

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



**Propuesta de aplicación de fotogrametría con drones y metodología
BIM en el diseño geométrico de una carretera en el distrito de
Limabamba para reducir el tiempo de diseño**

Tesis para obtener el título profesional de Ingeniero Civil

AUTOR:

Manuel Alberto Fernández Muñoz

ASESOR:

Fernando José Campos De La Cruz

Lima, mayo del 2023

Informe de Similitud

Yo, Fernando José Campos De la Cruz,

docente de la Facultad de Ciencias e Ingeniería de la Pontificia

Universidad Católica del Perú, asesor(a) de la tesis/el trabajo de investigación titulado

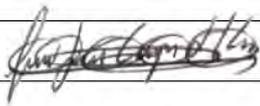
Propuesta de aplicación de fotogrametría con drones y metodología BIM en el diseño geométrico de una carretera en el distrito de Limabamba para reducir el tiempo de diseño,

del autor: Manuel Alberto Fernández Muñoz,

dejo constancia de lo siguiente:

- El mencionado documento tiene un índice de puntuación de similitud de 17%. Así lo consigna el reporte de similitud emitido por el software *Turnitin* el 15/10/2023.
- He revisado con detalle dicho reporte y la Tesis o Trabajo de Suficiencia Profesional, y no se advierte indicios de plagio.
- Las citas a otros autores y sus respectivas referencias cumplen con las pautas académicas.

Lugar y fecha: 15 de octubre del 2023

Apellidos y nombres del asesor: Campos De la Cruz, Fernando José	
DNI: 41469213	Firma 
ORCID: 0000-0002-7827-2861	



Resumen

En el Perú existe una gran brecha en la construcción de nuevas carreteras. Este problema se ve agravado por la lentitud y la propensión de errores del diseño geométrico de carreteras tradicional. Como resultado se requiere rehacer informes y, en consecuencia de ello, se extiende el tiempo de entrega del diseño final. En ese orden de ideas, la presente tesis se centró en el levantamiento fotogramétrico, en el procesamiento de datos y el diseño geométrico de la carretera. En cuanto al objetivo general, este se basa en elaborar una propuesta de reducción de tiempo de diseño geométrico de la carretera mediante el uso de la fotogrametría con drones y el uso del software Istram, integrados a la metodología BIM.

Inicialmente, se ejecutó el proceso de levantamiento fotogramétrico. Este comenzó con la grabación de la ruta de 3km. Luego se programaron los vuelos y, finalmente, se realizaron 10 vuelos. Luego se procedió con el procesamiento fotogramétrico. En los resultados se incluyeron planos topográficos y una ortofoto.

En segundo lugar, se inició el diseño geométrico de la carretera en Istram. Para lo cual se elaboraron tres propuestas. Las dos primeras propuestas tienen una velocidad de diseño de 30km/h para tramos homogéneos, y 20km/h para zonas de curvas de volteo. En cambio, la tercera propuesta tiene una velocidad de diseño de 30km/h en todo el tramo. Al finalizar el diseño de las 3 propuestas, se evaluaron para elegir la que tiene mejores condiciones técnicas y económicas, lo anterior mediante varios parámetros, donde destacan el método de Bruce y costos de movimiento de tierras. Al realizar el análisis, se concluyó que la alternativa 3 es la más adecuada.

Finalmente, para evaluar y comparar los tiempos de levantamiento topográfico, procesamiento de datos y diseño geométrico entre metodología tradicional y metodología BIM, se consultaron a expertos. El análisis comparativo indicó que el tiempo que toma el levantamiento fotogramétrico consta de un 14.3 % en relación con el tiempo que tomaría la metodología tradicional. Ahora bien, el tiempo que toma el procesamiento fotogramétrico sería un 17.5 % del tiempo que implica la metodología tradicional. Por otro lado, el tiempo que toma el diseño geométrico al emplear la metodología BIM sería un 74.6 % en relación con la metodología tradicional. En ese orden de ideas, la hipótesis planteó que el uso de la fotogrametría a partir de drones y el software Istram, articulados con la metodología BIM, disminuye el tiempo del diseño geométrico de la carretera Pindicucho – Puma marca, puesto que marca al menos un 20 % con respecto a la metodología tradicional. Así, la idea hipotética formulada es verificada con éxito al constatar que la implementación de la fotogrametría con drones y la metodología BIM permite una reducción del 48,3 % en el tiempo requerido, en comparación con la metodología tradicional.

DEDICATORIA

A mi madre María Marlene Muñoz Góngora, a mi padre Manuel Asención Fernández Yóplac y a mi hermano Briam Alexander Fernández Muñoz por estar a mi lado impulsándome a cumplir mis metas.

A mi enamorada Greyci Rodríguez Torres por su apoyo incondicional durante mi etapa universitaria.

Al ingeniero Fernando Campos De la Cruz por su paciencia y todos los consejos brindados para el desarrollo de la presente tesis.

Al equipo de ingenieros Víctor Hugo Pinedo Ruiz, Elvis Silupu, Edwin Urrunaga y Aureliano Orellana, ya que el desarrollo de mi tesis no habría sido posible sin el invaluable apoyo y conocimiento de este equipo de ingenieros excepcionales.

Al ingeniero Alex Matos y el equipo de Istram por brindarme las herramientas adecuadas para el desarrollo de la presente tesis.

Índice

1	Capítulo 1. Introducción.....	13
	1.1 Planteamiento del problema	13
	1.2 Antecedentes	16
	1.3 Objetivos	17
	1.4 Hipótesis.....	18
	1.5 Justificación.....	18
	1.6 Alcances y Limitaciones	19
2	Capítulo 2. Marco Teórico	20
	2.1 Conceptualización BIM.....	20
	2.1.1 Ciclo de vida de un proyecto BIM	22
	2.2 Usos y beneficios BIM en una carretera	26
	2.3 Fotogrametría con drones.....	29
	2.3.1 Topografía	29
	2.3.2 Geodesia.....	30
	2.3.3 Fotogrametría	32
	2.4 Interoperabilidad de Agisoft Metashape e Istram	36
	2.5 Diseño geométrico de carreteras	36
	2.5.1 Clasificación por IMDA.....	37
	2.5.2 Clasificación por orografía.....	37
	2.5.3 Vehículo de diseño.....	38
	2.5.4 Velocidad de diseño	39
	2.5.1 Diseño de alineamiento horizontal.....	41
	2.5.2 Peraltes	42
	2.5.3 Sobreechancho.....	47
	2.5.1 Diseño de alineamiento vertical	48
	2.5.1 Distancia de velocidad de parada.....	48
	2.5.2 Distancia de visibilidad de adelantamiento.....	49
	2.5.3 Secciones transversales	52
3	Capítulo 3. Metodología.....	54
4	Capítulo 4. Aplicación de fotogrametría con drones, procesamiento de datos y diseño geométrico de la carretera en el proyecto.....	56

4.1	Aplicación de fotogrametría con drones	56
4.1.1	Equipos utilizados	56
4.1.2	Flujo de trabajo en campo	59
4.1.3	Vuelos de drones	61
4.2	Procesamiento de datos	62
4.2.1	Flujo de trabajo en Agisoft Metashape	62
4.2.2	Importación de fotos	62
4.2.3	Orientación de fotografías	63
4.2.4	Creación de nube de puntos densa.	63
4.2.5	Clasificación de puntos	64
4.2.6	Creación de mallas y textura.	64
4.2.7	Creación de modelo digital de elevaciones (MDE).	65
4.2.8	Creación del Ortomosaico	65
4.2.9	Creación de curvas de nivel	66
4.3	Diseño de la carretera en Istram	67
4.3.1	Alternativa 1	67
4.3.2	Diseño de alineamiento horizontal	72
4.3.3	Diseño de alineamiento vertical	80
4.3.4	Secciones transversales	84
4.3.5	Alternativa 2	88
4.3.6	Diseño de alineamiento horizontal	89
4.3.7	Diseño de alineamiento vertical	91
4.3.8	Secciones transversales	93
4.3.9	Alternativa 3	94
5	Capítulo 5. Análisis Comparativo de un Enfoque Tradicional VS. BIM	101
5.1	Consulta a Expertos Especializados	101
5.2	Análisis de resultados	102
5.3	Evaluación de rutas	109
6	Capítulo 6. Conclusiones y recomendaciones	114
6.1	Conclusiones	114
6.2	Recomendaciones	115
7	Referencias	117

Lista de Tablas

Tabla 1 <i>Clasificación por IMDA</i>	37
Tabla 2 <i>Clasificación por orografía</i>	38
Tabla 3 <i>Características de vehículos de diseño</i>	38
Tabla 4 <i>Velocidad de diseño</i>	39
Tabla 5 <i>Valores de peralte máximo</i>	40
Tabla 6 <i>Fricción transversal máxima en curvas</i>	40
Tabla 7 <i>Radios mínimos y peraltes máximos para diseño de carreteras</i>	41
Tabla 8 <i>Longitudes de tramos en tangente</i>	41
Tabla 9 <i>Longitud mínima de curva</i>	42
Tabla 10 <i>Valores de peralte máximo</i>	43
Tabla 11 <i>Valores mínimos de transición de peralte y bombeo</i>	44
Tabla 12 <i>Radios que permiten prescindir de curvas de transición en carreteras de tercera clase</i>	44
Tabla 13 <i>Variación de la aceleración transversal por unidad de tiempo</i>	45
Tabla 14 <i>Longitud mínima de transición</i>	45
Tabla 15 <i>Factores de reducción del sobreancho para anchos de calzada en tangente de 7.2 m</i>	47
Tabla 16 <i>Pendientes máximas</i>	48
Tabla 17 <i>Distancia de velocidad de parada</i>	49
Tabla 18 <i>Porcentaje de la carretera con visibilidad adecuada</i>	50
Tabla 19 <i>Ancho mínimo de calzada</i>	52
Tabla 20 <i>Valores del bombeo de la calzada</i>	53
Tabla 21 <i>Ancho de berma</i>	53
Tabla 22 <i>Taludes de corte</i>	54
Tabla 23 <i>Taludes de relleno</i>	54
Tabla 24 <i>Clasificación de carreteras de acuerdo con la demanda</i>	68
Tabla 25 <i>Clasificación de carreteras de acuerdo con su orografía</i>	68
Tabla 26 <i>Velocidad de diseño</i>	70
Tabla 27 <i>Valores de peralte máximo</i>	70
Tabla 28 <i>Fricción transversal máxima en curvas</i>	71
Tabla 29 <i>Radio mínimo</i>	71
Tabla 30 <i>Longitudes de tramos en tangente</i>	72
Tabla 31 <i>Longitudes máximas en S y O</i>	73

Tabla 32 <i>Longitud mínima de curva</i>	73
Tabla 33 <i>Valores de peralte máximo</i>	74
Tabla 34 <i>Valores mínimos de transición de peralte y bombeo</i>	75
Tabla 35 <i>Radios que permiten prescindir de curvas de transición en carreteras de tercera clase</i>	75
Tabla 36 <i>Variación de la aceleración transversal por unidad de tiempo</i>	76
Tabla 37 <i>Longitud mínima de transición</i>	77
Tabla 38 <i>Longitud de transición</i>	78
Tabla 39 <i>Curvas de inflexión</i>	79
Tabla 40 <i>Pendientes máximas</i>	80
Tabla 41 <i>Distancia de velocidad de parada</i>	80
Tabla 42 <i>Porcentaje de la carretera con visibilidad adecuada</i>	81
Tabla 43 <i>Cálculo de Longitud mínima de curvas verticales</i>	83
Tabla 44 <i>Ancho mínimo de calzada</i>	85
Tabla 45 <i>Tabla climática Limabamba</i>	85
Tabla 46 <i>Valores del bombeo de la calzada</i>	85
Tabla 47 <i>Ancho de berma</i>	86
Tabla 48 <i>Taludes de corte</i>	86
Tabla 49 <i>Taludes de relleno</i>	87
Tabla 50 <i>Corte y relleno alternativa 1</i>	87
Tabla 51 <i>Radios mínimos</i>	89
Tabla 52 <i>Curvas de inflexión</i>	91
Tabla 53 <i>Cálculo de distancia de parada</i>	92
Tabla 54 <i>Cálculo de Longitud mínima de curva vertical</i>	92
Tabla 55 <i>Corte y relleno alternativa 2</i>	93
Tabla 56 <i>Radios mínimos y peraltes máximos para diseño de carreteras</i>	94
Tabla 57 <i>Longitudes de tramos en tangente</i>	95
Tabla 58 <i>Valores de peralte máximo</i>	96
Tabla 59 <i>Valores mínimos de transición de peralte y bombeo</i>	97
Tabla 60 <i>Radios que permiten prescindir de curvas de transición en carreteras de tercera clase</i>	97
Tabla 61 <i>Longitud de transición</i>	98
Tabla 62 <i>Longitud mínima de curva vertical</i>	98
Tabla 63 <i>Corte y relleno alternativa 3</i>	100

Tabla 64 <i>Resultados del Ingeniero Aureliano Orellana</i>	103
Tabla 65 <i>Resultados del Ingeniero Edwin Urrunaga</i>	104
Tabla 66 <i>Resultados del Ingeniero Elvis Silupu</i>	105
Tabla 67 <i>Valores representativos</i>	106
Tabla 68 <i>Cálculo de longitud resilente de la propuesta 1</i>	110
Tabla 69 <i>Cálculo de longitud resilente de la propuesta 2</i>	111
Tabla 70 <i>Cálculo de longitud resilente de la propuesta 3</i>	112
Tabla 71 <i>Evaluación de longitud resilente</i>	113
Tabla 72 <i>Evaluación de costos</i>	113

ANEXOS

ANEXO A: PROYECCIÓN DE IMDA

ANEXO B: LISTADO DE ALINEACIONES DE TRAMOS RECTOS PROPUESTA 1

ANEXO C: LISTADO DE ALINEACIONES DE TRAMOS CURVOS PROPUESTA 1

ANEXO D: LISTADO DE PERALTES PROPUESTA 1

ANEXO E: CURVAS DE INFLEXIÓN PROPUESTA 1

ANEXO F: LISTADO DE ALINEACIONES DE TRAMOS RECTOS PROPUESTA 2

ANEXO G: LISTADO DE ALINEACIONES DE TRAMOS CURVOS PROPUESTA 2

ANEXO H: LISTADO DE PERALTES PROPUESTA 2

ANEXO I: CURVAS DE INFLEXIÓN PROPUESTA 2

ANEXO J: LISTADO DE ALINEACIONES DE TRAMOS RECTOS PROPUESTA 3

ANEXO K: LISTADO DE ALINEACIONES DE TRAMOS CURVOS PROPUESTA 3

ANEXO L: LISTADO DE PERALTES PROPUESTA 3

ANEXO M: EVALUACIÓN DE EXPERTOS

ANEXO N: PLANOS DE DISEÑO DE LA PROPUESTA 1

ANEXO O: PLANOS DE DISEÑO DE LA PROPUESTA 2

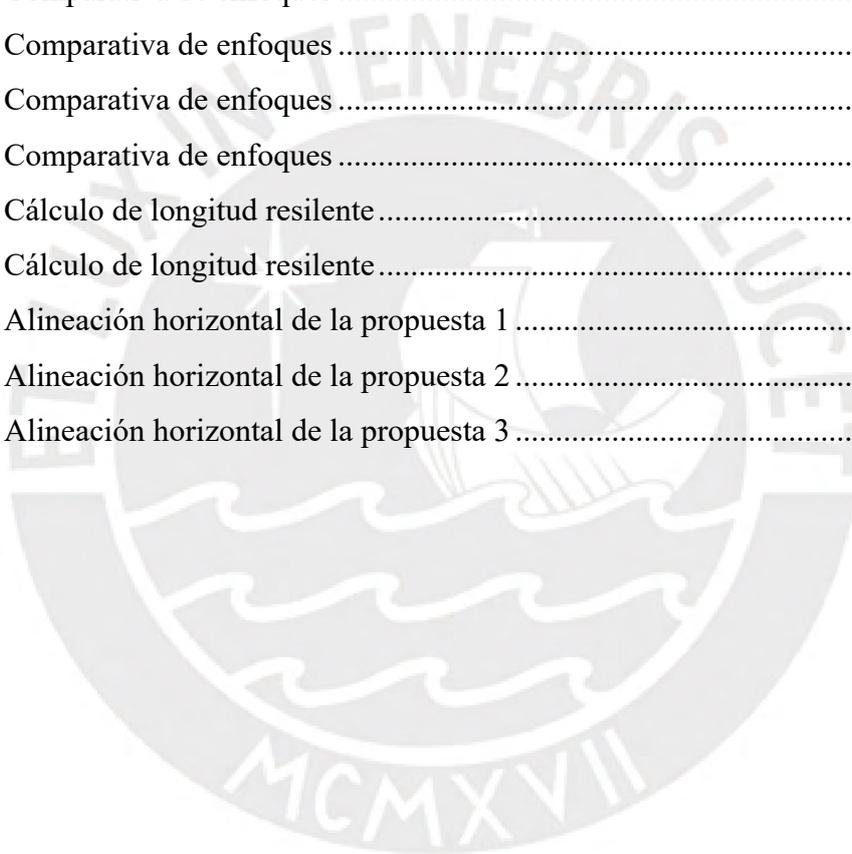
ANEXO P: PLANOS DE DISEÑO DE LA PROPUESTA 3

Lista de Figuras

<i>Figura 1.</i> Índices of labor productivity for manufacturing, off-site construction trades, and on-site construction trades, 1967–2015.	13
<i>Figura 2.</i> Terreno en buenas condiciones para fotogrametría con drones	16
<i>Figura 3.</i> Estado actual del camino peatonal	17
<i>Figura 4.</i> Value added, cost of changes, and current compensation distribution for design services.	21
<i>Figura 5.</i> Tecnología BIM la revolución de los proyectos de arquitectura.....	22
<i>Figura 6.</i> Usos BIM en Diferentes Etapas del Ciclo de Vida	26
<i>Figura 7.</i> Disposición del Cilindro de proyección en UTM.....	31
<i>Figura 8.</i> Distribución de los Husos a escala global	31
<i>Figura 9.</i> Husos y zonas del Perú.....	32
<i>Figura 10.</i> Traslapes frontal	33
<i>Figura 11.</i> Traslape lateral	34
<i>Figura 12.</i> Cálculo de distancia.....	35
<i>Figura 13.</i> Cálculo del G.S.D.....	35
<i>Figura 14.</i> Elementos de curva circular	42
<i>Figura 15.</i> Peralte en zona rural	43
<i>Figura 16.</i> Ecuación de Euler.....	45
<i>Figura 17.</i> Parámetros A y Lmin de clotoide.....	45
<i>Figura 18.</i> Limitación de la variación.....	46
<i>Figura 19.</i> Condición de longitud de transición para carreteras	46
<i>Figura 20.</i> Ecuación de sobreechancho	47
<i>Figura 21.</i> Distancia de visibilidad de adelantamiento	49
<i>Figura 22.</i> Despeje mínimo para asegurar la distancia de visibilidad.....	50
<i>Figura 23.</i> Longitud mínima de curva convexa con D_p	51
<i>Figura 24.</i> Longitud mínima de curva convexa con D_a	51
<i>Figura 25.</i> Longitud mínima de curva cóncava con D_p	52
<i>Figura 26.</i> Sección de pavimento.....	54
<i>Figura 27.</i> Diagrama de metodología.....	56
<i>Figura 28.</i> Dron mavic pro	57
<i>Figura 29.</i> Dron Phantom 3	57
<i>Figura 30.</i> Camioneta Nota.....	57

<i>Figura 31. Motocicleta lineal</i>	57
<i>Figura 32. Grupo electrógeno</i>	58
<i>Figura 33. Baterías extras</i>	58
<i>Figura 34. Celular</i>	58
<i>Figura 35. Grabación de la ruta</i>	60
<i>Figura 36. Programación de vuelo</i>	61
<i>Figura 37. Vuelo de dron</i>	61
<i>Figura 38. Flujo de trabajo en Agisoft Metashape</i>	62
<i>Figura 39. Importación de fotos</i>	63
<i>Figura 40. Orientación de fotografías</i>	63
<i>Figura 41. Nube de puntos densa</i>	64
<i>Figura 42. Mallas y textura en modelo</i>	64
<i>Figura 43. Modelo Digital de Elevaciones</i>	65
<i>Figura 44. Ortomosaico</i>	66
<i>Figura 45. Curvas de nivel</i>	66
<i>Figura 46. Pendiente transversal</i>	68
<i>Figura 47. Vehículo de diseño C2 camión simple de dos ejes</i>	69
<i>Figura 48. Radio mínimo</i>	71
<i>Figura 49. Trazo alternativa 1</i>	72
<i>Figura 50. Peralte en zona rural (Tipo 3 o 4)</i>	74
<i>Figura 51. Ecuación de Euler</i>	76
<i>Figura 52. Parámetro A y Lmin de clotoide</i>	76
<i>Figura 53. Limitación de la variación por estética y guiado óptico</i>	77
<i>Figura 54. Condiciones de longitud de transición para carreteras de tercera clase</i>	77
<i>Figura 55. Curva de inflexión o curva en S</i>	78
<i>Figura 56. Ecuación de Euler</i>	79
<i>Figura 57. Distancia de visibilidad de adelantamiento</i>	81
<i>Figura 58. Despeje por visibilidad</i>	81
<i>Figura 59. Despeje mínimo para asegurar la distancia de visibilidad</i>	82
<i>Figura 60. Longitud mínima de curva convexa con D_p</i>	82
<i>Figura 61. Longitud mínima de curva convexa con D_a</i>	82
<i>Figura 62. Longitud mínima de curva cóncava con D_p</i>	83
<i>Figura 63. Resumen de alineamiento vertical</i>	84
<i>Figura 64. Sección de pavimento</i>	87

<i>Figura 65.</i> Diagrama curva masa de alternativa 1.....	88
<i>Figura 66.</i> Radio mínimo.....	88
<i>Figura 67.</i> Resumen de alineamiento vertical.....	89
<i>Figura 68.</i> Resumen de alineamiento vertical alternativa 1.....	93
<i>Figura 69.</i> Diagrama curva masa de alternativa 2.....	94
<i>Figura 70.</i> Trazo de alternativa 3.....	95
<i>Figura 71.</i> Resumen de alineamiento vertical alternativa 2.....	100
<i>Figura 72.</i> Diagrama curva masa de alternativa 3.....	101
<i>Figura 72.</i> Formato de evaluación de expertos.....	102
<i>Figura 74.</i> Comparativa de enfoques.....	103
<i>Figura 75.</i> Comparativa de enfoques.....	104
<i>Figura 76.</i> Comparativa de enfoques.....	105
<i>Figura 77.</i> Comparativa de enfoques.....	106
<i>Figura 78.</i> Cálculo de longitud resilente.....	109
<i>Figura 79.</i> Cálculo de longitud resilente.....	109
<i>Figura 80.</i> Alineación horizontal de la propuesta 1.....	110
<i>Figura 81.</i> Alineación horizontal de la propuesta 2.....	111
<i>Figura 82.</i> Alineación horizontal de la propuesta 3.....	112



Capítulo 1. Introducción

1.1 Planteamiento del problema

De acuerdo con el World Economic Fórum, como se citó en Guía de la industria química (2018):

A nivel global, la construcción genera alrededor de 10 billones de dólares en ingresos anuales en promedio y agrega un valor de aproximadamente 3.6 billones de dólares. En economías en desarrollo, esta rama de la economía representa alrededor del 5% del Producto Interno Bruto (PIB), mientras que, en naciones industrializadas, su contribución puede llegar al 8%. En la actualidad, más de 100 millones de trabajadores se dedican a la industria de la construcción a nivel mundial. (p. 1)

Por lo tanto, se puede concluir que la construcción es una industria de gran importancia, debido a que genera una gran cantidad de puestos de trabajo; asimismo, es considerada una fuente notable para que un país pueda recaudar impuestos.

