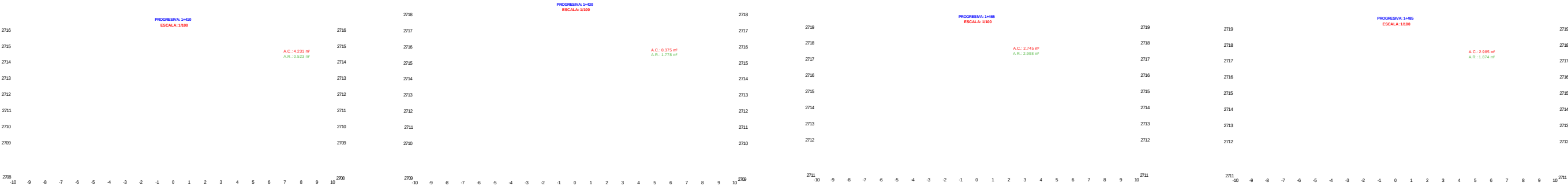
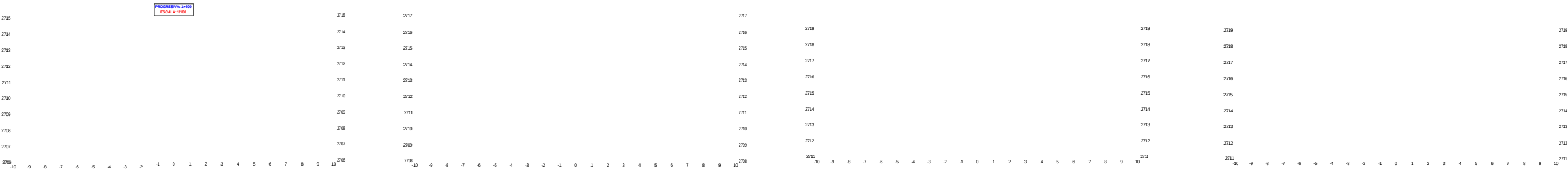
Fecha
23/11/2025
12/01/2025