Por otro lado, la industria de la construcción es una importante pieza para impulsar el crecimiento económico y mejorar las condiciones sociales de un país. Con la finalidad de incrementar la velocidad de la construcción, se ha producido un crecimiento tecnológico constante. Este desarrollo tecnológico ha permitido que en el mercado se encuentre una gran cantidad de maquinaria que agiliza los procesos de producción y transporte. Además, la tecnología de prefabricación de elementos para la construcción se encuentra en auge en estos años; lo que genera una reducción importante de tiempo en la construcción. No obstante, la productividad en la construcción no ha crecido satisfactoriamente.

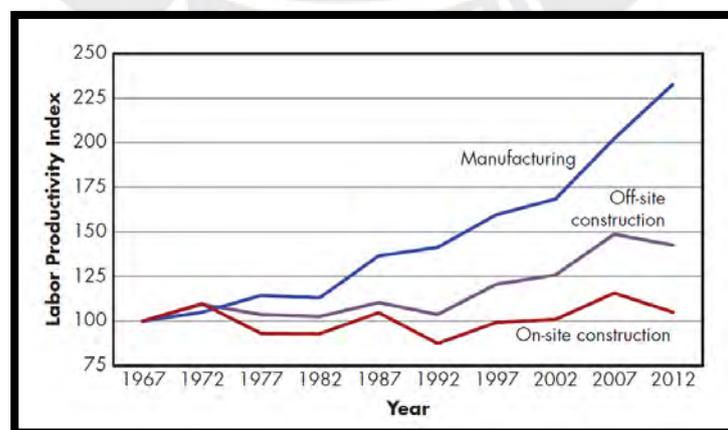


Figura 1. Indices of labor productivity for manufacturing, off-site construction trades, and on-site construction trades, 1967–2015.

Nota. Tomado de BIM handbook : a guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers and contractors: Vol. Third edition, por Sacks et al., 2018, John Wiley y Sons, Inc.

La figura muestra el año vs. el índice de productividad laboral. En consecuencia, se observa una diferencia de colores en las líneas. Por lo tanto, la línea roja muestra la construcción *in - situ*, la de color gris muestra la construcción *off - situ* y la línea azul hace referencia a la industria de manufactura.

De la Figura se podría destacar que hay dos tipos de industrias construcción, *on - site* y *off - site*. *On - site* se refiere a la construcción que se realiza en el sitio; por ejemplo, se podría indicar la construcción de una viga, a la cual se realiza un armado de acero, encofrado y, finalmente, el vaciado de concreto. Por otro lado, el *Off - site* se refiere a la construcción fuera del sitio; por ejemplo, una viga prefabricada en una planta de concreto que luego es trasladada hasta la obra. Del análisis de la Figura 1 se concluyó que la industria manufacturera ha incrementado su productividad con el pasar de los años mucho más que la construcción. En cuanto a la industria de la construcción realizada *in - situ*, esta no ha incrementado su producción; por el contrario, hubo años en los que disminuyó. A partir del aumento de la tecnología, la construcción *off - site*, a partir del año 1992 comenzó a crecer. Sin embargo, aún es menor que la industria manufacturera.

En lo concerniente con el marco de infraestructura vial, las carreteras son las principales vías de comunicación que interconectan los diferentes países y regiones del mundo. Estas conllevan al desarrollo económico y social de los pueblos. En ese sentido, los beneficios que trae consigo la construcción de una carretera se muestran cuando la vía se encuentra en buen estado y cuando su uso es armonioso y confortable. En el Perú, la red vial no se encuentra en buen estado, muestra de ello es que según el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2019), el 30 % de las vías existentes, pavimentadas y no pavimentadas, se encuentran catalogadas como “malas y regulares”. Esto acarrea un gran número de problemas, tanto en los transportistas, como en los pasajeros que usan las vías, puesto que aumenta el tiempo de viaje, los costos de los pasajes suben y, por ende, los precios de los productos aumentan.

Ahora bien, el Perú posee un problema aún más grave que el que se mencionó anteriormente, dado que existe una gran brecha en las aperturas de carreteras. Existen pobladores que, para llegar a su destino, deben caminar 8 horas o incluso mucho más. De acuerdo con la Escuela de Gestión Pública de la Universidad del Pacífico (2015), el Perú necesita un monto de USD 159,549 millones para cerrar la brecha de infraestructura. Uno

de los desajustes más grandes asciende al monto de USD 31,850 millones y se encuentra en el sector de transportes, específicamente en carreteras, lo que representa un 20 % de la brecha total. En este sector se encuentra la necesidad de pavimentación de vías, realizar la rehabilitación, mantenimiento y apertura (Gestión, 2016).

Según el portal del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC), en el 2021 la región Amazonas recibirá más de S/ 900 millones para proyectos de transportes y comunicaciones, de los cuales S/ 580 millones están destinados a la creación, reparación y cuidado de carreteras y caminos; sin embargo, esto aún no es suficiente para satisfacer la gran demanda de vías de comunicación en esta región; por ello, se deben identificar las vías con mayor urgencia de construcción para comenzar con el estudio y diseño correspondiente (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2021).

El inicio de un proyecto comienza con la identificación del problema; asimismo, realizar un estudio de la cantidad de personas que serán beneficiadas, con el fin de que con los datos obtenidos se analice la factibilidad del proyecto. Una vez aprobada la factibilidad se procede con el estudio correspondiente. Esto implica la elaboración del expediente técnico. Durante su ejecución, el expediente afronta múltiples dificultades, dentro de las cuales se encuentra la gran inversión de tiempo en el trabajo de campo y la elaboración del diseño con el mínimo error posible. No obstante, a pesar de los esfuerzos de realizar un diseño adecuado, cuando los expedientes se someten a la evaluación técnica y económica por parte del ente supervisor, se encuentran incompatibilidades y errores.

De acuerdo con Taquirre (2019) en su trabajo de investigación, el autor concluyó lo siguiente:

Las fallas examinadas en esta investigación abarcan aspectos que van desde el presupuesto, los planos, las mediciones, las especificaciones técnicas, hasta los estudios iniciales y los diseños, destacándose principalmente los errores en planos y diseños, que representan el mayor porcentaje, alcanzando un 76%. (p. 21)

Al analizar la conclusión, se destacó que los problemas más graves, al ejecutar una obra, nacen a raíz de una deficiente elaboración del expediente técnico. La elaboración de presupuestos, planos, metrados, especificaciones técnicas, estudios básicos y diseños son las actividades más propensas a sufrir errores.

Con la finalidad de minimizar las incompatibilidades que se generan en las etapas de diseño de proyecto y construcción, ha surgido la metodología BIM. Esta metodología es aplicable a todo tipo de proyectos de ingeniería; y tiene como finalidad realizar un trabajo colaborativo, analizar los problemas y solucionarlos antes de llegar a campo. De esta

manera, los expedientes técnicos contarán con una mejor calidad al minimizar la cantidad de incompatibilidades técnicas y económicas.

Gran parte de los problemas que se presentan en la etapa de la elaboración del expediente técnico se puede subsanar si se utiliza la metodología BIM. Esta metodología se aplicaría tanto a la etapa de la elaboración del expediente técnico, como a la etapa de la construcción. Por tal motivo, este trabajo de investigación se centró en la aplicación de la metodología BIM para la elaboración del expediente técnico. Así, el BIM es una metodología poderosa que ayuda a subsanar muchos de los problemas que se mencionaron. Sin embargo, es importante aclarar que BIM no es la solución a todos los problemas de la industria de la construcción.

1.2 Antecedentes

El distrito de Limabamba cuenta con varios caseríos, dentro de ellos Puma marca. Uno de los problemas más graves que enfrenta este caserío es que no cuenta con una carretera, dado que para llegar a Puma marca se debe realizar un viaje en vehículo de 15 minutos hasta el caserío de Pindicucho y luego caminar 8 horas aproximadamente.

Para la elaboración de la presente tesis se realizó una primera visita con la finalidad de recorrer el terreno y conocer la posibilidad de realizar fotogrametría con drones para el levantamiento fotogramétrico. En esta visita se encontró un terreno apto y en buenas condiciones para realizar la fotogrametría con drones.



Figura 2. Terreno en buenas condiciones para fotogrametría con drones

Nota. Elaboración propia

Observada la necesidad de la construcción de la carretera y ante la nula ayuda por parte de las autoridades, los pobladores decidieron realizar una trocha carrozable sin estudio. Por otro lado, los pobladores contaron solo con la ayuda y la experiencia del operador de una excavadora. Sin embargo, la trocha no se ejecutó en la totalidad, sino que se realizó aproximadamente 1km. El estado actual del camino peatonal se muestra en la siguiente imagen.



Figura 3. Estado actual del camino peatonal

Nota. Elaboración Propia

Tal y como se observa en la imagen, se constata que el camino destinado al tránsito peatonal no presenta condiciones óptimas para su uso, lo que puede representar un peligro potencial para los transeúntes que transitan por dicho camino. Es importante destacar que, a pesar de las condiciones desfavorables, los residentes de la zona hacen uso con frecuencia del camino peatonal en cuestión.

1.3 Objetivos

Objetivo general:

Elaborar una propuesta de reducción de tiempo de diseño geométrico de la carretera mediante el uso de la fotogrametría con drones y el uso del software istram, integrados a la metodología BIM.

Objetivos específicos:

- Determinar el tiempo de levantamiento fotogramétrico y estimar el tiempo de levantamiento topográfico con metodología tradicional mediante juicio de expertos.

- Determinar el tiempo de procesamiento fotogramétrico y estimar el tiempo de procesamiento con metodología tradicional mediante juicio de expertos, hasta obtener los planos topográficos.
- Realizar el diseño geométrico de la carretera mediante la metodología BIM con el software Istram.
- Comparar el tiempo que tomaría diseñar la carretera, mediante juicio de expertos, de manera tradicional y utilizando metodología BIM.

1.4 Hipótesis

El uso de la fotogrametría con drones y el software Istram, articulados con la metodología BIM disminuye el tiempo del diseño geométrico de la carretera Pindicucho – Puma marca en al menos 20 % con respecto a la metodología tradicional.

1.5 Justificación

En la región Amazonas, provincia Rodríguez de Mendoza, distrito de Limabamba, se encuentra el caserío Puma marca. Dicho caserío no cuenta con carretera y para llegar las personas deben caminar un promedio de 4 horas. La población realizó el inicio de una trocha de 3km aproximadamente, pero por falta de recursos ha sido abandonada. Además, la municipalidad del distrito no presenta un proyecto por falta de recursos económicos. Por ello, el inicio de la trocha se ubica en el caserío de Pindicucho y tiene como destino Puma marca. La trocha tiene muchas deficiencias y no cuenta con ningún tipo de estudio, por ello, el diseño geométrico correcto de una carretera beneficiaría a todo un caserío.

El distrito de Limabamba se caracteriza por ser una zona con alta productividad agrícola y ganadera, que diariamente transporta productos como café, pitajaya, papaya, naranja y otros, hacia diferentes distritos y provincias. Por otro lado, existe un alto tránsito de vehículos tipo camión C2, que es generado por la actividad ganadera, las reses son transportadas con fines alimenticios y reproductivos hacia muchas ciudades de la costa del Perú como Chiclayo, Trujillo y Lima.

En el distrito de Limabamba alrededor del 80 % de su población se dedica principalmente a actividades agropecuarias. Por tanto, llevar a cabo tanto el diseño geométrico de la carretera, como su construcción tendría un impacto positivo para el crecimiento económico y bienestar social de dicha población. Cabe destacar que con la apertura de la carretera hacia Puma marca se abre la posibilidad de desarrollar turismo de aventura en cascadas, así como la creación de rutas turísticas para conocer la rica flora y fauna de la

zona. En particular, se destaca la presencia de una amplia variedad de orquídeas en Puma marca, lo que representa una oportunidad única para su apreciación y estudio.

El diseño total de la carretera que una estos dos caseríos comprenderá una longitud aproximada de 10 km. Sin embargo, en la presente tesis se realizará el diseño de los primeros 3 kilómetros. De esta manera se estará contribuyendo con el cierre de brechas en infraestructura vial en el Perú y, en específico, con la provincia Rodríguez de Mendoza. Los beneficios que origina la construcción de esta vía son múltiples; por ejemplo, la distribución y comercio de productos se realizará de manera más rápida y fluida. Asimismo, se beneficiarán otros distritos como Santa Rosa, Totorá, Chirimoto y Milpuc, todos pertenecientes a la Mancomunidad del Valle Shocol, debido a que estos distritos comparten las principales actividades económicas del distrito de Limabamba. Por lo que la construcción de esta carretera generaría un desarrollo integral en 5 distritos de la provincia Rodríguez de Mendoza.

1.6 Alcances y Limitaciones

La presente tesis se centró en el levantamiento fotogramétrico, procesamiento de datos y diseño geométrico de la carretera al emplear la metodología BIM. El levantamiento fotogramétrico se realiza *in situ* con la ayuda de un dron. Por su parte, el procesamiento de datos implica la transformación de las fotografías en planos topográficos y una ortofoto. El diseño geométrico de la carretera al usar la metodología BIM consiste en utilizar los planos topográficos y la ortofoto para elaborar tres propuestas de diseño. Finalmente, se realizó la consulta a expertos acerca del tiempo que tomaría implementar dichas actividades y con ello se evaluaron los tiempos en porcentajes.

En el proyecto se entregan los siguientes resultados:

- Planos topográficos y ortofoto de la carretera.
- Planos de alineamiento horizontal, vertical y secciones transversales.
- Diagramas de curva masa.
- Porcentajes de evaluación de metodología tradicional vs. BIM.

La precisión de los equipos es variada. Esto depende del tipo de GPS que tengan los drones. El dron mavic pro, con el cual se realizó el levantamiento del terreno tiene un GPS glonas de precisión $\pm 0.5\text{m}$ en vertical y $\pm 1.5\text{m}$ en horizontal (DJI, n.d.). Mientras que los GPS diferenciales tienen una precisión de $\pm 3\text{mm}$ (Ccapa, 2021), en la toma de datos. En la presente tesis no se usaron GPS diferencial, una limitación que se presenta

por el costo de alquiler de estos equipos. Se utilizará el GPS del propio dron para la toma de imágenes y el procesamiento de datos. Es importante destacar que los dispositivos empleados en el procesamiento de datos cuentan con recursos significativos, tales como una memoria RAM de 64GB y una tarjeta gráfica RTX 3060.

Capítulo 2. Marco Teórico

En el presente capítulo se desarrollan los conceptos necesarios para contextualizar y argumentar los procesos a realizar en la propuesta. En primer lugar, se define la metodología BIM y la aplicación al diseño geométrico de carreteras. Por otro lado, se explican los alcances que debe tener un proceso BIM y los beneficios de utilizar esta metodología. En segundo lugar, se define la fotogrametría mediante drones, los alcances, limitaciones y procedimiento a seguir para realizar un proceso fotogramétrico. Este proceso se implementó con el propósito de encontrar las curvas de nivel y posteriormente realizar el diseño geométrico de la carretera. En tercer lugar, señalar la interoperabilidad de los programas BIM asociados con los que se trabaja, como Istram y Agisoft Metashape. Finalmente, se desarrollaron los conceptos para el diseño geométrico de carreteras.

2.1 Conceptualización BIM

El concepto BIM (Building Information Modeling) o Modelado de la Información para la Construcción se conoce desde hace más de 15 años en el mundo. A pesar de que se conocía esta metodología, no se instauraba con una debida reglamentación. El Gobierno del Reino Unido fue el que decidió reglamentarla y utilizarla. A partir del avance de la investigación se llegaron a normas internacionales, como la ISO 19650 (Ministerio de Economía y Finanzas del Perú, 2020).

Asimismo, la adaptación de BIM en diferentes países ha generado que la definición sea transformada a varias versiones, de acuerdo con el contexto de cada lugar. De acuerdo con el Ministerio de Economía y Finanzas (2021):

BIM representa un enfoque de colaboración que se apoya en la implementación de procedimientos, normativas, recursos y tecnologías para la representación digital de información relacionada con una construcción o infraestructura a lo largo de su existencia, mediante la utilización de una plataforma de información compartida. (p. 1)

La tecnología es una característica intrínseca de la metodología BIM. Para aplicar la metodología BIM, resulta necesario hacer uso de uno o varios softwares. Sin embargo, la metodología BIM no es un software o un programa de computadora, sino que son las personas las que aplican esta metodología mediante el uso de herramientas tecnológicas en computadoras. BIM tampoco es un modelo en 3D, sino que estos modelos son utilizados por la metodología para asimilar información y compartirla. Los proyectos BIM tienen varias disciplinas como la arquitectura, la ingeniería y la construcción (AEC), que, a su vez, contienen más subdisciplinas. La información que recopile cada disciplina encargada de un proyecto BIM debe ser almacenada en el CDE (Entorno Común de Datos) y, posteriormente, compartida con todos los miembros del equipo para la toma de decisiones de conceptualización y diseño. Por tanto, es pertinente crear un modelo digital de cada disciplina y luego vincularlas, con la finalidad de buscar incompatibilidades y solucionarlas.

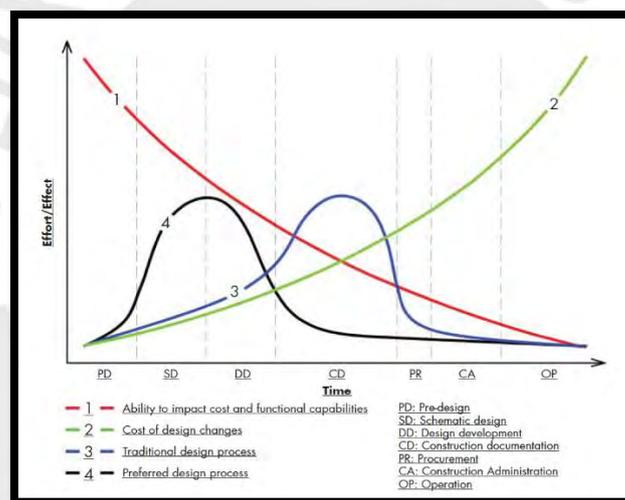


Figura 4. Value added, cost of changes, and current compensation distribution for design services.

Nota. Distribución del esfuerzo de tiempo en las fases de un proyecto de ingeniería basado en la metodología BIM y metodologías tradicionales. La curva roja representa la capacidad de impactar en los costos, la curva verde representa el costo de los cambios de diseño, la curva azul representa el proceso de diseño tradicional y la curva de color negro representa el proceso de diseño preferido (BIM). Tomado de *BIM handbook : a guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers and contractors: Vol. Third edition*, por Sacks et al., 2018, John Wiley y Sons, Inc.

Al realizar el análisis de la Figura 2 se concluyó que los costos del diseño de un proyecto se modificarían con menor esfuerzo en la etapa de prediseño, y que a medida que avanzan las etapas el costo de un cambio de diseño aumenta. Esto quiere decir que, si el cliente desea hacer un cambio en el proyecto en esta etapa de prediseño, los costos serán mucho menores que cuando se encuentra en etapa de construcción. El proceso de diseño tradicional se puede optimizar en gran medida si utilizamos la metodología BIM.

2.1.1 Ciclo de vida de un proyecto BIM

El proceso BIM se aplica a todo el ciclo de vida de un proyecto y es fundamental para lograr ahorros en los costos. Por lo tanto, para conocer los beneficios de utilizar la metodología BIM, primero hay que conocer el ciclo de vida de un proyecto BIM.

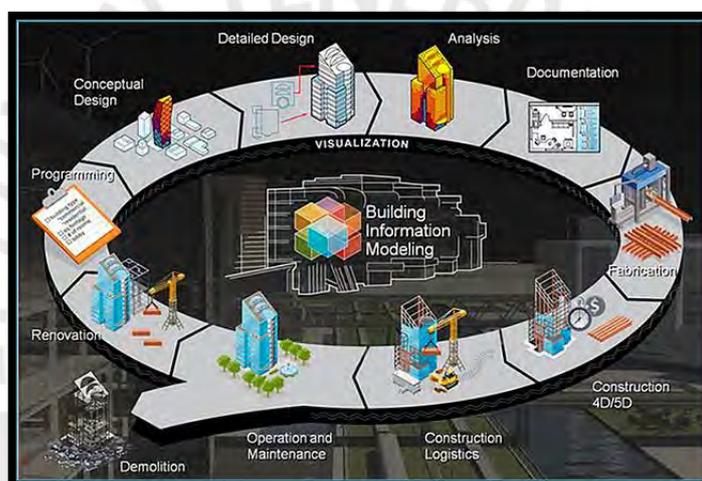


Figura 5. Tecnología BIM la revolución de los proyectos de arquitectura

Nota. Ciclo de vida de un proyecto BIM. Tomado de *Tecnología BIM la revolución de los proyectos de arquitectura*, por EADIC, 2016, <https://www.eadic.com/tecnologia-bim-la-revolucion-de-los-proyectos-de-arquitectura/>

La fase inicial de un proyecto BIM se inicia con la concepción de la idea del proyecto y su programación. Este finaliza con la renovación del proyecto. Por otro lado, el término finalización hace referencia a la renovación, como el inicio de un nuevo ciclo. En un proceso BIM, los integrantes del proyecto, como el cliente, consultor, constructor, etc., deben estar presentes en cada una de las etapas del ciclo de vida. La finalidad es que cada etapa del ciclo de vida del proyecto se encuentre en las mejores condiciones y expectativas. A continuación, se desarrollan cada una de las etapas del ciclo de vida enfocada en proyectos de carreteras (Acuña, 2016).