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SECCIONES TRANSVERSALES

Número de Plano **P-13**



Unidad : Metros

Dibujado
Revisado

Jorge Córdova, Jaime Zhagñay
Ing. Daniel Cárdenas

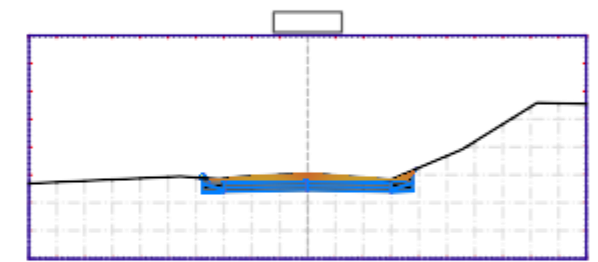
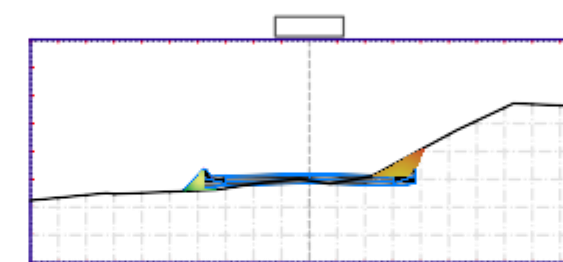
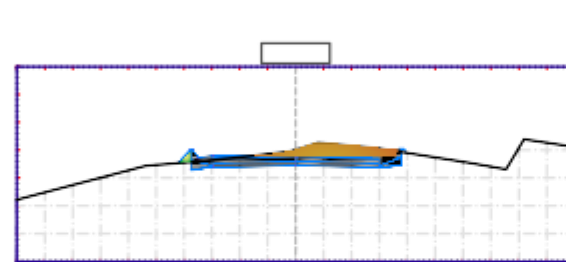
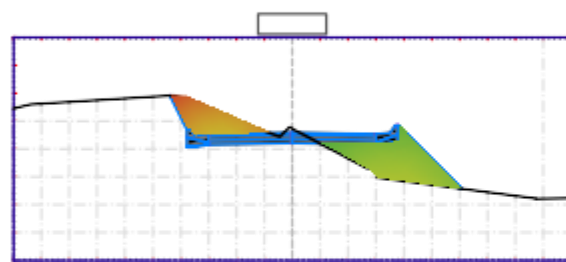
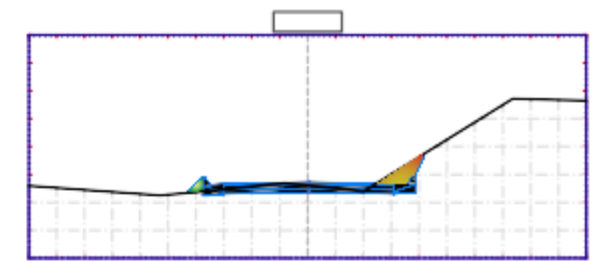
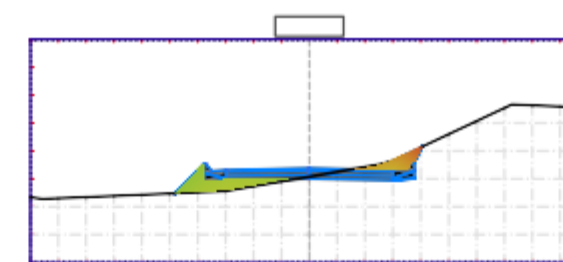
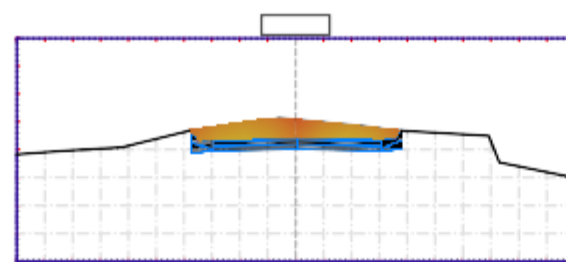
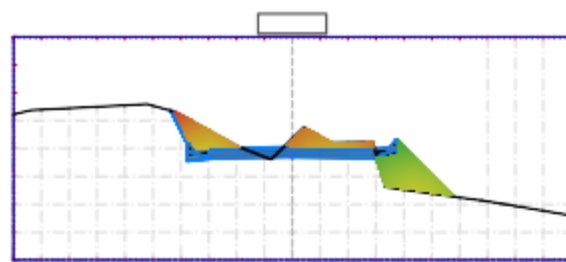
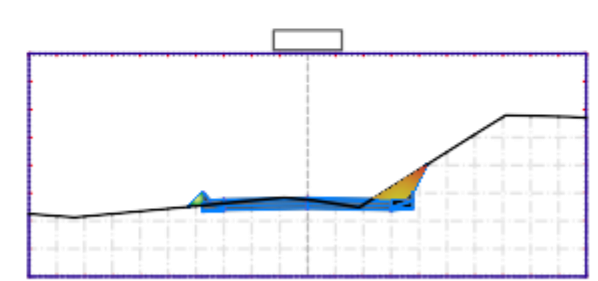
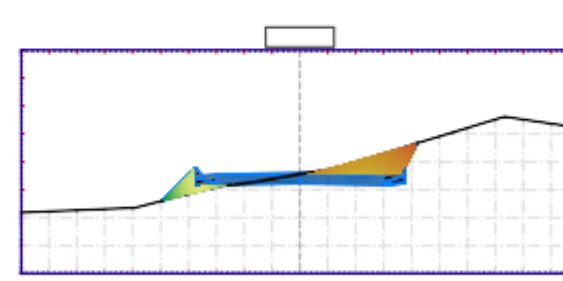
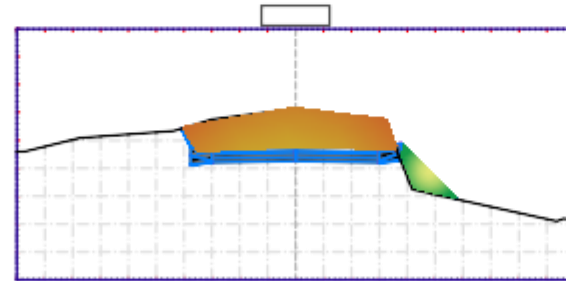
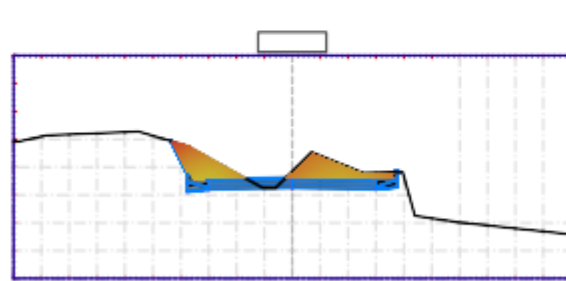
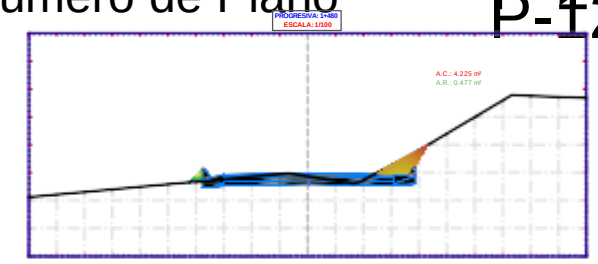
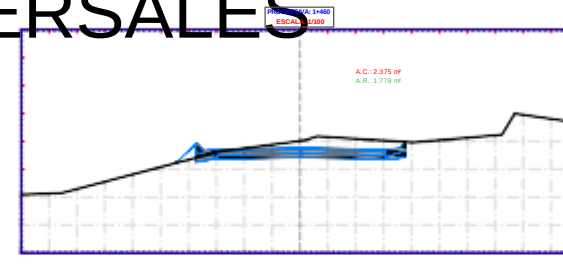
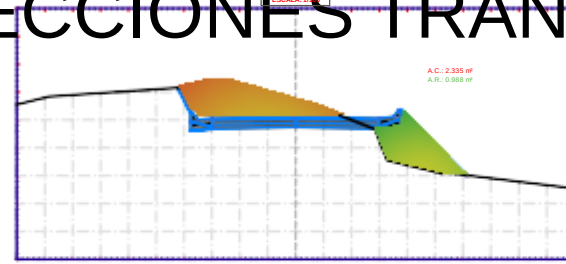
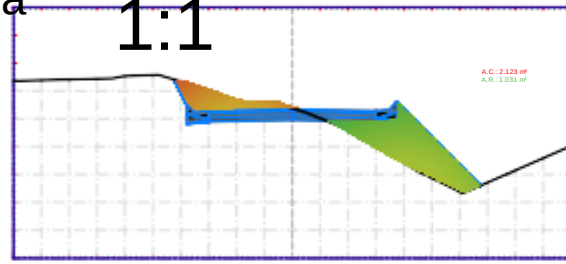
Fecha
23/11/2025
12/01/2025