2.1.1.1 Programación

Es la etapa inicial de un proyecto donde se mide el costo-beneficio del proyecto. A partir de los resultados se analiza la factibilidad del proyecto. La factibilidad en carreteras se define con base en el análisis de los siguientes parámetros:

- Cantidad de población beneficiaria y la actividad económica a la que se dedican.
- Longitud aproximada de carretera.
- Costo aproximado de carretera, la cual se realiza con base en ratios de construcción, en este caso a cantidad de soles por kilómetro construido.
- Cantidad de empleos generados directa e indirectamente por la construcción.
- Limitantes técnicas, económicas y sociales.

Una vez que se hayan obtenido estos resultados, es posible conocer el costo-beneficio aproximado y, en ese caso, se define si el proyecto es factible o no.

2.1.1.2 Diseño conceptual

Esta etapa se realiza una vez que se ha aprobado la factibilidad del proyecto. En el caso de carreteras, se elaboran las distintas rutas de carreteras con la finalidad de encontrar la ruta más corta y económica. Para encontrar la mejor ruta, es necesario realizar ciertas labores usando una topografía referencial, como encontrar las longitudes de las distintas rutas propuestas, movimiento de tierras, posibles instalaciones de puentes, alcantarillas y andenes. Estas actividades se realizan mediante el uso de herramientas BIM, que se documenta y analiza con los miembros del equipo de diseño para elegir la mejor ruta.

2.1.1.3 Diseño de detalle

Una vez definida la ruta, se realizan los estudios y diseños definitivos. En el diseño de una carretera nueva, se deben realizar los siguientes estudios de ingeniería:

- Estudio topográfico, en el caso de esta investigación, este estudio se realizará mediante fotogrametría con drones.
- Diseño geométrico.
- Diseño del pavimento.
- Análisis de riesgos y vulnerabilidad.

- Estudio de señalización y seguridad.
- Plan de seguridad ocupacional.

Para realizar estos diseños, es necesario utilizar herramientas BIM, los manuales de diseño y las normas técnicas.

2.1.1.4 Análisis

Al terminar el diseño detallado del proyecto, este debe pasar por un proceso de digitalización a través de herramientas BIM. En el caso de carreteras, realizar el proceso de digitalización tiene grandes beneficios que mencionamos a continuación.

- Encontrar posibles errores de diseño e interferencias.
- Elaboración de diagramas de masa.
- Análisis hidráulico de sistema de drenaje.
- Elaboración de simulaciones constructivas, con la finalidad de optimizar los recursos y el tiempo.

2.1.1.5 Documentación

Al subsanar los posibles errores e interferencias del modelo, se procede a documentar el proyecto. Los documentos por presentar son los siguientes:

- Memoria descriptiva.
- Especificaciones técnicas.
- Planos.
- Memorias de cálculo.
- Reporte de diseño.
- Metrados.
- Presupuesto.
- Estudios de ingeniería.

2.1.1.6 Fabricación

Esta etapa inicia con la ejecución física del proyecto. En esta etapa se utiliza en gran medida la construcción *off-site*, que produce elementos prefabricados. Esta etapa se realiza para agilizar el proceso de construcción y mantener la calidad adecuada en los elementos. En proyectos de carreteras, no se obtiene directamente para la carretera en sí, se puede obtener elementos para puentes de este modo:

- Vigas.
- Pilotes.
- Puentes metálicos.

2.1.1.7 Construcción (4D/5D)

En esta etapa se vincula el cronograma de ejecución (4D), este puede incluir valorizaciones y con ello es posible estimar los costos de cada etapa de construcción (5D). Para realizar esta actividad, es necesario utilizar las herramientas BIM, que permitan extraer información de cada uno de los elementos que componen el proyecto; asimismo, cuantificar la cantidad de materiales y sus costos respectivos. Adicionalmente, es posible identificar diferentes conflictos de otras disciplinas que intervienen en el proyecto.

2.1.1.8 Logística y construcción

Esta etapa se realiza en paralelo a la construcción. La metodología BIM interviene en esta etapa al implementar el control y seguimiento del proyecto. Por lo tanto, se analizó si las actividades programadas coinciden con las ejecutadas. De esta manera, es posible conocer automáticamente el progreso de la construcción. Asimismo, es posible encontrar las posibles interferencias que podrían existir. Por ejemplo, en la ejecución de obra de una carretera se encuentran interferencias con los sistemas de agua y desagüe, de esta manera, se puede estar pendiente para minimizar estas interferencias.

2.1.1.9 Operación y mantenimiento

Cuando la etapa de construcción ha finalizado y es puesta en servicio, se podría utilizar el modelo BIM para planificar el mantenimiento respectivo. Se realizan estas actividades con la finalidad de que el proyecto se desempeñe correctamente durante su tiempo de vida útil.

2.1.1.10 Demolición

Cuando ha finalizado la vida útil de un proyecto, se procede con la demolición de este. Por su parte, el modelo BIM permitirá clasificar el tipo de material existente y determinar cuáles son los mejores equipos para proceder con la demolición. De la misma manera, es

posible clasificar los residuos y eliminarlos de manera que no contamine el medio ambiente.

2.1.1.11 Renovación

En esta etapa, se analizó el proyecto anterior y la posibilidad de renovar el proyecto. El modelo BIM del proyecto anterior permite hacer modificaciones, mejorar ciertos aspectos y actualizar el modelo a las normas de diseño actuales.

2.2 Usos y beneficios BIM en una carretera

Existen muchos usos BIM que se pueden aplicar en el ciclo de vida de un proyecto. Sin embargo, se resaltaron los usos más importantes y los que se aplican a obras viales, específicamente a carreteras. Estos usos se podrían clasificar de la siguiente manera: recopilación, creación, comunicación, análisis y producción de información (Ministerio de Economía y Finanzas del Perú, 2020). Los beneficios de utilizar la metodología BIM son varios, pero esto no significa que la aplicación de esta metodología brinde resultados inmediatos. Al inicio de la aplicación de la metodología, cada proyecto obtiene diferentes beneficios, por lo que la aplicación de BIM en los proyectos debe ser de manera gradual.

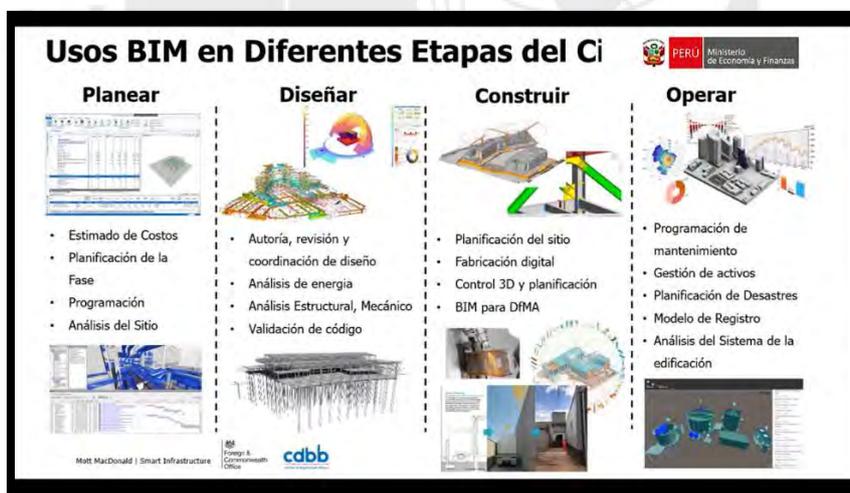


Figura 6. Usos BIM en Diferentes Etapas del Ciclo de Vida

Nota. Usos típicos BIM, en las etapas de planificación, diseño, construcción y operación. Tomado de Conferencia: *Fundamentos de Building Information Modelling (BIM)*, por Ministerio de Economía y Finanzas del Perú, 2020, https://www.youtube.com/watch?v=FGcIcyGoUOs&t=3429s&ab_channel=MinisteriodoEconom%C3%ADayFinanzasdelPer%C3%BA

Durante la etapa de planificación se pudo realizar una estimación de los costos, dado que cada elemento perteneciente al modelo posee información valiosa, como precios unitarios y tipo de material. Para obtener la estimación de costos, se utilizó cada uno de los usos BIM mencionados. Por ejemplo, en la planificación de una carretera, se tienen 3 diferentes rutas a evaluar y todos los tramos son de 1km de longitud. Cada uno de los tramos tiene información, como volúmenes de corte y relleno, con esta información se estiman los costos de movimiento de tierras e identificar el tramo más económico y encontrar el tramo viable. En la etapa de diseño, se ejecutan revisiones y coordinaciones de las creaciones de diseño. Por ejemplo, los tramos a construir de una carretera contienen información valiosa, como la geología y tipos de suelos. Si un tramo contiene un tipo de suelo rocoso, necesariamente se tendrá que realizar obras de perforación y voladura de roca. En la etapa de diseño, se puede evaluar con los profesionales a cargo si es viable esta opción o si se debiera considerar una nueva ruta. En la etapa de construcción, todo el equipo de trabajo se mantiene en comunicación para la planificación del sitio y la fabricación; por ejemplo, en la construcción de una carretera se realizan simulaciones para ejecutar la construcción con un frente de trabajo o más frentes de trabajo. De esta manera, es posible encontrar la mejor planificación de trabajo, optimizando los costos. En la etapa de operación, se programaría el mantenimiento que se realizará al proyecto terminado. Por ejemplo, una vez finalizada la construcción de una carretera, se presenta un plan de mantenimiento, planificación de posibles desastres naturales y el análisis de cómo y cuándo comenzar con el mantenimiento de la carretera.

La finalidad de estos ejemplos consiste en mostrar los usos BIM en cada etapa del ciclo de vida de proyectos de carreteras. Los beneficios de utilizar la metodología BIM, según el Ministerio de Economía y Finanzas (2021), son los siguientes:

1. Colaboración:

Criterios establecidos para la implicación, transmisión y compartición de datos.

2. Transparencia:

Elecciones concretas fundamentadas en una gestión efectiva de los datos.

3. Prevención:

Disminuye la posibilidad de conflictos por incompatibilidades.

4. Trazabilidad:

Mayor capacidad para supervisar y anticipar situaciones futuras.

5. Integración:

Facilita la inclusión plena de una variedad de partes interesadas en la ejecución y aplicación de BIM en un proyecto financiado con fondos públicos.

6. Tiempo:

Un mayor dominio de los plazos en todas las etapas del proyecto de inversión.

7. Eficiencia:

Economía de recursos gubernamentales. Menor gasto y tiempos más cortos.

8. Calidad:

Una mayor supervisión de la excelencia de las inversiones en construcciones e infraestructura.

En el Perú se está empleando la metodología BIM desde hace más de 10 años, pero el esfuerzo más grande que hizo consistió en la creación del plan nacional de infraestructura para la competitividad, publicada en el 2019 (Ministerio de Economía y Finanzas, 2021). A continuación, se presentan dos proyectos donde se obtuvieron todos los beneficios de usar BIM (Ministerio de Economía y Finanzas del Perú, 2020).

El ejemplo más reciente y uno de los más conocidos en la industria radicó en la creación de la Videna para los juegos Panamericanos Lima 2019. Videna, el principal desafío fue la coordinación de 5 recintos de alta complejidad en 17 meses. Este proyecto se integró en un lugar donde ya había edificios existentes de carácter deportivo. Dado el poco tiempo que se tenía para el diseño, planificación y construcción, la coordinación del proyecto tenía que ser de muy alto nivel y también el trabajo remoto. Antes de iniciar se propusieron los objetivos: lograr una edificación de alto desempeño que sea construible, funcional, sostenible y operable. En ese punto, el BIM fue clave, al ver los modelos 3D y 4D, los contratistas ya sabían cómo iban a construir y entregar la infraestructura. Se utilizaron drones y el escáner laser para el control del proyecto, dado que el diseño arquitectónico se realizaba en el Reino Unido. Mientras que las distintas especialidades en el Perú, los principales usos del BIIM fueron los siguientes: **coordinación 3D**, que mediante esta coordinación se pudo encontrar las interferencias, designar a los responsables para su rápida solución, durante el proyecto. Por lo tanto, se solucionaron más de 3000 incompatibilidades y se gestionaron más de 60 modelos BIM. **Análisis aerodinámico** para analizar el comportamiento del viento, el cual influía en el tiempo de recorrido de los atletas. En esa medida, se transformaron los vientos en contra de los atletas a vientos a favor para que así puedan mejorar sus tiempos. **Modelación y coordinación 4D**, debido a que existían gran cantidad de elementos prefabricados, el BIM fue de gran ayuda, dado que se pudo planificar y coordinar la secuencia e instalación de

los elementos. *Estimación Metrados y especificaciones técnicas* de cada elemento. *Visualización con realidad virtual*, se emplearon para mejor flexibilidad en la elaboración de los modelos. Asimismo, ayudó a la colaboración entre disciplinas.

Otro ejemplo de aplicación de la metodología BIM es el puente NANAY, el cual será un viaducto de 2.2km de largo que unirá los distritos de Bellavista con el de Santo Tomás. Actualmente se puede llegar solo en avión o barco. Es la ciudad más grande del mundo al que no se puede llegar por carretera. El MTC, está implementado el BIM, para implementar el uso de los recorridos virtuales en 3D de proyectos de carreteras o puentes con la finalidad de acordar con la población criterios generales de diseño considerando que dichas vías atraviesan a varios distritos y que impactan de diferente manera a cada lugar.

La metodología BIM, se puede aplicar a todo tipo de proyectos de ingeniería. Sin embargo, existe mucha más información de la aplicación de la metodología a proyectos de edificación. En las obras viales como carreteras, recientemente se está aplicando la metodología BIM y una de las herramientas más poderosas que se usa es la fotogrametría con drones. Con la finalidad de obtener una digitalización del terreno, realizar los diseños, minimizar las incompatibilidades que se presenten en obra y realizar una planificación adecuada de la ejecución del proyecto.

2.3 Fotogrametría con drones

En este capítulo se desarrollaron previamente los conceptos de topografía y geodesia para introducir la fotogrametría con drones. El desarrollo de los conceptos anteriores corresponde a que estas disciplinas han sido estudiadas durante mucho más tiempo. Gracias a los avances tecnológicos, la fotogrametría se fue desarrollando, pero todos los conceptos de esta disciplina están fundamentados en la topografía y la geodesia.

2.3.1 Topografía

Según Alcántara (2014) la topografía se define de la siguiente manera:

La topografía se enfoca en la determinación de las ubicaciones relativas o absolutas de puntos en la superficie terrestre, y se centra en la representación de una porción específica de la tierra en un plano. En otras palabras, se dedica al estudio de las técnicas y prácticas para medir terrenos y representarlos gráfica o analíticamente a una escala dada. (p. 8)

En ese sentido, la aplicación de la topografía en la ingeniería es uno de los estudios más importantes, debido a que de ello depende la exactitud del trabajo que se realice. La topografía se aplica a diversos proyectos de ingeniería, dentro de ellos se encuentran los siguientes (Campos de La Cruz, 2016):

- **Fotogrametría:** el mapeo de vastas extensiones de terreno mediante fotografías aéreas.
- **Industria:** la colocación y ensamblaje de maquinaria y dispositivos en el entorno industrial.
- **Levantamiento de terrenos:** la ubicación, medición y subdivisión de terrenos en áreas urbanas, industriales, agrícolas y similares.
- **Vías de comunicación:** vías, conductos, cauces y rutas de comunicación.
- **Catastro:** los confines de posesiones de bienes inmuebles que se utilizan como base para la tributación
- **Hidrografía:** la disposición de océanos, lagos y ríos para la navegación y trabajos subacuáticos.

2.3.2 Geodesia

De acuerdo con Quirós (2014), el concepto y objetivo de la geodesia han sido propuestos del siguiente modo:

La disciplina que se enfoca en examinar y establecer las características geométricas y dimensionales de la tierra, así como su campo gravitacional y sus cambios a lo largo del tiempo. La geodesia se subdivide en dos categorías:

- **Geodesia física (Campo gravitatorio):** analiza el campo gravitacional terrestre mediante suposiciones acerca de la disposición de masas en el interior del planeta o a través de mediciones de la fuerza de gravedad en la superficie.
- **Geodesia Matemática (Figura de la Tierra):** investiga la forma de la Tierra al determinar las coordenadas de puntos en su superficie, utilizando un sistema de referencia constante y aplicable a nivel global. (p. 11)

De esta manera, la meta de la geodesia radica en crear y preservar sistemas tridimensionales de referencia tanto a nivel nacional como internacional, considerando las actividades de las placas tectónicas. Por medio de la geodesia matemática se puede representar a la Tierra como una esfera, un geoide o un elipsoide. La representación de la

Tierra que tome cada país o Estado depende básicamente de cuál es la mejor forma que se adopta a su territorio. En el caso del Perú, se representa a la Tierra mediante un elipsoide (WGS84). En efecto, para trabajar y realizar procesos de fotogrametría es necesario usar coordenadas y usos para representar la superficie terrestre. Las coordenadas se obtienen mediante una proyección cartográfica. La que se utiliza en el Perú se basa en la proyección UTM. En relación a esto, se podría expresar que la proyección UTM es una representación cartográfica en forma de cilindro donde el cilindro toca el plano ecuatorial y se encuentra en contacto con un meridiano específico llamado meridiano de origen. (Quirós, 2014).

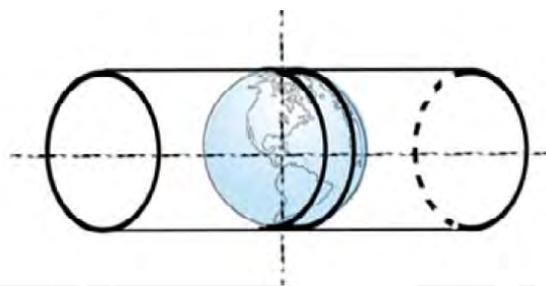


Figura 7. Disposición del Cilindro de proyección en UTM

Nota. Tomado de *Introducción a la Fotogrametría y Cartografía aplicadas a la Ingeniería Civil*, por E. Quirós, 2014, Universidad de Extremadura.

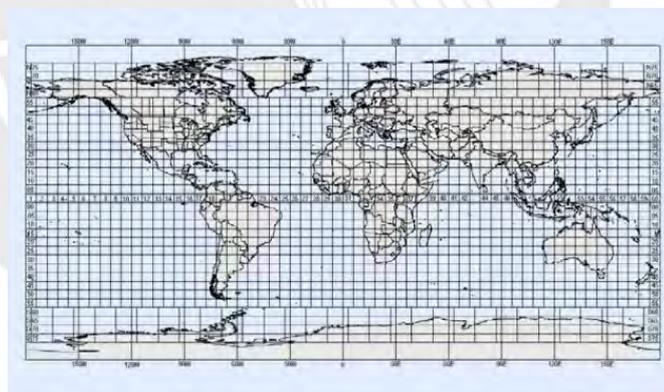


Figura 8. Distribución de los Husos a escala global

Nota. Tomado de *Introducción a la Fotogrametría y Cartografía aplicadas a la Ingeniería Civil*, por E. Quirós, 2014, Universidad de Extremadura.

A partir de la disposición del cilindro se puede representar al planeta Tierra en un planisferio. Con la ayuda de este plano, se realiza la distribución de Husos. Además, se utiliza el término "huso" para referirse a las áreas geográficas que incluyen todos los puntos que se encuentran entre dos meridianos específicos. El sistema de coordenadas está conformado por husos y zonas. Los husos están conformados por 60 husos que

inician en el antimeridiano de Greenwich (180° E) y se designan de Oeste a Este. Por otro lado, las zonas se encuentran divididas en 20 zonas de 8° y son denominados con letras, las cuales se encuentran comprendidas entre las altitudes de 80S y 84N (Alcántara, 2014).



Figura 9. Husos y zonas del Perú

Nota. Tomado de Google Earth

2.3.3 Fotogrametría

De acuerdo con Bonneval (1972), La fotogrametría es una técnica de gran precisión que utiliza medidas tomadas en fotografías para estudiar y definir la forma, dimensiones y posición espacial de objetos. Etimológicamente, según Alcántara (2014), El término fotogrametría se refiere al análisis métrico de la información visual capturada mediante la luz. En esencia, es la disciplina que emplea la fotografía para la obtención de mediciones, y su uso se extiende a una variedad de campos de estudio. Por lo tanto, la fotogrametría permite realizar medidas sobre los objetos tridimensionales formados a partir de fotografías. La fotogrametría tiene muchas aplicaciones en diferentes campos, por ejemplo, en los videojuegos, planificación y control en campos de cultivo, animaciones de películas, topografía, etc. Las ramas más extendidas de estudio y aplicación consisten en la fotogrametría terrestre y aérea. Esta investigación aborda los conceptos de fotogrametría aérea con fines topográficos. En esa medida, para entender todo el procedimiento de flujo de trabajo, tanto en campo, como en gabinete, es necesario desarrollar los siguientes conceptos:

2.3.3.1 *Visión estereoscópica*

Según Alcántara (2014):

La percepción estereoscópica natural se funda en la capacidad humana para percibir la tridimensionalidad de los objetos. En este proceso, cada ojo capta una imagen del mismo objeto, y el cerebro, mediante un proceso cognitivo, fusiona estas dos imágenes en una sola, generando una representación tridimensional. La visión estereoscópica artificial, por otro lado, imita este proceso natural, pero en lugar de que el observador se encuentre frente al objeto, se presentan dos imágenes tomadas desde puntos de vista distintos, lo que induce la percepción tridimensional. (p.)

En ese sentido, la visión estereoscópica ayuda a formar modelos tridimensionales a partir de dos o más fotografías. Este proceso se realiza a través del uso de softwares. En consecuencia, en esta investigación se usó el software BIM Agisoft Metashape Professional.

2.3.3.2 *Traslapes*

Los traslapes son los porcentajes de parentesco que tienen dos o más fotografías. Los traslapes se podrían definir en dos tipos: traslapes laterales y frontales. En las siguientes imágenes se explican los traslapes.