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

Escala 1:1 Tema

SECCIONES TRANSVERSALES

Número de Plano B-14



Unidad : Metros

Dibujado

Revisado

Jorge Córdova, Jaime Zhagñay

Ing. Daniel Cárdenas

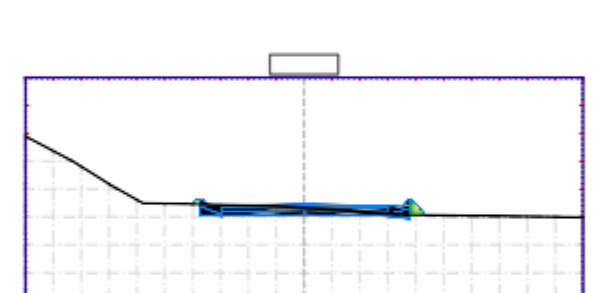
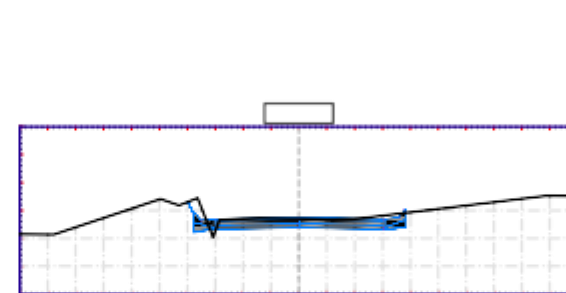
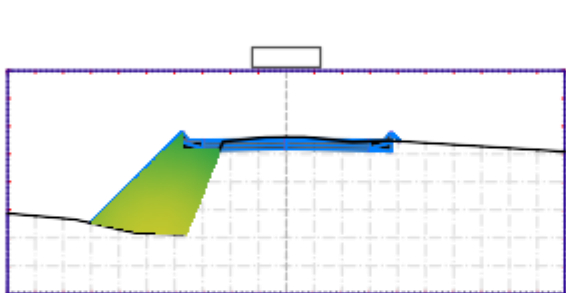
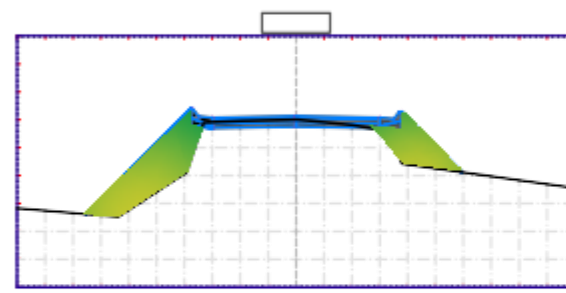
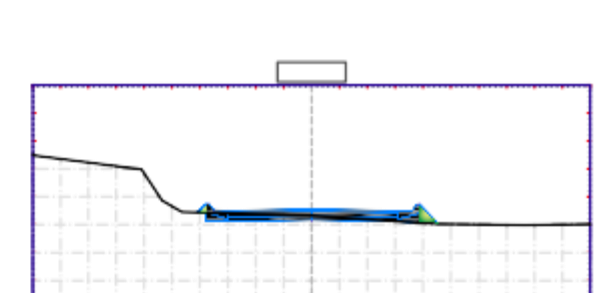