Figura 10. Traslapes frontal

Nota. Traslape lateral de color rojo. Tomado de *Fotogrametría aérea con drones*, por Ccapa, 2021, <https://acgdrone.com/fotogrametria-aerea-con-drones/>

El dron realiza su recorrido por las líneas punteadas, conocida como línea de vuelo. Cada rectángulo de color rojo representa una fotografía tomada, en la intersección de los dos

rectángulos, los cuales se muestran a la derecha, se observa que ambas fotografías presentan cierta similitud, este porcentaje de similitud, se llama traslape frontal.

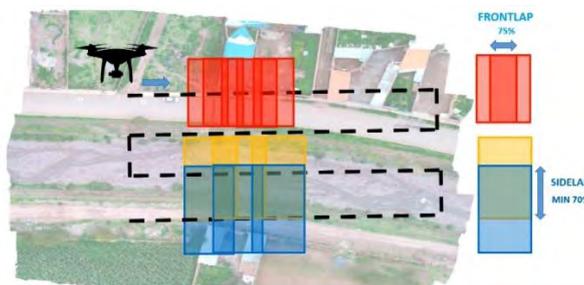


Figura 11. Traslape lateral

Nota. Traslape lateral de color rojo. Tomado de *Fotogrametría aérea con drones*, por Ccapa, 2021, <https://acgdrone.com/fotogrametria-aerea-con-drones/>

El dron toma diversas fotografías de color rojo, amarillo y azul. Al finalizar el recorrido, se observa que existe intersección entre las fotografías de color amarillo y azul. Esta intersección se conoce como traslape lateral. Para realizar un trabajo fotogramétrico aplicado a la topografía lo recomendable es utilizar 75 % de traslape frontal y 70 % de traslape lateral como mínimo. Estos porcentajes pueden aumentar según el tipo de precisión que se quiera obtener.

2.3.3.3 *Ground Sampling Distance (GSD)*

El G.S.D. es la cantidad de terreno contenido en un pixel. Los pixeles son las unidades mínimas por las cuales está formada una fotografía. Estas unidades expresan la calidad de resolución de una imagen, mientras más cantidad de pixeles, existirá una mayor calidad de resolución (Ccapa, 2021) . Para medir el GSD es pertinente mostrar las descripciones de vuelo de un dron. Esto ayuda a tomar medidas indirectas en dos dimensiones.

X: Distancia a calcular

H: Altura de vuelo

F: Distancia focal

Sw: Ancho del sensor

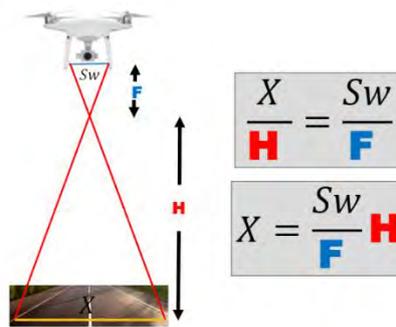


Figura 12. Cálculo de distancia

Nota. Relación para calcular distancia. Tomado de *Fotogrametría aérea con drones*, por Ccapa, 2021, <https://acgdrone.com/fotogrametria-aerea-con-drones/>

Los drones cuentan con ciertas especificaciones de fábrica, como tiempo de vuelo, tiempo máximo de vuelo, distancia focal, ancho de sensor, etc. Las especificaciones son necesarias para realizar los cálculos. En la Figura 10 se muestra cómo se puede calcular una distancia mediante una relación de triángulos. Para encontrar el GSD se utilizó el ejemplo de la Figura 10.

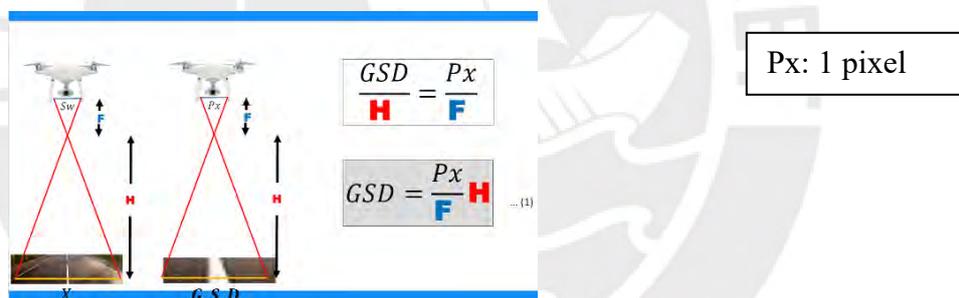


Figura 13. Cálculo del G.S.D.

Nota. Cálculo de G.S.D. Con ayuda de Px. Tomado de *Fotogrametría aérea con drones*, por Ccapa, 2021, <https://acgdrone.com/fotogrametria-aerea-con-drones/>

A partir del G.S.D se puede encontrar cualquier distancia, y a mayor GSD, mayor precisión se tendrá en las fotografías y, por ende, un modelo más preciso.

2.3.3.4 Flujo de trabajo

El flujo de trabajo a realizar comienza con la planificación, en esta etapa se programa el vuelo con base en la altura del vuelo, los traslapes y el terreno que se desea trabajar. Luego se ejecuta el vuelo con los cuidados necesarios y asegurándose de que el dron se encuentre

siempre a la vista del piloto. Finalmente, las imágenes obtenidas del dron se procesan hasta formar los planos topográficos.

2.4 Interoperabilidad de Agisoft Metashape e Istram

Las herramientas BIM utilizadas en esta investigación son Agisoft Metashape e Istram. Agisoft Metashape. Este es un software que permite realizar el procesamiento de imágenes tomadas con los drones. Durante el uso de este software se deben realizar las calibraciones necesarias con los puntos de control en Tierra, si es que hubiera, con el fin de que el modelo obtenido sea el más preciso. Después de realizar la importación de fotos, hay que seguir el siguiente procedimiento:

- I. Orientación de fotos.
- II. Optimización de cámaras
- III. Creación de nubes de puntos densa
- IV. Reducción de nubes de puntos densa
- V. Clasificación de puntos por color y nivel de confianza
- VI. Creación de la malla
- VII. Creación de texturas
- VIII. Suavizado de malla
- IX. Creación de Modelo Digital de Elevación (DEM)
- X. Creación de curvas de nivel
- XI. Creación de Ortomosaico
- XII. Exportación de archivos

Cuando se haya terminado de exportar los archivos, las curvas de nivel generadas se importan al software Istram. El uso del software Istram se emplea para realizar el diseño geométrico de la carretera, donde se realiza el alineamiento horizontal y vertical. Ahora bien, el modelo tridimensional es generado automáticamente por este software y con ello se puede apreciar los reportes de volúmenes de movimientos de tierras a realizar, esto permite tener una aproximación de los costos y decidir si la ruta que está realizando es la correcta.

2.5 Diseño geométrico de carreteras

Para realizar el diseño geométrico de una carretera se debe tener en cuenta la normativa a utilizar. Por ello, en la presente investigación se hace uso del manual de carreteras: diseño geométrico de carreteras DG – 2018 y también se tiene especial consideración al

expediente de la carretera “MEJ. VÍAS DEP. AM - 106, TRAMO: EMP. PE - 5N (BALZAPATA) – JUMBILLA – ASUNCIÓN EMP. PE - 8B (MOLINOPAMPA); AM - 110: CHACHAPOYAS – LEVANTO; TRAMO: EMP. PE - 8B (TINGO) AM - 111: EMP. PE - 8B (TINGO) – LONGUITA – MARÍA – KUELAP, PROV. CHACHAPOYAS – BONGARÁ Y LUYA - AMAZONAS”. El diseño geométrico abarca el alineamiento horizontal, alineamiento vertical, secciones transversales y reportes de volúmenes. Para elaborar los lineamientos mencionados; a continuación, se desarrollan los conceptos necesarios para el diseño geométrico.

2.5.1 Clasificación por IMDA

De acuerdo con el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2018), el IMDA (Índice Medio Diario Anual) es el resultado del cálculo del promedio aritmético de los volúmenes diarios de tráfico, tanto previsible como existentes, en una sección de la carretera, considerando los 365 días del año. De esta manera, se obtiene un indicador que refleja el flujo vehicular promedio anual en una determinada sección de la vía. El IMDA se utiliza para realizar la clasificación de una vía y con ello sus características particulares para el diseño.

Tabla 1

Clasificación por IMDA

Autopistas de Primera Clase:	IMDA > 6000 veh/día,	Control total de accesos, separador central mínimo de 6m, ancho mínimo de carril 3.60 m
Autopistas de Segunda Clase:	4001 < IMDA < 6000 veh/día,	Control parcial de accesos, separador central de 1m a 6 m, ancho mínimo de carril 3.60 m
Carreteras de 1ª Clase:	2001 < IMDA < 4000 veh/día,	Calzada de 2 carriles, ancho mínimo de carril 3.60 m
Carreteras de 2ª Clase:	400 < IMDA < 2000 veh/día,	Calzada de 2 carriles, ancho mínimo de carril 3.60 m
Carreteras de 3ª Clase:	IMDA < 400 veh/día,	Calzada de 2 carriles, ancho mínimo de carril 3.00 m
Trochas Carrosables:	IMDA < 200 veh/día,	Ancho mínimo de calzada de 4.00 m

Nota. Tomado de MTC, 2018

A partir de la tabla anterior y de acuerdo con el IMDA, las vías se pueden clasificar de 6 maneras distintas. Por ello, realizar el cálculo del IMDA representa el inicio del diseño geométrico de la carretera.

2.5.2 Clasificación por orografía

De acuerdo con la RAE (s.f.), la orografía es parte de la geografía física que trata de la descripción de las montañas. Por tal motivo, la orografía describe el relieve de las montañas y las clasifica de acuerdo con su pendiente transversal. De acuerdo con

(Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2018), para clasificar un terreno se debe utilizar la siguiente tabla:

Tabla 2

Clasificación por orografía

Terreno plano (tipo 1):	pendiente transversal entre 0 y 10%
Terreno ondulado (tipo 2):	pendiente transversal entre 11% y 50%
Terreno accidentado (tipo 3):	pendiente transversal entre 51 % y 100%
Terreno escarpado (tipo 4):	pendiente transversal > 100%

Nota. Tomado de MTC, 2018

2.5.3 Vehículo de diseño

La configuración geométrica de una carretera se ve influenciada de manera significativa por las características físicas y la proporción de vehículos de distintos tamaños que las transitan. En este sentido, se requiere de un examen exhaustivo de todos los tipos de vehículos presentes en las vías, la categorización de los mismos en grupos y la determinación del tamaño más representativo dentro de cada grupo con el fin de utilizar esta información en el proyecto correspondiente (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2018). Al tener los grupos de vehículos se debe elegir uno, el cual debe ser el más representativo.

Según el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2018), los vehículos se pueden clasificar en vehículos de pasajeros y vehículos de carga. Cada uno de ellos tiene una subclasificación, por ejemplo, los vehículos de carga pueden ser *pick-up*, camión C1, camión C3, C2CR y T3S2. Las características de los vehículos se muestran a continuación.

Tabla 3

Características de vehículos de diseño

Tabla 202.01
Datos básicos de los vehículos de tipo M utilizados para el dimensionamiento de carreteras
Según Reglamento Nacional de Vehículos (D.S. N° 058-2003-MTC o el que se encuentre vigente)

Tipo de vehículo	Alto	Ancho	Vuelo	Ancho	Largo	Vuelo	Separación	Vuelo	Radio mín. rueda exterior
	total	Total	lateral	ejes	total	delantero	ejes	trasero	
Vehículo ligero (VL)	1.30	2.10	0.15	1.80	5.80	0.90	3.40	1.50	7.30
Ómnibus de dos ejes (B2)	4.10	2.60	0.00	2.60	13.20	2.30	8.25	2.65	12.80
Ómnibus de tres ejes (B3-1)	4.10	2.60	0.00	2.60	14.00	2.40	7.55	4.05	13.70
Ómnibus de cuatro ejes (B4-1)	4.10	2.60	0.00	2.60	15.00	3.20	7.75	4.05	13.70
Ómnibus articulado (BA-1)	4.10	2.60	0.00	2.60	18.30	2.60	6.70 / 1.90 / 4.00	3.10	12.80
Semirremolque simple (T2S1)	4.10	2.60	0.00	2.60	20.50	1.20	6.00 / 12.50	0.80	13.70
Remolque simple (C2R1)	4.10	2.60	0.00	2.60	23.00	1.20	10.30 / 0.80 / 2.15 / 7.75	0.80	12.80
Semirremolque doble (T3S2S2)	4.10	2.60	0.00	2.60	23.00	1.20	5.40 / 6.80 / 1.40 / 6.80	1.40	13.70
Semirremolque remolque (T3S2S1S2)	4.10	2.60	0.00	2.60	23.00	1.20	5.45 / 5.70 / 1.40 / 2.15 / 5.70	1.40	13.70
Semirremolque simple (T3S3)	4.10	2.60	0.00	2.60	20.50	1.20	5.40 / 11.90	2.00	1

Nota. Tomado de MTC, 2018

2.5.4 Velocidad de diseño

En el diseño de una carretera, se define la velocidad a considerar como aquella que puede ser sostenida con seguridad y confort en una sección determinada de la vía, siempre y cuando prevalezcan las condiciones adecuadas para cumplir con los criterios de diseño establecidos (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2018). Este parámetro es uno de los datos más importantes, dado que con ello se podría conocer las longitudes máximas de curvas “S” y “O”, coeficientes de fricción transversal y longitudinal. Depende de tres factores principales: tipo de vía, orografía e IMDA y se calcula mediante la siguiente tabla.

Tabla 4

Velocidad de diseño

CLASIFICACIÓN	OROGRAFÍA	VELOCIDAD DE DISEÑO DE UN TRAMO HOMOGÉNEO VTR (km/h)											
		30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	
Autopista de primera clase	Plano												
	Ondulado												
	Accidentado												
	Escarpado												
Autopista de segunda clase	Plano												
	Ondulado												
	Accidentado												
	Escarpado												
Carretera de primera clase	Plano												
	Ondulado												
	Accidentado												
	Escarpado												
Carretera de segunda clase	Plano												
	Ondulado												
	Accidentado												
	Escarpado												
Carretera de tercera clase	Plano												
	Ondulado												
	Accidentado												
	Escarpado												

Nota. Tomado de MTC, 2018

2.5.4.1 Peralte máximo

Según el Ministerio de Transportes y Comunicaciones –(2018), el peralte se refiere a la inclinación transversal que se les otorga a los tramos curvos de una carretera, con el propósito de neutralizar la fuerza centrífuga que actúa sobre los vehículos. Para encontrar el valor máximo del peralte se debe tener en cuenta la orografía del terreno. El peralte máximo se puede hallar con las siguientes tablas.

Tabla 5*Valores de peralte máximo*

Pueblo o ciudad	Peralte Máximo (p)		Ver Figura
	Absoluto	Normal	
Atravesamiento de zonas urbanas	6.0%	4.0%	302.02
Zona rural (T. Plano, Ondulado o Accidentado)	8.0%	6.0%	302.03
Zona rural (T. Accidentado o Escarpado)	12.0	8.0%	302.04
Zona rural con peligro de hielo	8.0	6.0%	302.05

Nota. Tomado de MTC, 2018

2.5.4.2 Coeficiente de fricción transversal

Este coeficiente “*f*” se utiliza para calcular el radio mínimo absoluto en una curva horizontal, dicho coeficiente depende únicamente de la velocidad de diseño.

Tabla 6*Fricción transversal máxima en curvas*

Velocidad de diseño Km/h	$f_{m\acute{a}x}$
30 (ó menos)	0.17
40	0.17
50	0.16
60	0.15

$$R_{m\acute{i}n} = \frac{v^2}{127 (P_{m\acute{a}x} + f_{m\acute{a}x.})}$$

Nota. Tomado de MTC, 2018

2.5.4.3 Radio mínimo

Según el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2018), los radios de curvatura horizontal mínimos se refieren a los valores más pequeños de radio que pueden ser transitados con la velocidad de diseño y la máxima tasa de inclinación, sin comprometer la seguridad o comodidad del trayecto. Para calcular estos radios, se puede emplear una fórmula específica o también la siguiente tabla:

Donde:

P_{máx}: peralte máximo

f_{máx}: fricción transversal máxima en curvas

El radio mínimo también se puede hallar a través de la siguiente tabla.

Tabla 7

Radios mínimos y peraltes máximos para diseño de carreteras

Ubicación de la vía	Velocidad de diseño	b máx. (%)	f máx.	Radio calculado (m)	Radio redondeado (m)	
Área urbana	30	4.00	0.17	33.7	35	
	40	4.00	0.17	60.0	60	
	50	4.00	0.16	98.4	100	
	60	4.00	0.15	149.2	150	
	70	4.00	0.14	214.3	215	
	80	4.00	0.14	280.0	280	
	90	4.00	0.13	375.2	375	
	100	4.00	0.12	492.10	495	
	110	4.00	0.11	635.2	635	
	120	4.00	0.09	872.2	875	
	130	4.00	0.08	1,108.9	1,110	
	Área rural (con peligro de hielo)	30	6.00	0.17	30.8	30
		40	6.00	0.17	54.8	55
50		6.00	0.16	89.5	90	
60		6.00	0.15	135.0	135	
70		6.00	0.14	192.9	195	
80		6.00	0.14	252.9	255	
90		6.00	0.13	335.9	335	
100		6.00	0.12	437.4	440	
110		6.00	0.11	560.4	560	
120		6.00	0.09	755.9	755	
130		6.00	0.08	950.5	950	
Área rural (plano u ondulada)		30	8.00	0.17	28.3	30
		40	8.00	0.17	50.4	50
	50	8.00	0.16	82.0	85	
	60	8.00	0.15	123.2	125	
	70	8.00	0.14	175.4	175	
	80	8.00	0.14	229.1	230	
	90	8.00	0.13	303.7	305	
	100	8.00	0.12	393.7	395	
	110	8.00	0.11	501.5	500	
	120	8.00	0.09	667.0	670	
	130	8.00	0.08	831.7	835	
	Área rural (accidentada o escarpada)	30	12.00	0.17	24.4	25
		40	12.00	0.17	43.4	45
50		12.00	0.16	70.3	70	
60		12.00	0.15	105.0	105	
70		12.00	0.14	148.4	150	
80		12.00	0.14	193.8	195	
90		12.00	0.13	255.1	255	
100		12.00	0.12	328.1	330	
110		12.00	0.11	414.2	415	
120		12.00	0.09	539.9	540	
130		12.00	0.08	665.4	665	

Nota. Tomado de MTC, 2018

2.5.1 Diseño de alineamiento horizontal

2.5.1.1 Tramos en tangente

De acuerdo con el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2018) en cada fase del proceso de diseño, es crucial calcular y respetar las longitudes mínimas permitidas y las longitudes máximas recomendadas de los tramos en línea recta, tomando en cuenta la velocidad de diseño. De esta forma, se asegura el cumplimiento de los requisitos de seguridad y óptimo rendimiento del trayecto. Estas longitudes se pueden hallar mediante fórmulas y también mediante la siguiente tabla:

Tabla 8

Longitudes de tramos en tangente

V (km/h)	L mín.s (m)	L mín.o (m)	L máx (m)
30	42	84	500
40	56	111	668
50	69	139	835
60	83	167	1002
70	97	194	1169
80	111	222	1336
90	125	250	1503
100	139	278	1670
110	153	306	1837
120	167	333	2004
130	180	362	2171

Dónde:

- L_{mín.s}: Longitud mínima (m) para trazados en "S" (alineamiento recto entre alineamientos con radios de curvatura de sentido contrario).
- L_{mín.o}: Longitud mínima (m) para el resto de casos (alineamiento recto entre alineamientos con radios de curvatura del mismo sentido).
- L_{máx}: Longitud máxima deseable (m).
- V : Velocidad de diseño (km/h)

Nota. Tomado de MTC, 2018

2.5.1.2 Curva circular

De acuerdo con el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2018), En la ingeniería de carreteras, las curvas horizontales circulares simples se refieren a segmentos curvos formados por arcos de circunferencia con un solo radio. Estos segmentos se utilizan para unir dos tangentes consecutivas, lo que conforma la proyección horizontal de las curvas reales o espaciales. Las fórmulas y componentes necesarios para la construcción de la curva circular se pueden encontrar en la figura adjunta.

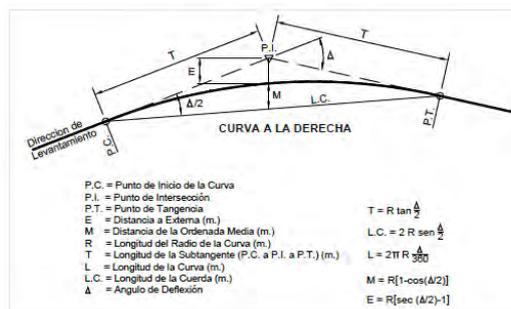


Figura 14. Elementos de curva circular

Nota. Tomado de MTC, 2018

Para carreteras de tercera clase, se debe verificar que la longitud de la curva sea mayor a 3 veces la velocidad de diseño.

Tabla 9

Longitud mínima de curva

Carretera red nacional	L (m)
Autopistas	6 V
Carreteras de dos carriles	3 V

V = Velocidad de diseño (km/h)

Nota. Tomado de MTC, 2018

2.5.2 Peraltes

La relación de radio y velocidad de diseño en el siguiente ábaco permite encontrar el peralte asociado a dicha radio.

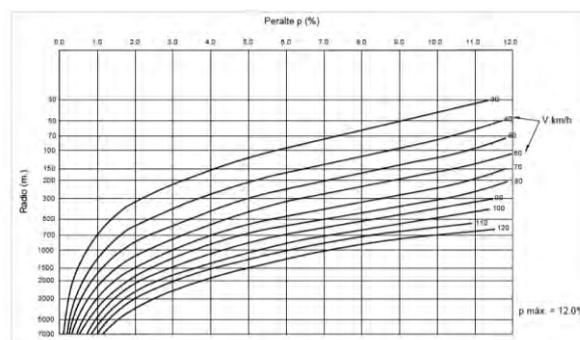


Figura 15. Peralte en zona rural

Nota. Tomado de MTC, 2018

2.5.2.1 Transición de peralte

Según el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2018), la transición de peralte se refiere al tramo de la carretera donde se produce un cambio gradual en la pendiente del borde de la calzada, en el cual se produce la transición desde la zona en tangente hasta la zona con peralte en la curva. Este tramo representa la traza del borde de la calzada.

La transición de peraltes se lleva a cabo en las curvas, para carreteras de tercera clase utilizamos la siguiente tabla.

Tabla 10

Valores de peralte máximo

Pueblo o ciudad	Peralte Máximo (p)		Ver Figura
	Absoluto	Normal	
Atravesamiento de zonas urbanas	6.0%	4.0%	302.02
Zona rural (T. Plano, Ondulado o Accidentado)	8.0%	6.0%	302.03
Zona rural (T. Accidentado o Escarpado)	12.0	8.0%	302.04
Zona rural con peligro de hielo	8.0	6.0%	302.05

Nota. Tomado de MTC, 2018

Es factible determinar la longitud mínima requerida para el tramo de transición de peralte y la longitud mínima necesaria para la transición en caso de la elevación de la carretera, a través del cálculo mediante fórmulas establecidas para tal fin. Sin embargo, para carreteras de tercera clase se utiliza la siguiente Tabla:

Tabla 11

Valores mínimos de transición de peralte y bombeo

Velocidad de diseño (Km/h)	Valor del peralte						Longitud mínima de transición de bombeo (m)**
	2%	4%	6%	8%	10%	12%	
	Longitud mínima de transición de peralte (m)*						
20	9	18	27	36	45	54	9
30	10	19	29	38	48	58	10
40	10	21	31	41	51	62	10
50	11	22	33	44	55	66	11
60	12	24	36	48	60	72	12
70	13	26	39	52	65	79	13
80	14	29	43	58	72	86	14
90	15	31	46	61	77	92	15

Nota. Tomado de MTC, 2018

En el diseño geométrico de carreteras, existe una longitud de radio que, según la velocidad de diseño ayuda a prescindir de las curvas de transición. A continuación, se muestra la siguiente tabla con dichos datos.

Tabla 12

Radios que permiten prescindir de curvas de transición en carreteras de tercera clase

Velocidad de diseño Km/h	Radio M
20	24
30	55
40	95
50	150
60	210
70	290
80	380
90	480

Nota. Tomado de MTC, 2018

2.5.2.2 Curvas de transición

De acuerdo con el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2018), las curvas de transición se refieren a curvas en forma de espiral diseñadas para evitar cualquier irregularidad en la curvatura del tramo de carretera, asegurando que se cumplan los mismos requisitos de seguridad, comodidad y estética que en el resto del diseño del tramo. Es importante que se preste la debida atención al diseño de estas curvas para garantizar que cumplan con los requisitos mencionados anteriormente.

Para encontrar las longitudes de curvas de transición o conocidas también como clotoides, se debe cumplir con 3 criterios y 3 consideraciones adicionales. Dichos criterios se presentan a continuación.

Criterio 1: variación de la aceleración de la fuerza centrífuga:

El parámetro de la clotoide está gobernado por la ecuación de Euler, la cual se muestra a continuación.

$$R L = A^2 \dots (*)$$

Dónde:

- R : radio de curvatura en un punto cualquiera.
- L : Longitud de la curva entre su punto de inflexión ($R = \infty$) y el punto de radio R.
- A : Parámetro de la clotoide, característico de la misma.

Figura 16. Ecuación de Euler

Nota. Tomado de MTC, 2018

El parámetro A y la longitud mínima de clotoide deben cumplir con las siguientes ecuaciones.

$$A_{\min} = \sqrt{\frac{VR}{46.656 J} \left(\frac{V^2}{R} - 1.27p \right)}$$

$$L_{\min} = \frac{V}{46.656 j} \left[\frac{V^2}{R} - 1.27p \right]$$

Figura 17. Parámetros A y Lmin de clotoide

Nota. Tomado de MTC, 2018

Donde:

V: Velocidad de diseño (km/h)

R: Radio de curvatura (m)

J: Variación uniforme de la aceleración (m/s³)

P: Peralte correspondiente a V y R. (%)

Los valores de J se hallan de acuerdo con la siguiente tabla.

Tabla 13

Variación de la aceleración transversal por unidad de tiempo

V (km/h)	V < 80	80 < V < 100	100 < V < 120	V > 120
J (m/s ³)	0.5	0.4	0.4	0.4
J _{máx} (m/s ³)	0.7	0.8	0.5	0.4

Nota. Tomado de MTC, 2018

Adicionalmente, se presentó la siguiente tabla con los cálculos realizados para este criterio.

Tabla 14

Longitud mínima de transición

Velocidad Km/h	Radio m	μ m/s ²	Peralte %	A m ³	Longitud de transición (L) Redondeada
30	24	0.5	12	26	30
30	26	0.5	10	27	30
30	28	0.5	8	28	30
30	31	0.5	6	29	30
30	34	0.5	4	31	30
30	37	0.5	2	32	30
40	43	0.5	12	40	40
40	47	0.5	10	41	40
40	50	0.5	8	43	40
40	55	0.5	6	45	40
40	60	0.5	4	47	40
40	66	0.5	2	50	40
50	70	0.5	12	55	43
50	76	0.5	10	57	43
50	82	0.5	8	60	43
50	89	0.5	6	62	43
50	98	0.5	4	66	43
50	109	0.5	2	69	43
60	105	0.5	12	72	49
60	113	0.5	10	75	49
60	123	0.5	8	78	49
60	135	0.5	6	81	49
60	149	0.5	4	86	49
60	167	0.5	2	90	49
70	148	0.5	12	89	54
70	161	0.5	10	93	54
70	173	0.5	8	97	54
70	183	0.5	6	101	54
70	214	0.5	4	107	54
70	241	0.5	2	113	54
80	194	0.4	12	121	75
80	210	0.4	10	126	75
80	229	0.4	8	132	75
80	252	0.4	6	139	75
80	280	0.4	4	146	75
80	314	0.4	2	155	75
90	255	0.4	12	143	80
90	277	0.4	10	149	80
90	304	0.4	8	155	80
90	336	0.4	6	163	80
90	375	0.4	4	173	80
90	433	0.4	2	184	80

Nota. Tomado de MTC, 2018

- Criterio 2: limitación de la variación por estética y guiado óptico.

$$\frac{R}{3} \leq A \leq R$$

Figura 18. Limitación de la variación

Nota. Tomado de MTC, 2018

- Criterio 3: por condición de desarrollo de peralte

En carreteras de tercera clase se debe tomar en cuenta las siguientes fórmulas.

$$L_{\text{mín}} = 0.0178 \frac{V^3}{R} \quad L_{\text{máx.}} = (24R)^{0.5}$$

V : Velocidad de diseño (km/h)
R : Radio de diseño (m).

Figura 19. Condición de longitud de transición para carreteras

Nota. Tomado de MTC, 2018

Luego de evaluar los 3 criterios, se tuvo en cuenta las siguientes consideraciones:

1. Elegimos a la mayor de las longitudes de los 3 criterios.
2. La longitud mínima de transición es de 30 metros.
3. La longitud máxima de curva de transición no será superior a $1.5L_{\text{mín}}$.

2.5.3 Sobreancho

De acuerdo con el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2018), se refiere al ensanchamiento adicional de la zona de rodadura en los tramos curvos, con el propósito de brindar un espacio mayor a los vehículos durante su recorrido por dichos tramos. Esta medida resulta necesaria para garantizar una circulación segura y adecuada de los vehículos en dichas curvas.

Para hallar el sobreancho, utilizamos la siguiente fórmula que brinda el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2018):

$$S_a = n \left(R - \sqrt{R^2 - L^2} \right) + \frac{V}{10\sqrt{R}}$$

Dónde:

- S_a : Sobreancho (m)
- n : Número de carriles
- R_c : Radio de curvatura circular (m)
- L : Distancia entre eje posterior y parte frontal (m)
- V : Velocidad de diseño (km/h)

Figura 20. Ecuación de sobreancho

Nota. Tomado de MTC, 2018

El sobreancho debe cumplir con 3 requisitos

Si el $S_a < 0.40$ m, por lo tanto, el sobreancho es igual a 0

Si el $S_a = 0.40$ m, por lo tanto, el sobreancho es igual a 0

Por tal motivo, si la calzada es mayor a 7.20 metros se debe multiplicar el S_a por un factor de reducción.

Tabla 15

Factores de reducción del sobreancho para anchos de calzada en tangente de 7.2 m

Radio (R) (m)	Factor de reducción	Radio (R) (m)	Factor de reducción
25	0.86	90	0.60
28	0.84	100	0.59
30	0.83	120	0.54
35	0.81	130	0.52
37	0.8	150	0.47
40	0.79	200	0.38
45	0.77	250	0.27
50	0.75	300	0.18
55	0.72	350	0.12
60	0.70	400	0.07
70	0.69	450	0.08
80	0.63	500	0.05

Nota. Tomado de MTC, 2018

Estos valores de sobreancho cambian debido al radio de curvatura, los cuales se presentan en una tabla con el diseño final.

2.5.1 Diseño de alineamiento vertical

Según el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2018), el alineamiento vertical se refiere a una serie de tramos rectos conectados por curvas verticales parabólicas, en los cuales los tramos rectos son tangentes a dichas curvas. Durante el diseño de esta configuración, se define el sentido de las pendientes en relación con el avance del kilometraje. Las pendientes se consideran positivas si implican un aumento de cotas, mientras que se consideran negativas si producen una disminución de cotas. Es importante tener en cuenta esta definición al diseñar el alineamiento vertical para asegurar su adecuada implementación en el trazado de la carretera.

Para la elaboración del alineamiento vertical se desarrollan los siguientes conceptos.

2.5.1.1 Pendiente máxima

Se hace uso de la tabla que se presenta a continuación para obtener el valor máximo permitido de la pendiente.

Tabla 16

Pendientes máximas

Demanda Vehículos/día	Autopistas								Carretera				Carretera				Carretera					
	> 6.000				6.000 - 4001				4.000-2.001				2.000-400				< 400					
	Primera clase				Segunda clase				Primera clase				Segunda clase				Tercera clase					
Tipo de orografía	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4		
Velocidad de diseño: 30 km/h																					10.00	6.00
40 km/h																	9.00	8.00	9.00	10.00		
50 km/h										7.00	7.00						8.00	9.00	8.00	8.00		
60 km/h					6.00	6.00	7.00	7.00	6.00	6.00	7.00	7.00	6.00	7.00	8.00	9.00	8.00	8.00				
70 km/h				5.00	5.00	6.00	6.00	6.00	7.00	6.00	6.00	7.00	7.00	6.00	6.00	7.00		7.00	7.00			
80 km/h		5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00		6.00	6.00			7.00	7.00			
90 km/h		4.50	4.50	5.00		5.00	5.00	6.00		5.00	5.00			6.00				6.00	6.00			
100 km/h		4.50	4.50	4.50		5.00	5.00	6.00		5.00				6.00								
110 km/h						4.00	4.00															
120 km/h						4.00	4.00															
130 km/h						3.50																

Notas:

1) En caso que se desee pasar de carreteras de Primera o Segunda Clase, a una autopista, las características de éstas se deberán adecuar al orden superior inmediato.

2) De presentarse casos no contemplados en la presente tabla, su utilización previo sustento técnico, será autorizada por el órgano competente del MTC.

Nota. Tomado de MTC, 2018

2.5.1 Distancia de velocidad de parada

Según el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2018), es la menor distancia necesaria para que un vehículo que se desplaza a la velocidad de diseño pueda detenerse antes de alcanzar un objeto inmóvil ubicado en su trayectoria.

La distancia de velocidad de parada se debe cumplir en toda la trayectoria de la carretera.

Por otro lado, el cálculo se realiza utilizando la fórmula y la tabla que se presentan a

continuación, considerando la recomendación de la AASHTO de utilizar un tiempo de percepción y reacción de 2.5 segundos.

Tabla 17

Distancia de velocidad de parada

Design Speed (km/h)	Assumed Speed for Condition (km/h)	Brake Reaction		Coefficient of Friction* f	Breaking Distance on Level (m)	Stopping Sight Distance for Design (m)
		Time (s)	Distance (m)			
30	30-30	2.5	20.8-20.8	0.40	8.8-8.8	29.6-29.6
40	40-40	2.5	27.8-27.8	0.38	16.6-16.6	44.4-44.4
50	47-50	2.5	32.6-34.7	0.35	24.8-28.1	57.4-62.8
60	55-60	2.5	38.2-41.7	0.33	36.1-42.9	74.3-84.6
70	63-70	2.5	43.7-48.6	0.31	50.4-62.2	94.1-110.8
80	70-80	2.5	48.6-55.5	0.30	64.2-83.9	112.8-139.4
90	77-90	2.5	53.5-62.5	0.30	77.7-106.2	131.2-168.7
100	85-100	2.5	59.0-69.4	0.29	98.0-135.6	157.0-205.0
110	91-110	2.5	63.2-76.4	0.28	116.3-170.0	179.5-246.4
120	98-120	2.5	68.0-83.3	0.28	134.9-202.3	202.9-285.6

$$D_p = \frac{V_0 t_{pr}}{3.6} + \frac{V_0^2}{254(f \pm i)}$$

D_p: Distancia de parada (m)
 V₀: Velocidad de diseño (km/h)
 t_{pr}: tiempo de percepción-reacción (seg), mínimo 2 seg (DG 2014)
 f: coeficiente de fricción, pavimento húmedo
 i: pendiente longitudinal en decimal

Nota. Tomado de MTC, 2018

2.5.2 Distancia de visibilidad de adelantamiento

Según el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2018):

Se trata de la distancia mínima necesaria para permitir que el conductor de un vehículo adelante a otro que viaja a una velocidad más baja de forma cómoda y segura, sin afectar la velocidad de un tercer vehículo que se aproxima en sentido contrario y se vuelve visible durante el proceso de adelantamiento. (p. 1)

Por tanto, la velocidad de adelantamiento no necesariamente tiene que presentarse en toda la longitud de la carretera, pero sí tiene que presentarse cada cierto tramo o porcentaje de la longitud de carretera. Para calcular la distancia de visibilidad de adelantamiento se calcula con la ayuda del siguiente ábaco.

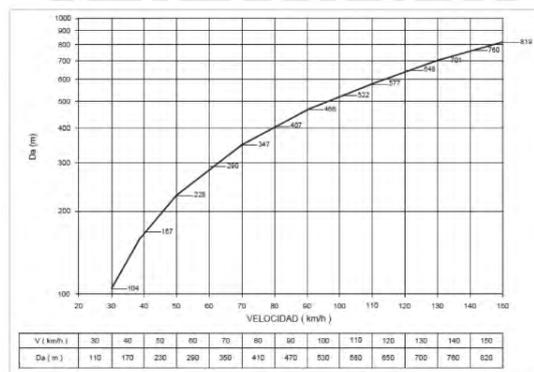


Figura 21. Distancia de visibilidad de adelantamiento

Nota. Tomado de MTC, 2018

La distancia de adelantamiento debe mantenerse de manera homogénea en la longitud de la carretera. Sin embargo, si la carretera es menor a 5 km puede colocarse en ciertos tramos donde el diseñador considere que debe haber más visibilidad. Para ello, la visibilidad adecuada se halla mediante la siguiente tabla.

Tabla 18

Porcentaje de la carretera con visibilidad adecuada

Condiciones orográficas	% mínimo	% deseable
Terreno plano Tipo 1	50	> 70
Terreno ondulado Tipo 2	33	> 50
Terreno accidentado Tipo 3	25	> 35
Terreno escarpado Tipo 4	15	> 25

Nota. Tomado de MTC, 2018

2.5.2.1 Despeje por visibilidad

El despeje por visibilidad es el ancho mínimo libre que debe tener la vía para que el conductor pueda visibilizar hacia delante sin que existan obstáculos. Adaptado de (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2018). En el caso de carreteras de tercera clase, el ancho mínimo libre para garantizar el despeje por visibilidad se calcula con la siguiente fórmula:

$$a_{\min} = R \left(1 - \cos \frac{28.65 D_p}{R} \right)$$

Dónde:

- a_{\min} : Ancho mínimo libre.
- R : Radio de la curva horizontal.
- D_p : Distancia de parada

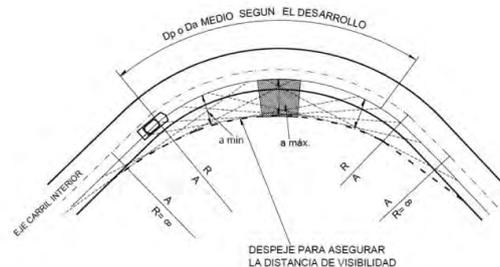


Figura 22. Despeje mínimo para asegurar la distancia de visibilidad

Nota. Tomado de MTC, 2018

2.5.2.2 Longitud de curvas

- Curvas convexas

Las curvas convexas se analizan con distancia de parada y distancia de adelantamiento. El análisis se realiza para el viaje de “ida” y “vuelta”, dado que las condiciones de manejo pueden variar (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2018).

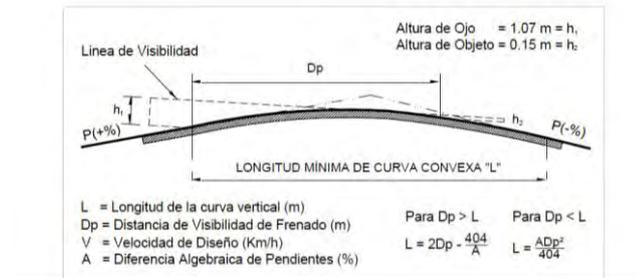
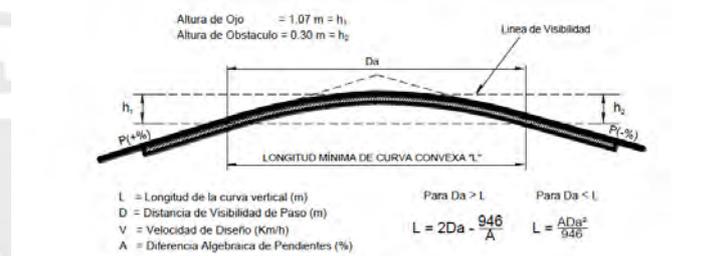


Figura 23. Longitud mínima de curva convexa con D_p

Nota. Tomado de MTC, 2018

- Curvas cóncavas

Las longitudes de las curvas cóncavas se analizan a partir de la distancia de adelantamiento y al considerar los viajes de “ida” y “vuelta”.



$$L = \frac{AV^2}{395}$$

Figura 24. Longitud mínima de curva convexa con D_a

Nota. Tomado de MTC, 2018

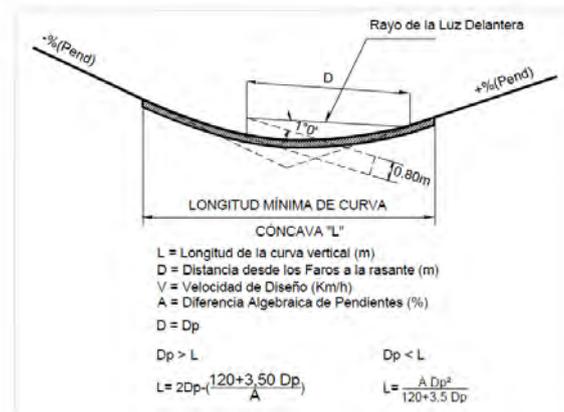


Figura 25. Longitud mínima de curva cóncava con Dp

Nota. Tomado de MTC, 2018

2.5.3 Secciones transversales

2.5.3.1 Ancho mínimo de la calzada

Según el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2018), La determinación del ancho de la calzada en una carretera recta se basará en el nivel de servicio objetivo al finalizar el período de diseño. Por lo tanto, el análisis de capacidad y niveles de servicio será utilizado para determinar el número y ancho de carriles.

Para hallar el ancho mínimo de la calzada se utilizó la siguiente tabla.

Tabla 19

Ancho mínimo de calzada

Clasificación	Autopista				Carretera				Carretera				Carretera							
	Tráfico vehiculos/día				Tráfico vehiculos/día				Tráfico vehiculos/día				Tráfico vehiculos/día							
Tipo	Primera Clase				Segunda Clase				Primera Clase				Segunda Clase				Tercera Clase			
Orografía	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Velocidad de diseño:																				
30km/h																				
40 km/h																	6.60	6.60	6.60	6.00
50 km/h																	6.60	6.60	6.60	6.00
60 km/h																	6.60	6.60	6.60	6.00
70 km/h																	6.60	6.60	6.60	6.00
80 km/h	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20			6.60	6.60	6.60	6.00
90 km/h	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20			7.20				6.60	6.60		
100 km/h	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20				7.20							
110 km/h	7.20	7.20			7.20															
120 km/h	7.20	7.20			7.20															
130 km/h	7.20																			

Notas:
 a) Orografía: Plano (1), Ondulado (2), Accidentado (3), y Escarpado (4)
 b) En carreteras de Tercera Clase, excepcionalmente podrán utilizarse calzadas de hasta 500 m, con el correspondiente sustento técnico y económico

Nota. Tomado de MTC, 2018

2.5.3.2 Bombeo

Según el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2018), Es requerido que las carreteras en tramos de tangente o curvas en contraperalte tengan una inclinación

transversal mínima, llamada bombeo, para permitir el drenaje de aguas superficiales. La pendiente del bombeo varía según la superficie de rodadura y los niveles de precipitación en la zona. Se utiliza la siguiente tabla para determinar la pendiente de bombeo y para ello es necesario conocer la precipitación media.

Tabla 20

Valores del bombeo de la calzada

Tipo de Superficie	Bombeo (%)	
	Precipitación <500 mm/año	Precipitación >500 mm/año
Pavimento asfáltico y/o concreto Portland	2.0	2.5
Tratamiento superficial	2.5	2.5-3.0
Afirmado	3.0-3.5	3.0-4.0

Nota. Tomado de MTC, 2018

2.5.3.3 Ancho de bermas

Según el (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2018), la berma, que forma parte de la carretera, se define en base a la categoría de la vía, la velocidad de diseño y las características de orografía. Para hallar el ancho de la berma se utiliza la siguiente tabla.