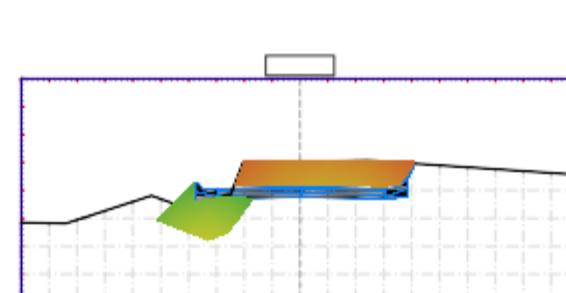
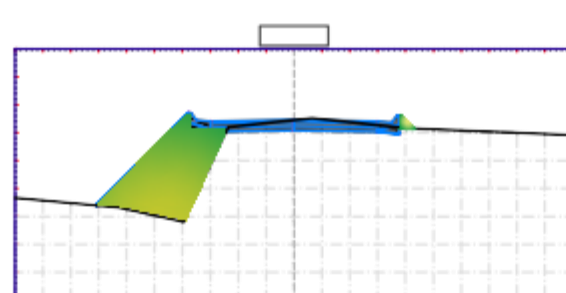
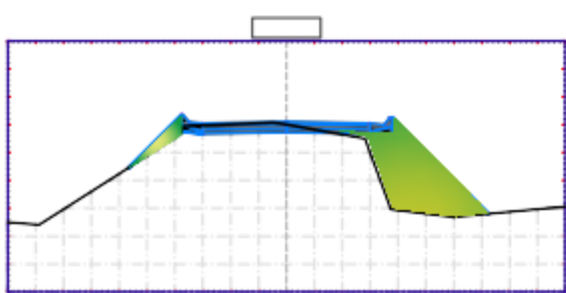
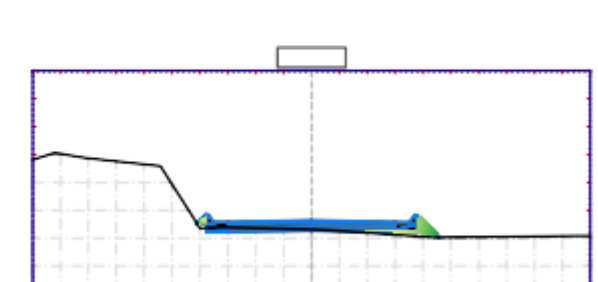
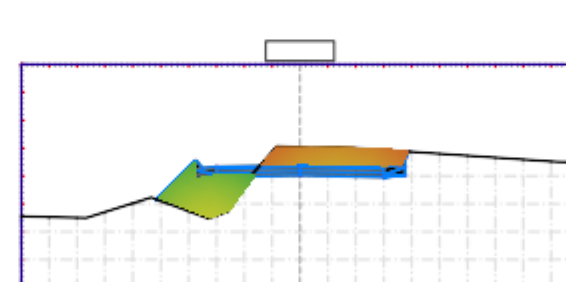
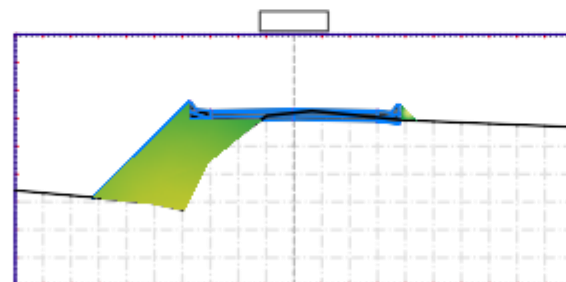
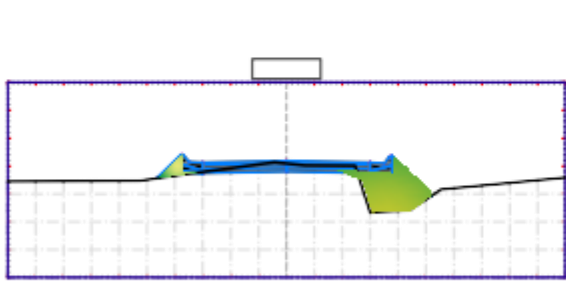
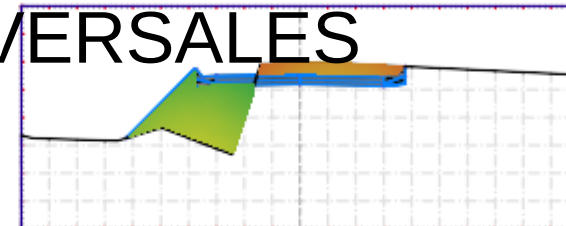
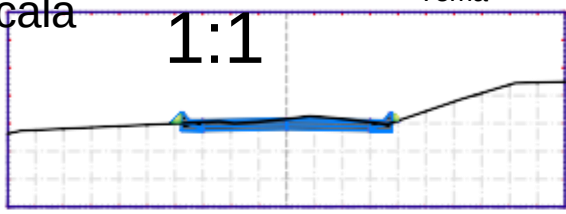
Fecha
23/11/2025
12/01/2025