Tabla 21

Ancho de berma

Clasificación	Autopista								Carretera				Carretera				Carretera									
	> 6.000				6.000 - 4001				4.000-2.001				2.000-400				< 400									
	Primera clase		Segunda clase		Primera clase		Segunda clase		Primera clase		Segunda clase		Tercera Clase		Tercera Clase		Tercera Clase									
Tipo de orografía	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4						
Velocidad de diseño: 30 km/h																					0.50	0.50				
40 km/h																						1.20	1.20	0.90	0.50	
50 km/h										2.60	2.60											1.20	1.20	1.20	0.90	0.90
60 km/h					3.00	3.00	2.60	2.60	3.00	3.00	2.60	2.60	2.00	2.00	1.20	1.20	1.20	1.20								
70 km/h			3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	2.00	2.00	1.20											
80 km/h	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00		2.00	2.00												
90 km/h	3.00	3.00	3.00		3.00	3.00	3.00		3.00	3.00			2.00													
100 km/h	3.00	3.00	3.00		3.00	3.00	3.00		3.00				2.00													
110 km/h	3.00	3.00			3.00																					
120 km/h	3.00	3.00			3.00																					
130 km/h	3.00																									

Notas:

- Orografía: Plano (1), Ondulado (2), Accidentado (3), y Escarpado (4)
- Los anchos indicados en la tabla son para la berma lateral derecha, para la berma lateral izquierda es de 1,50 m para Autopistas de Primera Clase y 1.20 m para Autopistas de Segunda Clase
- Para carreteras de Primera, Segunda y Tercera Clase, en casos excepcionales y con la debida justificación técnica, la Entidad Contratante podrá aprobar anchos de berma menores a los establecidos en la presente tabla, en tales casos, se preverá áreas de ensanche de la plataforma a cada lado de la carretera, destinadas al estacionamiento de vehículos en caso de emergencias, de acuerdo a lo previsto en el [Técnico 304.12](#), debiendo reportar al órgano normativo del MTC.

Nota. Tomado de MTC, 2018

2.5.3.4 Taludes

Los ángulos de inclinación en los lados de las secciones de excavación y terraplén, conocidos como taludes, están determinados por las características de los materiales que constituyen el terreno. Existen diversas categorías de materiales que conforman el terreno, tales como la roca fija, la roca suelta, la grava, el limo arcilloso y las arenas.

(Adaptado de Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2018). Para hallar los taludes de corte y relleno, es necesario utilizar las siguientes tablas.

Tabla 22

Taludes de corte

Clasificación de materiales de corte	Roca fija	Roca suelta	Material		
			Grava	Limo arcilloso o arcilla	Arenas
Altura de corte <5 m	1:10	1:6-1:4	1:1-1:3	1:1	2:1
5-10 m	1:10	1:4-1:2	1:1	1:1	*
>10 m	1:8	1:2	*	*	*

(*) Requerimiento de banquetas y/o estudio de estabilidad.

Nota. Tomado de MTC, 2018

Tabla 23

Taludes de relleno

Tabla 304.11
Taludes referenciales en zonas de relleno (terraplenes)

Materiales	Talud (V:H)		
	Altura (m)		
	<5	5-10	>10
Gravas, limo arenoso y arcilla	1:1.5	1:1.75	1:2
Arena	1:2	1:2.25	1:2.5
Enrocado	1:1	1:1.25	1:1.5

Nota. Tomado de MTC, 2018

2.5.3.5 Sección de pavimento

Las capas del pavimento de la carretera de tercera clase presentadas constan de subbase, base y carpeta asfáltica. Para el desarrollo de la presente tesis, dichas capas no son realizadas mediante diseño de ingeniería, sino que son valores típicos tomados con fines de procesamiento de la carretera. A continuación, se muestra la sección del diseño del pavimento.

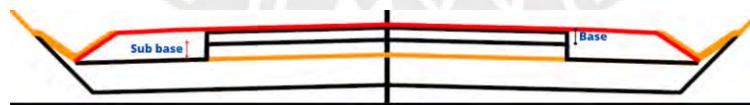


Figura 26. Sección de pavimento

Nota. Elaboración propia

Capítulo 3. Metodología

Para cumplir con los objetivos planteados se ha desarrollado una metodología clara, precisa y ordenada. En ese orden de ideas, la metodología presenta actividades realizadas

en campo como en gabinete, las cuales tienen subetapas que ayudaron a alcanzar los resultados esperados.

I. Visita a campo. – Se realizó una visita de campo con la finalidad de conocer el terreno y las condiciones en la que se encuentra. Asimismo, se conocieron las posibles interferencias al realizar la fotogrametría.

II. Fotogrametría con drones.

1. Grabación de ruta. – Debido a que Google Earth no tiene actualizada la trocha donde se quiere realizar el diseño geométrico, se realizó la grabación de la ruta por medio de la aplicación A-GPS Tracker y una motocicleta lineal.

2. Programación de ruta. – Se realiza la programación del área de vuelo donde existan posibles modificaciones de trazo.

3. Programación de vuelo. – El archivo KMZ obtenido de la programación de la ruta se exporta a la aplicación Pix4D y se realiza el plan de vuelo, colocando el porcentaje de traslapes establecidos y la altura de vuelo de 60m.

4. Vuelos. – Finalizada la programación, iniciamos con los vuelos de drones.

III. Procesamiento de fotografías. – Una vez obtenidas las fotografías, se procedió a importar al software Agisoft Metashape, dentro del cual, se realizó el flujo de trabajo para obtener las curvas de nivel.

1. Orientación de fotos: se realizó la orientación interna y externa de las fotografías, para obtener una nube de puntos dispersa.

2. Densificación de nubes puntos: con la nube de puntos dispersa se obtuvo una nube de puntos densa de gran precisión y exactitud.

3. Creación de malla: se realizó un modelo con una triangulación de la nube de puntos densa. Por lo tanto, se obtiene una superficie mucho más suave.

4. Creación del modelo digital de elevaciones (DEM): se obtiene incluso con una nube de puntos dispersa, nube de puntos densa o una malla suavizada. Lo más recomendable para topografía es generarla desde un modelo enmallado suavizado, y se realizó de esta manera, dado que de este modo se le otorga la apariencia de curvas de nivel.

5. Creación de curvas de nivel: con el modelo digital de elevaciones se procesa el modelo y se obtienen las curvas de nivel.

6. Creación de ortofoto: con las curvas de nivel, el modelo digital de elevaciones y la nube de puntos se genera la ortofoto.

- IV. Importar datos al software Istram:** las curvas y la ortofoto se importaron al software Istram para realizar el diseño geométrico de la carretera mediante un proceso BIM.
- V. Evaluación de expertos:** se aplicaron consultas a ingenieros con base en su juicio de expertos el tiempo que les hubiese podido tomar diseñar esta carretera de manera tradicional y con metodología BIM.
- VI. Análisis de resultados:** finalmente, se realiza el análisis de resultados para saber si se cumple con la hipótesis planteada.

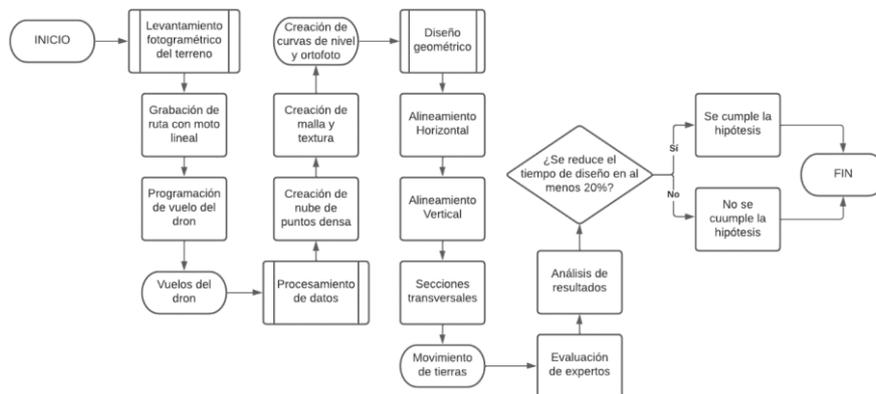


Figura 27. Diagrama de metodología

Nota. Elaboración propia

Capítulo 4. Aplicación de fotogrametría con drones, procesamiento de datos y diseño geométrico de la carretera en el proyecto

4.1 Aplicación de fotogrametría con drones

El trabajo en campo se realizó en un día completo. Este se llevó a cabo el domingo 31 de octubre. Se inició con el trabajo a las 8 a.m. aproximadamente y se finalizó a las 5:45 p.m. los equipos utilizados y el flujo de trabajo se detallarán a continuación.

4.1.1 Equipos utilizados

- Dron Mavic pro



Figura 28. Dron mavic pro

Nota. Elaboración propia

- Dron Phantom 3



Figura 29. Dron Phantom 3

Nota. Elaboración propia

- Camioneta 4x4



Figura 30. Camioneta Nota.

Elaboración propia

- Motocicleta lineal



Figura 31. Motocicleta lineal

Nota. Elaboración propia

- Grupo electrógeno



Figura 32. Grupo electrógeno

Nota. Elaboración propia

- Baterías extras (03)



Figura 33. Baterías extras

Nota. Elaboración propia

- Célular



Figura 34. Celular

Nota. Elaboración propia

El 100 % de los vuelos se realizó con el dron Mavic pro. No obstante, por precaución se llevó el Phantom 3. De igual manera, se contó con baterías extra para que el flujo de vuelos sea continuo.

4.1.2 Flujo de trabajo en campo

4.1.2.1 Ingreso a la carretera.

La carretera que se estudió inicia en el caserío de Pindicucho y finaliza en el caserío de Puma marca. A partir de un equipo de 3 personas se ingresó con la camioneta hasta el inicio de la carretera.

4.1.2.2 Gestión de riesgos

Antes de realizar el proceso fotogramétrico se realiza un análisis de riesgos de acuerdo con la flora, fauna y meteorología que existe en el lugar. En la visita a campo, se llegó a las siguientes conclusiones:

- El terreno es ondulado y sin la presencia de bosques, por lo que lo convierte en un terreno óptimo para realizar fotogrametría.
- No existe presencia de Aves grandes que puedan atacar al dron.
- La fotogrametría se realizó el 31 de octubre del 2021, en dicha fecha, el distrito de Limabamba se encontraba soleado. Asimismo, se realizó la fotogrametría desde las 8 a.m. hasta las 5:45 p.m. aproximadamente.
- No existen tormentas eléctricas que afecten los sistemas electrónicos del dron.
- Existían vientos moderados, por lo que se tuvo especial consideración con la estabilidad del vuelo del dron.

4.1.2.3 Grabación de la ruta.

Debido a que la ruta que se desea trazar no se encuentra actualizada en Google Earth, se realizó la grabación de la ruta por medio de una aplicación, la cual tiene por nombre A-GPS-Tracker. Para esto se utilizó la motocicleta lineal, la cual recorrió el camino de trocha y la grabación de la ruta de 3km se realizó en 40 minutos aproximadamente. Al finalizar la grabación se regresó al distrito de Limabamba para realizar la programación del vuelo, dado que para proceder con esto se debe tener conexión a internet.



Figura 35. Grabación de la ruta

Nota. Elaboración propia

4.1.2.4 Programación de ruta en Google Earth.

La ruta obtenida es un archivo KMZ. Este se importó a Google Earth y se trazó un ancho de 40 metros a ambos costados del eje de la carretera. Luego de realizar este proceso, se importó el nuevo archivo KMZ hacia la aplicación Pix4Dcapture para la programación de los vuelos.

4.1.2.5 Programación de vuelo con Pix4Dcapture.

El programa Pix4Dcapture se instaló en un celular y desde ese servidor se programó la ruta de vuelo que tomó el dron. A partir del diseño preliminar y la sectorización realizada, se importa un archivo KMZ, y con la ayuda del Pix4Dcapture se realizó una programación automatizada de la ruta que seguirá el dron. Para una correcta programación, resulta necesario indicar el porcentaje de traslapes a utilizar. Según (Ccapa Ayala, 2021) la recomendación es emplear un traslape frontal de 75 % y un traslape lateral de 70 %.

Por otro lado, para la programación del vuelo hay que tener en cuenta que cada batería del dron tiene una duración de 15 minutos de vuelo efectivo. En ese caso, para realizar el proceso de fotogrametría se utilizaron dos baterías al hacer un tiempo efectivo de 30 minutos. Motivo por el cual, se llevó a campo un grupo electrógeno para cargar las baterías y tener más tiempo de vuelo efectivo. Terminada la programación, se partió nuevamente a campo para realizar la fotogrametría.



Figura 36. Programación de vuelo

Nota. Elaboración propia

4.1.3 Vuelos de drones

Para realizar un proceso exitoso de la fotogrametría, se comenzó con los vuelos desde el punto más alto, para que cuando realice el aterrizaje el dron se pueda seguir con el siguiente vuelo en bajada.

Ejemplo del vuelo 1

Programado el vuelo, el dron realiza el despegue y comienza con la toma de imágenes, el vuelo tuvo una duración promedio de 8 minutos hasta su retorno y aterrizaje. Una vez que el dron realizó el aterrizaje, se retiraba la batería, se colocaba a cargar con el grupo electrógeno y se cambiaba por una con carga completa para el siguiente vuelo.



Figura 37. Vuelo de dron

Nota. Elaboración propia

En efecto, se realizaron un total de 10 vuelos con una duración promedio de 8 minutos por vuelo; esto es, un total de 80 minutos de vuelo efectivo. El primer vuelo se realizó a

las 14:55 p.m. y el último vuelo se realizó a las 17:30 p.m. aproximadamente. Una vez finalizado el proceso fotogramétrico se regresó al distrito con el fin de descansar. Al día siguiente se retornó a la ciudad de Chachapoyas.

4.2 Procesamiento de datos

Para realizar el trabajo de gabinete y el procesamiento de imágenes, se solicitó a la oficina del Consorcio Vial Kuelap del tramo 106B, ubicada en el distrito de Molinopampa, una de sus computadoras del área de topografía. El motivo de dicha solicitud se basó en que las computadoras de topografía tienen tarjetas gráficas RTX 3050 y memoria RAM de 64GB. Las características de dicha computadora permitieron un flujo de trabajo rápido y sin inconvenientes.

4.2.1 Flujo de trabajo en Agisoft Metashape

El software Agisoft Metashape tiene una pestaña donde indica el flujo de trabajo que se sigue, la cual se muestra a continuación.

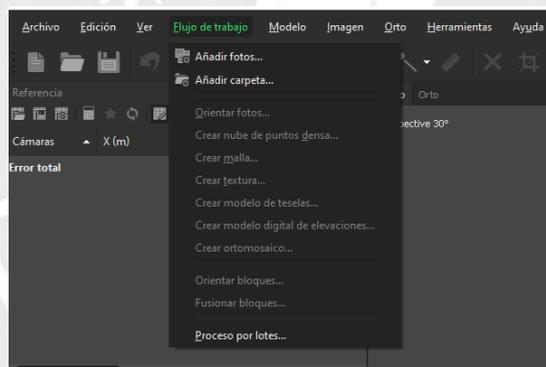


Figura 38. Flujo de trabajo en Agisoft Metashape

Nota. Elaboración propia

4.2.2 Importación de fotos

Las fotos obtenidas de los vuelos del dron se almacenan en una sola carpeta y luego se importa al software.

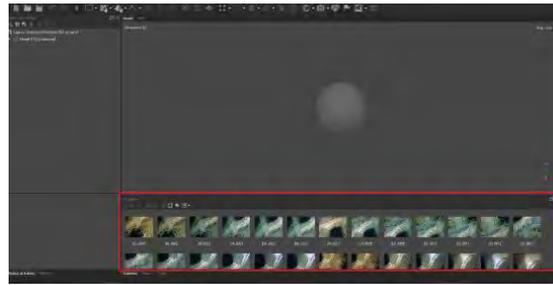


Figura 39. Importación de fotos

Nota. Elaboración propia

4.2.3 Orientación de fotografías

Se orientan las fotos en la mejor calidad posible para obtener un buen modelo.

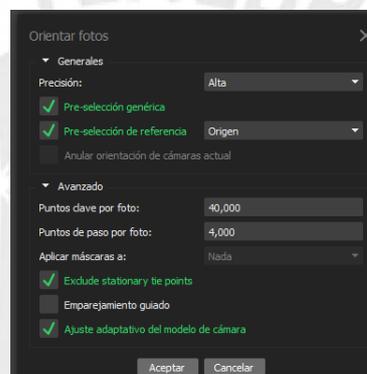


Figura 40. Orientación de fotografías

Nota. Elaboración propia

Este proceso finaliza durante 25 minutos, aproximadamente, con un total de 864560 puntos.

4.2.4 Creación de nube de puntos densa.

Este es uno de los procesos más importantes, dado que, de realizar una correcta nube de puntos densa, el modelo será más preciso. Este proceso tuvo una duración de 2 horas aproximadamente y el resultado es el siguiente.

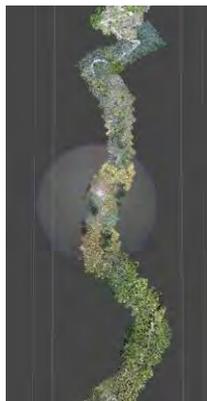


Figura 41. Nube de puntos densa

Nota. Elaboración propia

4.2.5 Clasificación de puntos

La nube de puntos densa se puede juntar y clasificar con nombres específicos. Por ejemplo, se clasifica la parte de fotografía de color verde como “Vegetación” y de esa manera se procede con los demás colores o formas. Esta clasificación es de gran ayuda, debido a que es posible depurar información del modelo para que no sea “pesado” ni difícil de procesar. Este proceso se realiza en 10 minutos, aproximadamente.

4.2.6 Creación de mallas y textura.

La creación de mallas y textura es para que el modelo sea lo más realístico posible. Al finalizar esta fase, se obtiene el siguiente modelo. Este proceso tuvo una duración de 1 hora con 30 minutos, aproximadamente.



Figura 42. Mallas y textura en modelo

Nota. Elaboración propia

4.2.7 Creación de modelo digital de elevaciones (MDE).

El modelo digital de elevaciones permite establecer curvas de nivel, las cuales se presentan en diferentes colores; en esa medida, el color rojo indica más altura y las azules menos altura. Este proceso demoró aproximadamente 1 hora con 45 minutos, y el resultado es el siguiente:

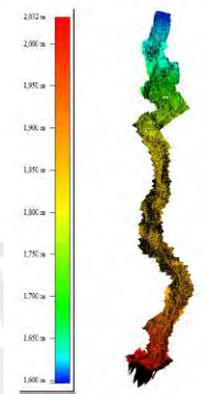


Figura 43. Modelo Digital de Elevaciones

Nota. Elaboración propia

4.2.8 Creación del Ortomosaico

Es una fotografía en 3D con información de coordenadas y curvas de nivel. Esta es conocida como Orto foto, la cual ayuda a importar el software y realizar el diseño sobre la fotografía. Esto beneficia la visibilidad real del terreno. Para trabajar en el software Istram es necesario exportar la ortofoto en formato TIFF. Este proceso tomó 2 horas con 45 minutos aproximadamente y el resultado es el siguiente.



Figura 44. Ortomosaico

Nota. Elaboración propia

4.2.9 Creación de curvas de nivel

Con la ayuda del modelo digital de elevaciones se obtuvieron las curvas de nivel del modelo. Este proceso se estima en 15 minutos y el resultado es el siguiente.



Figura 45. Curvas de nivel

Nota. Elaboración propia

El trabajo en gabinete para obtener las curvas de nivel y la ortofoto tomaron un tiempo aproximado de 9 horas. El trabajo se realizó en 3 días. Sin embargo, no fueron consecutivos, puesto que se realizaron los domingos 7, 17 y 21 de noviembre con un promedio de 3 horas diarias. Los trabajos de gabinete se realizaron esos días, dado que de lunes a sábado los investigadores de la presente investigación se encontraban en un campamento a 3 horas de la oficina.

4.3 Diseño de la carretera en Istram

El diseño de la nueva carretera que se presenta es parte de la red local de vías del distrito de Limabamba, la cual une los caseríos “Pindicucho” y “Puma marca”. Para realizar el diseño definitivo de la carretera se tuvo en cuenta la existencia de un camino peatonal, la cual fue tomada como base para el trazado de la ruta. En esa medida, se analizaron 3 rutas diferentes y de ellas se elige la más adecuada.

4.3.1 Alternativa 1

4.3.1.1 Clasificación por IMDA, número de carriles y ancho de carriles

En la presente tesis se determinó un IMDA de 209, este valor deriva directamente del expediente técnico elaborado por Quintaña (2019). El expediente titulado “MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA VECINAL MULTIDISTRITAL NUEVO HORIZONTE - SANTA ROSA - TOTORA - LIMABAMBA - CHIRIMOTO - CALHUAYCO - MILPUC - CRUCE CHAGUAR, PROVINCIA DE RODRIGUEZ DE MENDOZA - MAZONAS” menciona que el IMDA proyectado para el año 2023 es 209. El valor del IMDA se muestra en el anexo A. La razón fundamental que respalda la elección de este valor radica en su consideración integral de los distritos pertenecientes a la Mancomunidad del Valle Shocol, los cuales se mencionan en el título del expediente, con un enfoque especial en el distrito de Limabamba. Así mismo, debido a que la carretera Pindicucho – Puma Marca tiene una influencia sobre todo el Valle Shocol, es menester considerar el IMDA de 209 para la carretera Pindicucho – Puma Marca. Con la tabla que se muestra a continuación se determina el tiempo vía de acuerdo a la demanda.

Tabla 24*Clasificación de carreteras de acuerdo con la demanda*

Autopistas de Primera Clase:	IMDA > 6000 veh/día,	Control total de accesos, separador central mínimo de 6m, ancho mínimo de carril 3.60 m
Autopistas de Segunda Clase:	4001 < IMDA < 6000 veh/día,	Control parcial de accesos, separador central de 1m a 6 m, ancho mínimo de carril 3.60 m
Carreteras de 1ª Clase:	2001 < IMDA < 4000 veh/día,	Calzada de 2 carriles, ancho mínimo de carril 3.60 m
Carreteras de 2ª Clase:	400 < IMDA < 2000 veh/día,	Calzada de 2 carriles, ancho mínimo de carril 3.60 m
Carreteras de 3ª Clase:	IMDA < 400 veh/día,	Calzada de 2 carriles, ancho mínimo de carril 3.00 m
Trochas Carrosables:	IMDA < 200 veh/día,	Ancho mínimo de calzada de 4.00 m

Nota. Tomado de MTC, 2018

A través del dato del IMDA de 209 y la tabla anterior, se clasificó la vía como una carretera de tercera clase, la cual debería tener 2 carriles de 3m de ancho mínimo.

4.3.1.2 Clasificación por orografía

La clasificación de los terrenos está determinada por la inclinación transversal que poseen. Asimismo, la siguiente tabla puede ser empleada para llevar a cabo dicha categorización.

Tabla 25*Clasificación de carreteras de acuerdo con su orografía*

Terreno plano (tipo 1):	pendiente transversal entre 0 y 10%
Terreno ondulado (tipo 2):	pendiente transversal entre 11% y 50%
Terreno accidentado (tipo 3):	pendiente transversal entre 51 % y 100%
Terreno escarpado (tipo 4):	pendiente transversal > 100%

Nota. Tomado de MTC, 2018

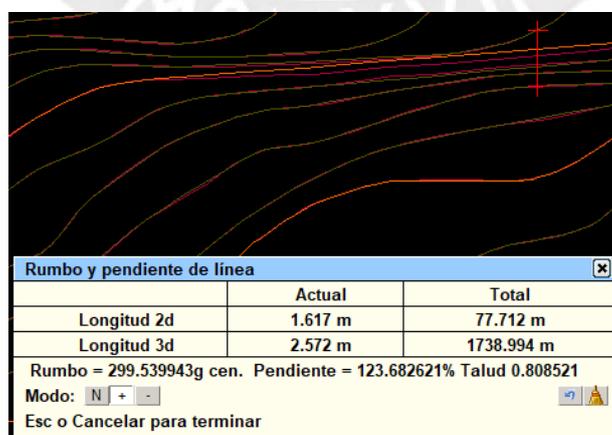


Figura 46. Pendiente transversal

Nota. Elaboración propia

Para obtener la pendiente transversal se tomó un valor representativo de la zona más sinuosa y dificultosa para el trazo; por tal motivo, se tomó como pendiente transversal 123.68 %. Al utilizar la Figura 13, se clasificó el terreno como escarpado.

4.3.1.3 Vehículo de diseño

La selección del vehículo de diseño se fundamenta en los expedientes elaborados por Quintaña (2019) y Vera y Moreno S.A (2019). En dichos expedientes se determinó que el vehículo con mayor representación es el C2 y sus características se muestran a continuación:

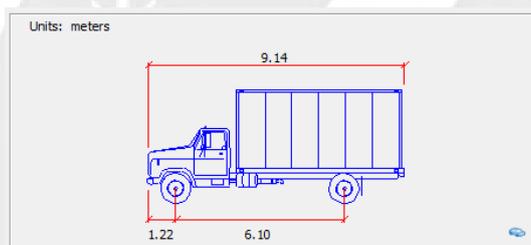
Alto total: 4.10 m

Ancho total: 2.60 m

Ancho ejes: 6.10 m

Largo total: 9.10 m

Separación de ejes: 6.10 m



TIPO DE VEHÍCULO	NOMENCLATURA	ALTO TOTAL	ANCHO TOTAL	LARGO TOTAL	LONGITUD ENTRE EJES	DIST. ENTRE	RADIO	RADIO
						EJE POSTERIOR Y PARTE DELANTERA	MÍNIMO RUEDA EXTERNA DELANTERA	MÍNIMO RUEDA INTERNA TRASERA
Camión								
Simple 2 Ejes	C2	4,10	2,60	9,10	6,10	7.3	12,80	8,50

Figura 47. Vehículo de diseño C2 camión simple de dos ejes

Nota. Tomado de Mej. vías dep. am - 106, tramo: emp. pe - 5n (balzapata) – jumbilla – asunción emp. pe - 8b (molinopampa); am - 110: chachapoyas – levanto; tramo: emp. pe - 8b (tingo) am - 111: emp. pe - 8b (tingo) – longuita – maría – kuelap, prov. chachapoyas – bongará y luya - Amazonas, por Vera & Moreno S.A, 2019, <https://bit.ly/3MzXEae>

4.3.1.4 Velocidad de diseño

Este parámetro es uno de los datos más importantes, debido a que con ello se pueden conocer las longitudes máximas de curvas “S” y “O”, coeficientes de fricción transversal y longitudinal. Esto depende de tres factores principales: tipo de vía, orografía e IMDA.

Tabla 26

Velocidad de diseño

CLASIFICACIÓN	OROGRAFÍA	VELOCIDAD DE DISEÑO DE UN TRAMO HOMOGÉNEO VTR (km/h)											
		30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	
Autopista de primera clase	Plano												
	Ondulado												
	Accidentado												
	Escarpado												
Autopista de segunda clase	Plano												
	Ondulado												
	Accidentado												
	Escarpado												
Carretera de primera clase	Plano												
	Ondulado												
	Accidentado												
	Escarpado												
Carretera de segunda clase	Plano												
	Ondulado												
	Accidentado												
	Escarpado												
Carretera de tercera clase	Plano												
	Ondulado												
	Accidentado												
	Escarpado												

Nota. Tomado de MTC, 2018

A partir de los datos anteriores y con la ayuda de la tabla se eligió la velocidad de 30km/h para los tramos homogéneos. Sin embargo, es posible tomar la velocidad de diseño de 20km/h para zonas de curva de volteo tal y como se realizó en el expediente técnico (Vera y Moreno S.A, 2019).

4.3.1.5 Peralte máximo

El peralte máximo se encuentra con base en el tipo de carretera que se está diseñando, en este caso Tipo 4.

Tabla 27

Valores de peralte máximo

Pueblo o ciudad	Peralte Máximo (p)		Ver Figura
	Absoluto	Normal	
Atravesamiento de zonas urbanas	6.0%	4.0%	302.02
Zona rural (T. Plano, Ondulado o Accidentado)	8.0%	6.0%	302.03
Zona rural (T. Accidentado o Escarpado)	12.0	8.0%	302.04
Zona rural con peligro de hielo	8.0	6.0%	302.05

Nota. Tomado de MTC, 2018

A partir de la tabla anterior se encuentra que el peralte máximo es de 12 %.

4.3.1.6 Coeficiente de fricción transversal

Este coeficiente “ f_t ” se utiliza para calcular el radio mínimo absoluto en una curva horizontal.

Tabla 28

Fricción transversal máxima en curvas

Velocidad de diseño Km/h	f_{\max}
30 (ó menos)	0.17
40	0.17
50	0.16
60	0.15

Nota. Tomado de MTC, 2018

Usando la tabla, hallamos un valor de $f_{\max}=0.17$

4.3.1.7 Radio mínimo

Para el cálculo se puede utilizar la siguiente fórmula:

$$R_{\min} = \frac{v^2}{127 (P_{\max} + f_{\max.})}$$

Figura 48. Radio mínimo

Nota. Tomado de MTC, 2018

Donde:

P_{\max} : Peralte máximo

f_{\max} : Fricción transversal máxima en curvas

Tabla 29

Radio mínimo

V (km/h)	P max (%)	f_{\max}	R min (m)	R redondeado (m)
20	12	0.17	10.9	15
30	12	0.17	24.4	25

Nota. Elaboración propia

Mediante la aplicación de la fórmula se encuentra un radio mínimo de 15 metros para la zona de curvas de volteo. Mientras que para las zonas homogéneas se encuentra un radio mínimo de 25m.

4.3.2 Diseño de alineamiento horizontal

4.3.2.1 Trazo de alternativa 1

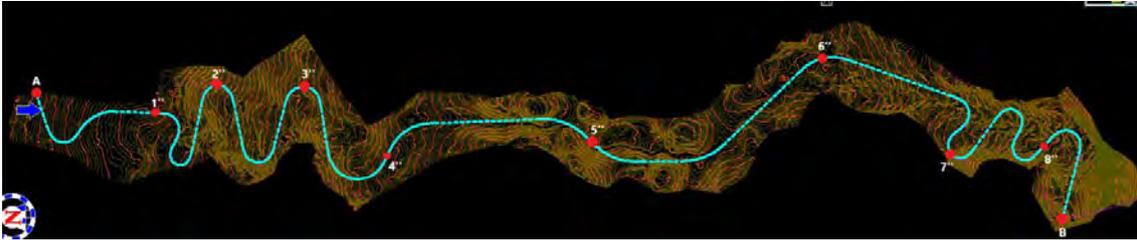


Figura 49. Trazo alternativa 1

Nota. Elaboración propia

4.3.2.2 Tramos en tangente

Estas longitudes se pueden hallar mediante la siguiente Tabla:

Tabla 30

Longitudes de tramos en tangente

Tabla 302.01
Longitudes de tramos en tangente

V (km/h)	L min.s (m)	L min.o (m)	L máx (m)
30	42	84	500
40	56	111	668
50	69	139	835
60	83	167	1002
70	97	194	1169
80	111	222	1336
90	125	250	1503
100	139	278	1670
110	153	306	1837
120	167	333	2004
130	180	362	2171

Dónde:

L_{min.s}: Longitud mínima (m) para trazados en "S" (alineamiento recto entre alineamientos con radios de curvatura de sentido contrario).

L_{min.o}: Longitud mínima (m) para el resto de casos (alineamiento recto entre alineamientos con radios de curvatura del mismo sentido).

L_{máx}: Longitud máxima deseable (m).

V : Velocidad de diseño (km/h)

Las longitudes de tramos en tangente presentada en la [Tabla 302.01](#), están calculadas con las siguientes fórmulas:

$$L_{\text{min.s}} : 1.39 V$$

$$L_{\text{min.o}} : 2.78 V$$

$$L_{\text{máx}} : 16.70 V$$

Nota. Tomado de MTC, 2018

Al aplicar las fórmulas de L_{min S}, L_{min O} y L_{máx} se encuentran los siguientes valores para las dos velocidades de diseño.

Tabla 31*Longitudes máximas en S y O*

V (km/h)	L mín. S (m)	L mín. O (m)	L máx (m)
20	28	56	334
30	42	84	500

Nota. Elaboración propia

Del listado de alineaciones se puede verificar que todos los tramos rectos cumplen con la normativa, tanto en la zona homogénea, como en zona de curvas de volteo, dichas alineaciones se muestran en el anexo B.

4.3.2.3 Curva circular

Para carreteras de tercera clase, se debe verificar que la longitud de la curva sea mayor a 3 veces la velocidad de diseño.

Tabla 32*Longitud mínima de curva*

Carretera red nacional	L (m)
Autopistas	6 V
Carreteras de dos carriles	3 V

V = Velocidad de diseño (km/h)

Nota. Tomado de MTC, 2018

Se puede concluir a partir de la tabla mencionada que la curva debe tener una longitud mínima de 90m para permitir una velocidad de 30km/h, mientras que para una velocidad de 20km/h se requiere una longitud mínima de 60m. Por otro lado, con los datos de Istram se obtienen los datos que cumplen con la normativa y se muestran en el anexo C.

El alineamiento N°5, que es un círculo, tiene una longitud de 31.47m. Sin embargo, existe dos clotoides de ingreso y salida del círculo de 30m de longitud cada una. La longitud efectiva del círculo cuando existen clotoides se calcula como la longitud del círculo más la mitad de la longitud de la clotoide. Por lo tanto, la longitud del círculo sería $31.47 + 2 \cdot 30 / 2 = 61.47$, el cual es mayor a los 60m de longitud en curva de volteo. Al utilizar el mismo criterio se cumplen las demás curvas homogéneas y curvas de volteo.

4.3.2.4 Peraltes

Para hallar los peraltes de cada una de las curvas horizontales se utilizó el siguiente ábaco.

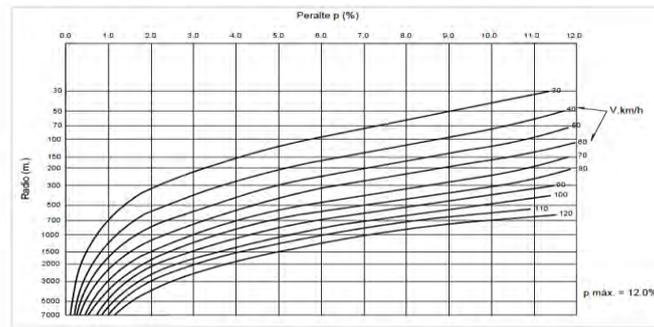


Figura 50. Peralte en zona rural (Tipo 3 o 4)

Nota. Tomado de MTC, 2018

A partir de la ayuda del ábaco anterior y los radios de las curvas, se pueden hallar los peraltes y los resultados se muestran en el anexo D.

4.3.2.5 Transición de peralte.

La transición de peraltes se lleva a cabo en las curvas para carreteras de tercera clase. Para ello se utilizó la siguiente Tabla.

Tabla 33

Valores de peralte máximo

Pueblo o ciudad	Peralte Máximo (p)		Ver Figura
	Absoluto	Normal	
Atravesamiento de zonas urbanas	6.0%	4.0%	302.02
Zona rural (T. Plano, Ondulado o Accidentado)	8.0%	6.0%	302.03
Zona rural (T. Accidentado o Escarpado)	12.0	8.0%	302.04
Zona rural con peligro de hielo	8.0	6.0%	302.05

Nota. Tomado de MTC, 2018

A través de la Tabla anterior y con los datos del terreno que es ondulado, se obtiene un peralte máximo de 12 %. También es posible calcular la longitud mínima de transición de peralte y la longitud mínima de transición de bombeo a través de fórmulas. Sin embargo, para carreteras de tercera clase se utilizó la siguiente Tabla

Tabla 34

Valores mínimos de transición de peralte y bombeo

Velocidad de diseño (Km/h)	Valor del peralte						Longitud mínima de transición de bombeo (m)**
	2%	4%	6%	8%	10 %	12 %	
	Longitud mínima de transición de peralte (m)*						
20	9	18	27	36	45	54	9
30	10	19	29	38	48	58	10
40	10	21	31	41	51	62	10
50	11	22	33	44	55	66	11
60	12	24	36	48	60	72	12
70	13	26	39	52	65	79	13
80	14	29	43	58	72	86	14
90	15	31	46	61	77	92	15

* Longitud de transición basada en la rotación de un carril

** Longitud basada en 2% de bombeo

Nota. Tomado de MTC, 2018

Utilizando la información proporcionada en la tabla previamente mencionada, se determinó que las longitudes mínimas de transición de peralte y bombeo son de 58 y 10 metros, respectivamente.

En la planificación geométrica de carreteras, se establece una longitud de radio en función de la velocidad de diseño, con el propósito de evitar la necesidad de curvas de transición. Se presenta a continuación una tabla que contiene esta información.

Tabla 35

Radios que permiten prescindir de curvas de transición en carreteras de tercera clase

Velocidad de diseño Km/h	Radio M
20	24
30	55
40	95
50	150
60	210
70	290
80	380
90	480

Nota. Tomado de MTC, 2018

A través de la ayuda que posibilitó la Tabla anterior, se evidenció que la longitud del radio, la cual permite prescindir de curvas de transición, es 55m para una velocidad de 30 km/h y 24 para una velocidad de 20km/h.

4.3.2.6 Curvas de transición

Para encontrar las longitudes de curvas de transición o conocidas también como clotoides, se debe cumplir con 3 criterios y 3 consideraciones adicionales. Dichos criterios se presentan a continuación.

- Criterio 1: variación de la aceleración de la fuerza centrífuga:

El parámetro de la clotoide está gobernado por la ecuación de Euler, la cual se muestra a continuación.

$$R L = A^2 \dots (*)$$

Dónde:

- R : radio de curvatura en un punto cualquiera.
- L : Longitud de la curva entre su punto de inflexión ($R = \infty$) y el punto de radio R.
- A : Parámetro de la clotoide, característico de la misma.

Figura 51. Ecuación de Euler

Nota. Tomado de MTC, 2018

El parámetro A y la longitud mínima de clotoide deben cumplir con las siguientes ecuaciones.

$$A_{\min} = \sqrt{\frac{VR}{46.656 J} \left(\frac{V^2}{R} - 1.27p \right)}$$

$$L_{\min} = \frac{V}{46.656 j} \left[\frac{V^2}{R} - 1.27p \right]$$

Figura 52. Parámetro A y Lmin de clotoide

Nota. Tomado de MTC, 2018

Donde:

V: Velocidad de diseño (km/h)

R: Radio de curvatura (m)

J: Variación uniforme de la aceleración (m/s^3)

P: Peralte correspondiente a V y R. (%)

Los valores de J se hallan de acuerdo con la siguiente Tabla.

Tabla 36

Variación de la aceleración transversal por unidad de tiempo

V (km/h)	V < 80	80 < V < 100	100 < V < 120	V > 120
J (m/s^3)	0.5	0.4	0.4	0.4
Jmáx (m/s^3)	0.7	0.8	0.5	0.4

Nota. Tomado de MTC, 2018

De igual modo, se presentó la siguiente Tabla con los cálculos realizados para este criterio.

Tabla 37

Longitud mínima de transición

Velocidad Km/h	Radio mín. m	j m/ps	Peralte máx. %	A _{sup} m ²	Longitud de transición (L)	
					Calzada m	Ecolodada m
30	24	0.5	12	26	28	30
30	28	0.5	10	27	28	30
30	20	0.5	8	28	29	30
30	31	0.5	6	29	27	30
30	34	0.5	4	31	28	30
30	37	0.5	2	32	29	30
40	43	0.5	12	40	37	40
40	47	0.5	10	41	36	40
40	50	0.5	8	43	37	40
40	55	0.5	6	45	37	40
40	60	0.5	4	47	37	40
40	66	0.5	2	50	38	40
50	70	0.5	12	55	43	45
50	76	0.5	10	57	43	45
50	82	0.5	8	60	44	45
50	89	0.5	6	62	43	45
50	98	0.5	4	66	44	45
50	109	0.5	2	69	44	45
60	105	0.5	12	72	49	50
60	113	0.5	10	75	50	50
60	123	0.5	8	78	49	50
60	135	0.5	6	81	49	50
60	149	0.5	4	86	50	50
60	167	0.5	2	90	49	50
70	148	0.5	12	99	54	55
70	161	0.5	10	93	54	55
70	175	0.5	8	97	54	55
70	193	0.5	6	101	53	55
70	214	0.5	4	107	54	55
70	241	0.5	2	113	53	55
80	194	0.4	12	113	75	75
80	210	0.4	10	126	76	75
80	229	0.4	8	132	76	75
80	252	0.4	6	139	77	75
80	280	0.4	4	146	76	75
80	314	0.4	2	155	76	75
90	253	0.4	12	143	80	80
90	277	0.4	10	149	80	80
90	304	0.4	8	155	79	80
90	336	0.4	6	163	79	80
90	375	0.4	4	173	80	80
90	425	0.4	2	184	80	80

Nota. Tomado de MTC, 2018

- Criterio 2: limitación de la variación por estética y guiado óptico.

$$\frac{R}{3} \leq A \leq R$$

Figura 53. Limitación de la variación por estética y guiado óptico

Nota. Tomado de MTC, 2018

- Criterio 3: por condición de desarrollo de peralte

En carreteras de tercera clase hay que tener en cuenta las siguientes fórmulas.

$$L_{\min} = 0.0178 \frac{V^3}{R} \quad L_{\max} = (24R)^{0.5}$$

V : Velocidad de diseño (km/h)
R : Radio de diseño (m).

Figura 54. Condiciones de longitud de transición para carreteras de tercera clase

Nota. Tomado de MTC, 2018

Luego de evaluar los 3 criterios, se tuvieron en consideración las siguientes pautas:

1. Elegimos a la mayor de las longitudes de los 3 criterios.
2. La longitud mínima de transición es de 30m.
3. La longitud máxima de curva de transición no será superior a $1.5L_{min}$.

Tabla 38*Longitud de transición*

Velocidad (km/h)	RADIO (m)	J (m/s ³)	PERALTE max	A _{min}	Long. Calculado	Longitud Redondeado
20	11	0.5	12	14.1	18.1	20
30	25	0.5	12	25.8	26.7	30

Nota. Elaboración propia

4.3.2.7 Curva de inflexión

Dentro de las configuraciones recomendables se encuentran las curvas de inflexión o curvas “S”, las cuales deben cumplir con los requisitos que se muestran a continuación (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2018).

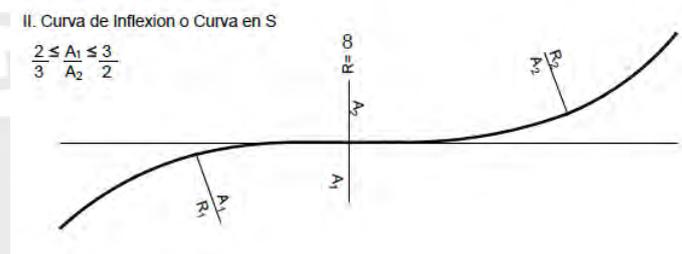


Figura 55. Curva de inflexión o curva en S

Nota. Tomado de MTC, 2018

El listado y detallado de cada curva de inflexión se muestran en el anexo E.

Tabla 39*Curvas de inflexión*

CONFIGURACIÓN	VELOCIDAD (KM/H)	RADIO (M)	J (M/S3)	PERALTE	AMIN	A1/A2	CUMPLE	
1	A1	20	30	0.7	-11.6	22.71	1.42	SÍ
	A2	30	80	0.5	6.9	16.00		
2	A1	30	30	0.5	11.6	24.27	1.02	SÍ
	A2	20	20	0.5	-10	23.68		
3	A1	20	60	0.7	-8.4	25.24	1.50	SÍ
	A2	30	80	0.5	6.7	16.79		
4	A1	30	30	0.5	11.6	24.27	0.96	SÍ
	A2	20	25	0.5	-10.82	25.25		
5	A1	30	25	0.5	11.9	25.91	1.00	SÍ
	A2	20	25	0.5	-11.9	25.82		

Nota. Elaboración propia

A partir de la tabla anterior se verificó que los tramos de curvas de inflexión sí se cumplen.

4.3.2.8 Sobreancho

Para hallar el sobreancho se empleó la siguiente fórmula que proporciona el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2018):

$$S_a = n \left(R_c - \sqrt{R_c^2 - L^2} \right) + \frac{V}{10\sqrt{R_c}}$$

Dónde:

- S_a : Sobreancho (m)
- n : Número de carriles
- R_c : Radio de curvatura circular (m)
- L : Distancia entre eje posterior y parte frontal (m)
- V : Velocidad de diseño (km/h)

Figura 56. Ecuación de Euler

Nota. Tomado de MTC, 2018

El sobreancho debe cumplir con 3 requisitos

Si el $S_a < 0.40$ m, entonces el sobreancho es igual a 0

Si el $S_a = 0.40$ m, entonces el sobreancho es igual a 0

Con la fórmula anterior y los datos de diseño, hallamos que $S_a = 2.4$ m

4.3.3 Diseño de alineamiento vertical

4.3.3.1 Pendiente máxima

Para encontrar el valor de la pendiente máxima se usó la siguiente Tabla.