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

Escala 1:1 Tema

SECCIONES TRANSVERSALES

Número de Plano P-15
P-13



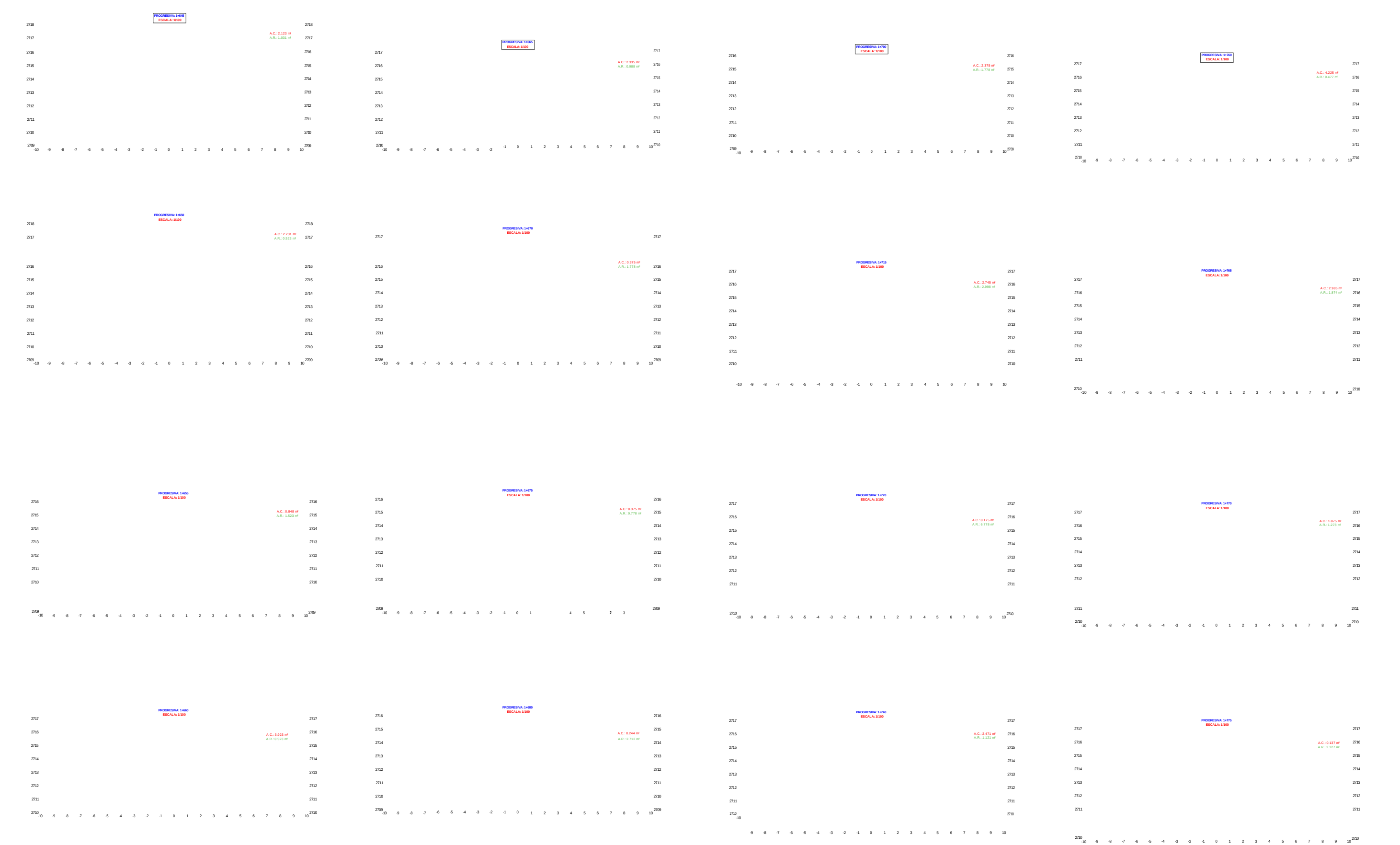
Unidad : Metros

Dibujado
Revisado

Jorge Córdova, Jaime Zhagñay
Ing. Daniel Cárdenas

Fecha
23/11/2025
12/01/2025

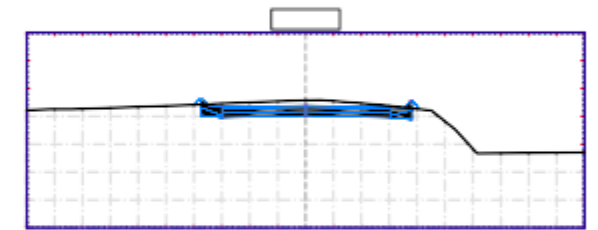
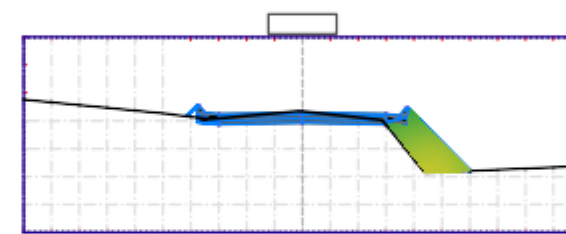
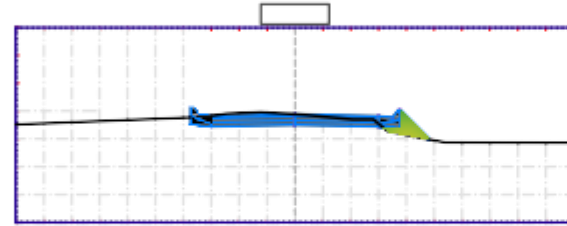
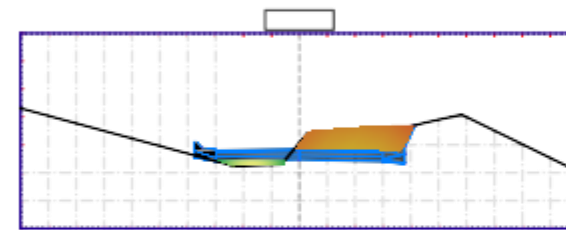
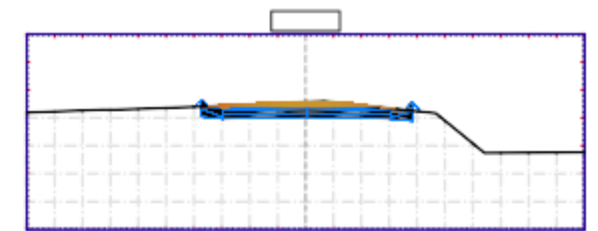
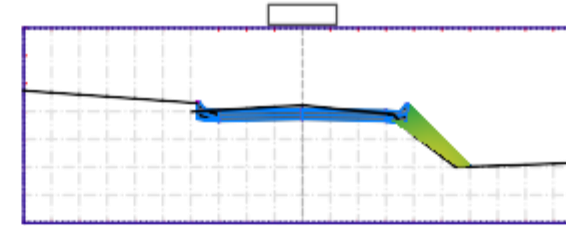
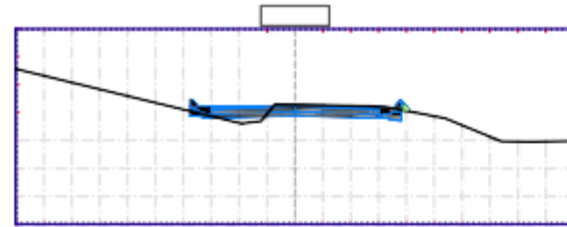
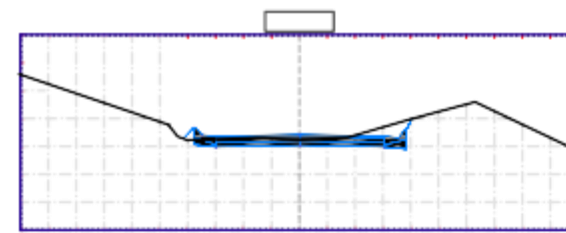
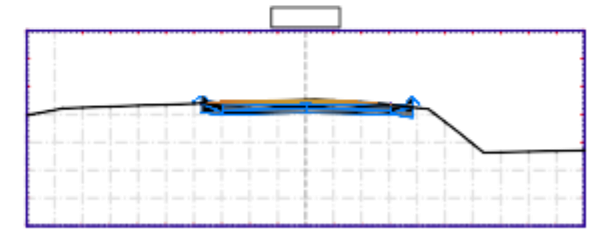
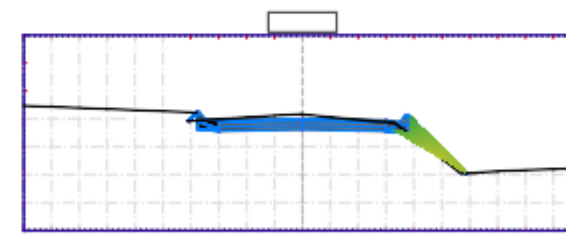
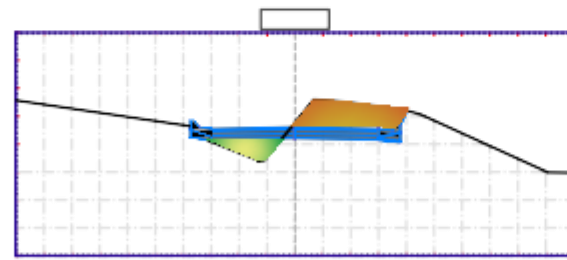
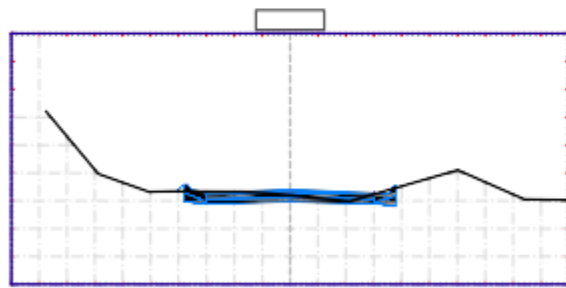
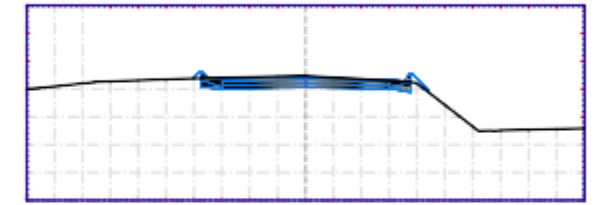
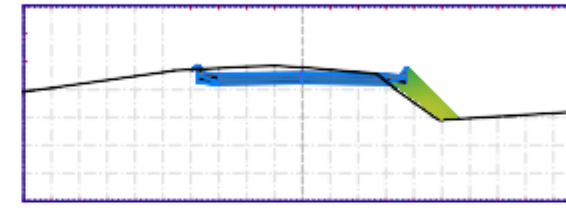
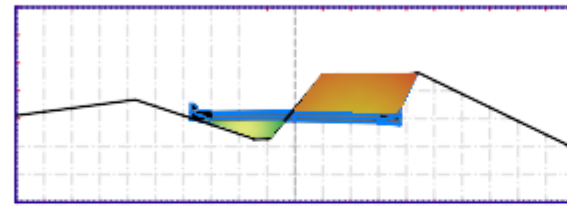
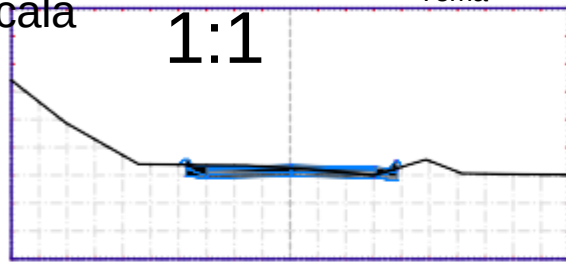
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

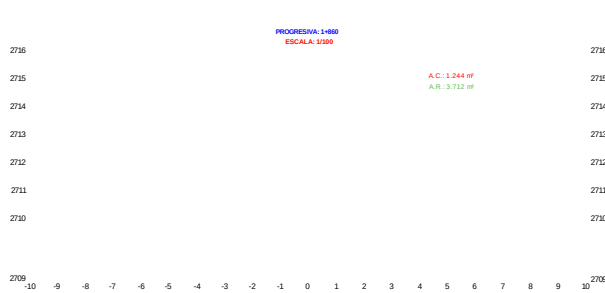
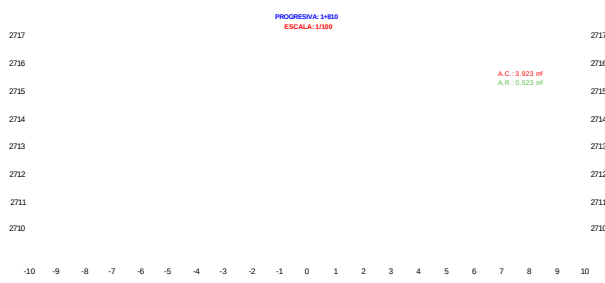
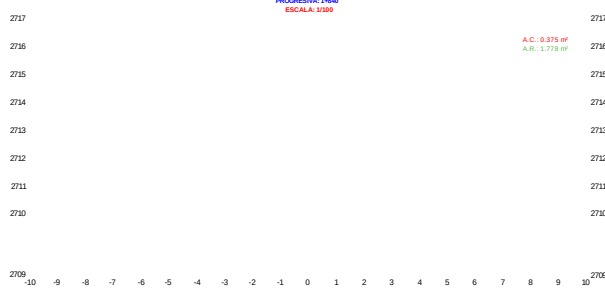
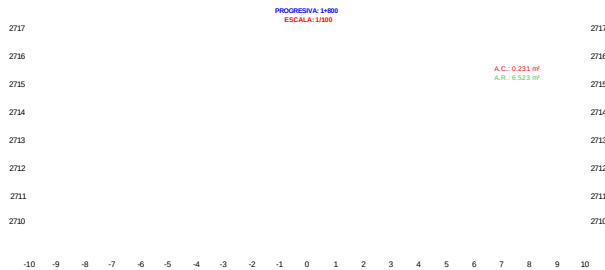
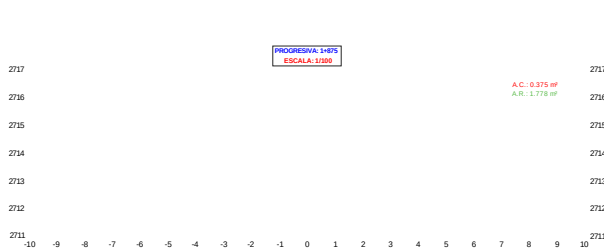
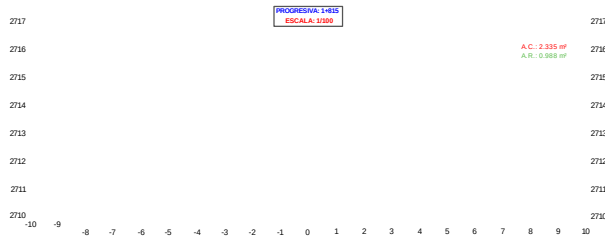
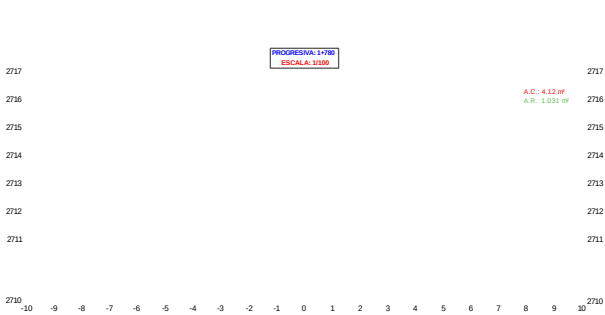


Escala 1:1 Tema

SECCIONES TRANSVERSALES

Número de Plano P-16
P-14





Jorge Córdova, Jaime
Zhagñay Ing. Daniel
Cárdenas

Fecha
23/11/202
5
12/01/202
5

Escala
1:1

Tema

UNIVERSIDAD
POLITÉCNICA
SALESIANA

SECCIONES TRANSVERSALES

Número de Plano

P-15