Tabla 40

Pendientes máximas

Tabla 303.01
Pendientes máximas (%)

Demanda	Autopistas												Carretera				Carretera							
	> 6.000				6.000 - 4001				4.000-2.001				2.000-400				< 400							
	Primera clase		Segunda clase		Primera clase		Segunda clase		Primera clase		Segunda clase		Tercera clase		Tercera clase									
Tipo de orografía	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4				
Velocidad de diseño: 30 km/h																					0,00	0,00		
40 km/h																					9,00	8,00	9,00	10,00
50 km/h												7,00	7,00								8,00	9,00	8,00	8,00
60 km/h																					6,00	7,00	7,00	8,00
70 km/h																					5,00	5,00	6,00	6,00
80 km/h																					5,00	5,00	6,00	6,00
90 km/h																					5,00	5,00	6,00	6,00
100 km/h																					4,50	4,50	5,00	5,00
110 km/h																					4,00	4,00	4,00	
120 km/h																					4,00	4,00		
130 km/h																					3,50			

Nota. Tomado de MTC, 2018

A partir de la ayuda de la Tabla anterior se evidenció una pendiente máxima de 10 %.

4.3.3.2 Distancia de velocidad de parada

La distancia de velocidad de parada se debe cumplir en toda la trayectoria de la carretera. Esta se calcula mediante la siguiente fórmula y Tabla.

Tabla 41

Distancia de velocidad de parada

Design Speed (km/h)	Assumed Speed for Conditions (km/h)	Brake Reaction Time (s)	Distance (m)	Coefficient of Friction ^a f	Breaking Distance on Level (m)	Stopping Sight Distance for Design (m)
30	30-30	2,5	20,8-20,8	0,40	8,8-8,8	29,6-29,6
40	40-40	2,5	27,8-27,8	0,38	16,6-16,6	44,4-44,4
50	47-50	2,5	32,6-34,7	0,35	24,8-28,1	57,4-62,8
60	55-60	2,5	38,2-41,7	0,33	36,1-42,9	74,3-84,6
70	63-70	2,5	43,7-48,6	0,31	50,4-62,2	94,1-110,8
80	70-80	2,5	48,6-55,5	0,30	64,2-83,9	112,8-139,4
90	77-90	2,5	53,5-62,5	0,30	77,7-106,2	131,2-168,7
100	85-100	2,5	59,0-69,4	0,29	98,0-135,6	157,0-205,0
110	91-110	2,5	63,2-76,4	0,28	116,3-170,0	179,5-246,4
120	98-120	2,5	68,0-83,3	0,28	134,9-202,3	202,9-285,6

$$D_p = \frac{V_0 t_{pr}}{3,6} + \frac{V_0^2}{254(f \pm i)}$$

D_p : Distancia de parada (m)
 V_0 : Velocidad de diseño (km/h)
 t_{pr} : tiempo de percepción-reacción (seg), mínimo 2 seg (DG 2014)
 f : coeficiente de fricción, pavimento húmedo
 i : pendiente longitudinal en decimal

Nota. Tomado de MTC, 2018

4.3.3.3 Distancia de visibilidad de adelantamiento

De acuerdo con el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2018):

La velocidad de adelantamiento no necesariamente tiene que presentarse en toda la longitud de la carretera, pero sí tiene que presentarse cada cierto tramo o porcentaje de la longitud de carretera. Para ello se utilizó el siguiente ábaco y Tabla.

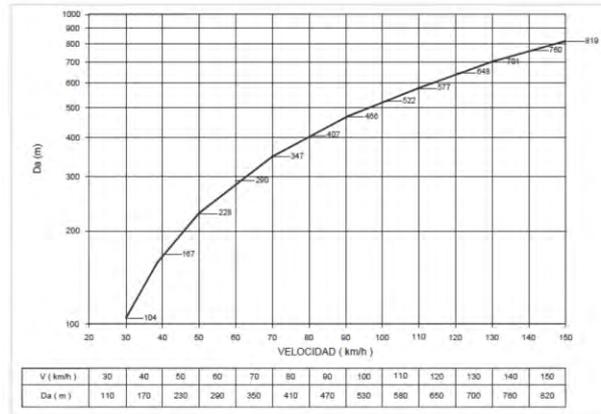


Figura 57. Distancia de visibilidad de adelantamiento

Nota. Tomado de MTC, 2018

La distancia de visibilidad de adelantamiento para velocidad de 30km/h es de 110m.

Tabla 42

Porcentaje de la carretera con visibilidad adecuada

Condiciones orográficas	% mínimo	% deseable
Terreno plano Tipo 1	50	> 70
Terreno ondulado Tipo 2	33	> 50
Terreno accidentado Tipo 3	25	> 35
Terreno escarpado Tipo 4	15	> 25

Nota. Tomado de MTC, 2018

A partir del ábaco que se presenta se obtiene 110m de distancia de adelantamiento. Por otro lado, mediante un porcentaje mínimo de 15 % en toda la longitud de la carretera.

4.3.3.4 Despeje por visibilidad

En el escenario de vías de tercera clase, el ancho mínimo libre para garantizar el despeje por visibilidad se calcula con la siguiente fórmula:

$$a_{\min} = R \left(1 - \cos \frac{28.65 D_p}{R} \right)$$

Dónde:

- a_{\min} : Ancho mínimo libre.
- R : Radio de la curva horizontal.
- D_p : Distancia de parada

Figura 58. Despeje por visibilidad

Nota. Tomado de MTC, 2018

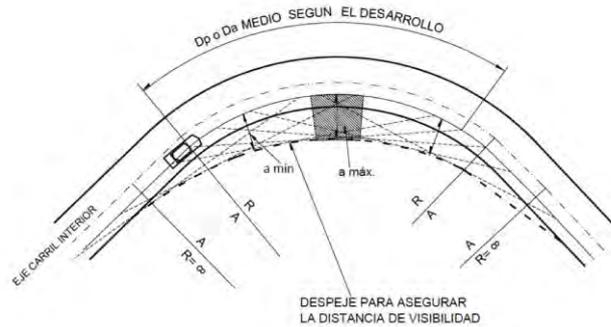


Figura 59. Despeje mínimo para asegurar la distancia de visibilidad

Nota. Tomado de MTC, 2018

El ancho mínimo libre está supeditada al radio de la curvatura

4.3.3.5 Longitud de curvas

- Curvas convexas

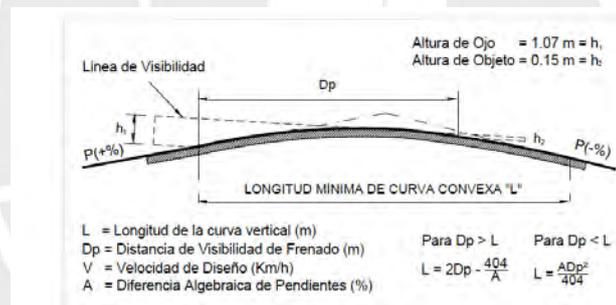
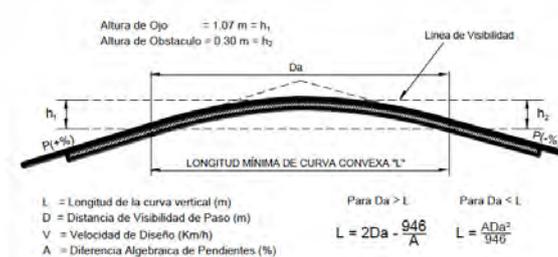


Figura 60. Longitud mínima de curva convexa con D_p

Nota. Tomado de MTC, 2018

- Curvas cóncavas



$$L = \frac{AV^2}{395}$$

Figura 61. Longitud mínima de curva convexa con D_a

Nota. Tomado de MTC, 2018

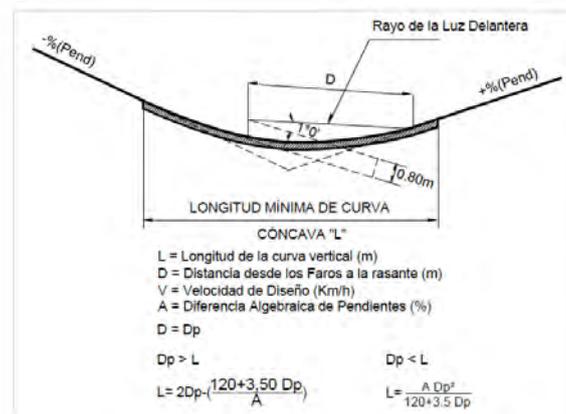


Figura 62. Longitud mínima de curva cóncava con Dp

Nota. Tomado de MTC, 2018

Tabla 43

Cálculo de Longitud mínima de curvas verticales

Datos			Dp Análisis DE IDA			Dp análisis de RETORNO			Dp T
V (km/h)	Pendiente 1	Pendiente 2	Dp Pendiente e 1	Dp Pendiente e2	Dp Tomada	Dp Pendiente e 1	Dp Pendiente e2	Dp Tomada	Dp
30	1.55%	7.68%	30	29	30	31	33	33	33
30	7.68%	5.29%	29	29	29	33	32	33	33
30	5.29%	1.89%	29	30	30	32	31	32	32
30	1.89%	7.97%	30	29	30	31	33	33	33
30	7.97%	5.64%	29	29	29	33	32	33	33

Datos				
Nº	Pendiente1	Pendiente 2	A	TIPO DE CURVA
1	1.55	7.68	6.13	Cóncava
2	7.68	5.29	2.39	Convexa
3	5.29	1.89	3.4	Convexa
4	1.89	7.97	6.08	Cóncava
5	7.97	5.64	2.33	Convexa

Dp T: Distancia de parada tomada

Lmin curva vertical según Dp							Lmin curva vertical según Da					
Convexa		Cóncava		Lmin	Lmin	Lmin	Convexa		Lmin	Lmin	Lmin	Lmin
Dp>L	Dp<L	Dp>L	Dp<L				R	VD				
-	-	27.58	28.35	28.35	29.00	30.00	-	-	0.00	0.00	30.00	30.00
-	6.44	-	-	6.44	7.00	30.00	-175.82	30.57	30.57	31.00	30.00	31.00
103.04												
-54.82	8.62	-	-	8.62	9.00	30.00	-58.24	43.49	43.49	44.00	30.00	44.00
-	-	27.27	28.12	28.12	29.00	30.00	-	-	0.00	0.00	30.00	30.00
-	6.28	-	-	6.28	7.00	30.00	-186.01	29.80	29.80	30.00	30.00	30.00
107.39												

Nota. Elaboración propia

Al realizar el diseño del alineamiento vertical se observó que es recomendable una mayor longitud que las mínimas encontradas, por lo tanto, se colocaron longitudes de 50m en todos los casos.

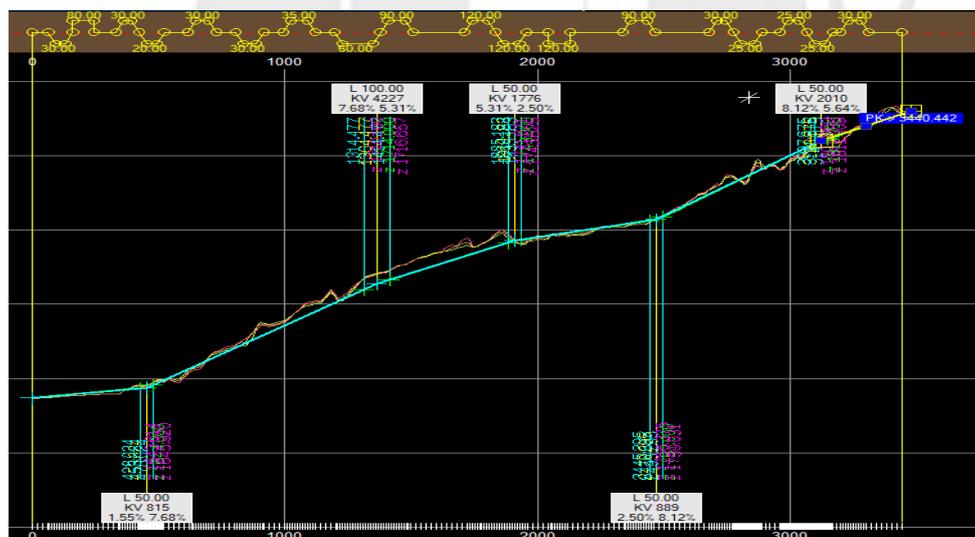


Figura 63. Resumen de alineamiento vertical

Nota. Elaboración propia

4.3.4 Secciones transversales

4.3.4.1 Ancho mínimo de la calzada

Con el propósito de determinar la dimensión mínima de la calzada, se hizo uso del cuadro que se indica a continuación:

Tabla 44*Ancho mínimo de calzada*

Clasificación	Autopista								Carretera				Carretera				Carretera			
	Tráfico vehiculos/día								Tráfico vehiculos/día				Tráfico vehiculos/día				Tráfico vehiculos/día			
	Primera Clase				Segunda Clase				Primera Clase				Segunda Clase				Tercera Clase			
Orografía	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Velocidad de diseño																	3,00	6,00		
30km/h																				
40 km/h																	6,60	6,60		
50 km/h																	6,60	6,60		
60 km/h																	6,60	6,60		
70 km/h																	6,60	6,60		
80 km/h																	6,60	6,60		
90 km/h																	6,60	6,60		
100 km/h																	6,60	6,60		
110 km/h																	6,60	6,60		
120 km/h																	6,60	6,60		
130 km/h																	6,60	6,60		

Notas:

a) Orografía: Plano (1), Ondulado (2), Accidentado (3), y Escarpado (4)

b) En carreteras de Tercera Clase, excepcionalmente podrán utilizarse calzadas de hasta 500 m, con el correspondiente sustento técnico y económico

Nota. Tomado de MTC, 2018

Con ayuda de la Tabla se obtuvo la dimensión mínima de calzada de 6m.

4.3.4.2 Bombeo

Para encontrar la pendiente de bombeo es necesario conocer la precipitación media, la cual constó de 2059 mm al año. Esta se obtuvo a partir de la Tabla 43.

Tabla 45*Tabla climática Limabamba***TABLA CLIMÁTICA // DATOS HISTÓRICOS DEL TIEMPO LIMABAMBA**

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Temperatura media (°C)	10,5	10,4	10,2	10,6	10,7	14,9	14,5	15	10,0	10,1	10,7	10,0
Temperatura mín. (°C)	13,5	13,6	13,3	12,7	12,4	11,2	10,6	10,5	11,3	12,3	13,3	13,5
Temperatura máx. (°C)	20,6	20,6	20,6	20,3	20	19,3	19,1	19,9	20,6	21,1	21,5	21
Precipitación (mm)	255	259	200	178	119	78	65	65	108	201	229	243
Humedad(%)	87%	89%	88%	87%	80%	84%	82%	79%	80%	84%	84%	87%
Días lluviosos (días)	21	19	21	19	16	13	12	12	19	20	18	20
Horas de sol (horas)	6,2	5,9	8,0	6,1	6,1	6,4	8,5	7,2	7,2	6,9	7,0	6,7

Nota. Tomado de *Clima limabamba*, por CLIMATE-DATA, s.f., <https://es.climate-data.org/america-del-sur/peru/amazonas/limabamba-438668/>

La ilustración presentada enseguida posibilita la identificación de la inclinación requerida para el drenaje adecuado.

Tabla 46*Valores del bombeo de la calzada*

Tipo de Superficie	Bombeo (%)	
	Precipitación <500 mm/año	Precipitación >500 mm/año
Pavimento asfáltico y/o concreto Portland	2,0	2,5
Tratamiento superficial	2,5	2,5-3,0
Afirmado	3,0-3,5	3,0-4,0

Nota. Tomado de MTC, 2018

A partir de la siguiente Tabala se obtiene una pendiente de bombeo de 2.5 % tomando como pavimento asfáltico.

4.3.4.3 Ancho de bermas

La dimensión de la berma de la vía se puede obtener a través de la siguiente Tabla y con base en los parámetros ya encontrados, como tipo de vía y orografía.

Tabla 47

Ancho de berma

Clasificación	Autopista								Carretera				Carretera				Carretera						
	> 6.000				6.000 - 4001				4.000-2.001				2.000-400				< 400						
	Primera clase				Segunda clase				Primera clase				Segunda clase				Tercera Clase						
Tipo de orografía	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4			
Velocidad de diseño: 30 km/h																				0.50	0.50		
40 km/h																				1.20	1.20	0.90	0.50
50 km/h																				1.20	1.20	0.90	0.90
60 km/h																				3.00	3.00	2.60	2.60
70 km/h																				3.00	3.00	3.00	3.00
80 km/h																				3.00	3.00	3.00	3.00
90 km/h																				3.00	3.00	3.00	3.00
100 km/h																				3.00	3.00	3.00	3.00
110 km/h																				3.00	3.00	3.00	3.00
120 km/h																				3.00	3.00	3.00	3.00
130 km/h																				3.00	3.00	3.00	3.00

Notas:
 a) Orografía: Plano (1), Ondulado (2), Accidentado (3), y Escarpado (4)
 b) Los anchos indicados en la tabla son para la berma lateral derecha, para la berma lateral izquierda es de 1.50 m para Autopistas de Primera Clase y 1.20 m para Autopistas de Segunda Clase
 c) Para carreteras de Primera, Segunda y Tercera Clase, en casos excepcionales y con la debida justificación técnica, la Entidad Contratante podrá aprobar anchos de berma menores a los establecidos en la presente tabla, en tales casos, se preverá áreas de ensanche de la plataforma a cada lado de la carretera, destinados al estacionamiento de vehículos en caso de emergencia, de acuerdo a lo previsto en el *Reglamento de Carreteras*, debiendo reportar al órgano normativo del MTC.

Nota. Tomado de MTC, 2018

A partir de la tabla previa, se logró determinar una medida 0.5 metros para la dimensión lateral de la carretera destinada a la berma

4.3.4.4 Taludes

En la visita de campo se comprobó que el material predominante era grava y con la ayuda de la tabla que se muestra a continuación, es posible encontrar los taludes adecuados.

Tabla 48

Taludes de corte

Clasificación de materiales de corte	Roca fija	Roca suelta	Material		
			Grava	Limo arcilloso o arcilla	Arenas
Altura de corte <5 m	1:10	1:6-1:4	1:1-1:3	1:1	2:1
5-10 m	1:10	1:4-1:2	1:1	1:1	*
>10 m	1:8	1:2	*	*	*

(*) Requerimiento de banquetas y/o estudio de estabilidad.

Nota. Tomado de MTC, 2018

A partir de la Tabla anterior se halló que el talud de corte es 1:1

Tabla 49*Taludes de relleno*

Materiales	Talud (V:H)		
	Altura (m)		
	<5	5-10	>10
Gravas, limo arenoso y arcilla	1:1.5	1:1.75	1:2
Arena	1:2	1:2.25	1:2.5
Enrocado	1:1	1:1.25	1:1.5

Nota. Tomado de MTC, 2018

Mediante la Tabla anterior se encontró que el talud de relleno es 1:1.75

4.3.4.5 Sección de pavimento

Para el desarrollo de la presente tesis, dichas capas no son realizadas mediante el diseño de ingeniería, sino que son valores típicos tomados con fines de procesamiento de la carretera. A continuación, se muestra la sección del diseño del pavimento.

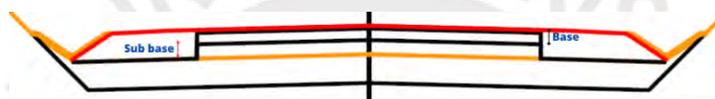


Figura 64. Sección de pavimento

Nota. Elaboración propia

La subbase se tomó de 25 cm, la base de 20 cm y la cubierta de pavimento asfáltico de 5 cm.

4.3.4.6 Movimiento de tierras

Las operaciones de excavación y terraplenado constan de 3 etapas marcadas, las cuales son el desmonte, relleno de suelos y el terraplén. El desmonte es el corte total y tiene un factor de 0.9, los rellenos tienen un factor de -1. A continuación, se presentan los datos tabulados y el diagrama curva masa.

Tabla 50*Corte y relleno alternativa 1*

MATERIAL	VOLUMEN	COEFICIENTE	VOLUMEN
DESMONTE	273181.38	0.9	245863.24
SUELO (RELLENO)	19937.57	-1	-19937.57
TERRAPLEN (RELLENO)	23889.91	-1	-23889.91
TOTAL			202035.76

Nota. Elaboración propia

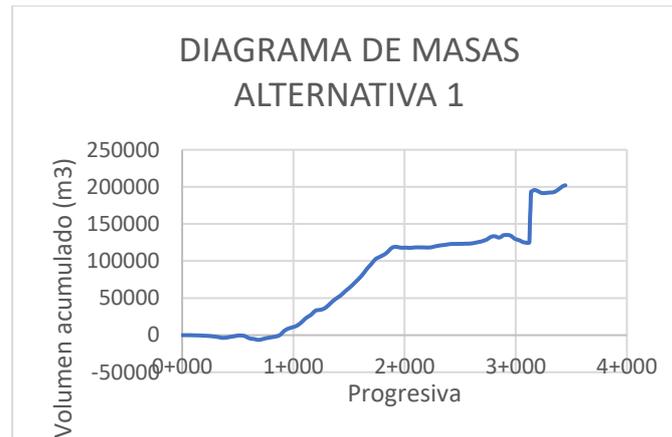


Figura 65. Diagrama curva masa de alternativa 1

Nota. Elaboración propia

4.3.5 Alternativa 2

4.3.5.1 Parámetros de diseño

Se conservan los parámetros de diseño de la alternativa 1

Velocidad de diseño: 20km/h para zonas de curva de volteo y 30km/h en zonas homogéneas.

Peralte máximo: 12%

Coefficiente de fricción transversal: 0.17

4.3.5.2 Radio mínimo

Para el cálculo se utiliza la siguiente expresión:

$$R_{\min} = \frac{v^2}{127 (P_{\max} + f_{\max.})}$$

Figura 66. Radio mínimo

Nota. Tomado de MTC, 2018

Donde:

P_{\max} : Peralte máximo

f_{\max} : Fricción transversal máxima en curvas

Tabla 51*Radio mínimos*

V (km/h)	P max (%)	f _{máx}	R min (m)	R redondeado (m)
20	12	0.17	10.9	15
30	12	0.17	24.4	25

Nota. Elaboración propia

Con la aplicación de la fórmula se encuentra un radio mínimo de 15 metros para la zona de curvas de volteo. Mientras que, para las zonas homogéneas se encuentra un radio mínimo de 25m.

4.3.6 Diseño de alineamiento horizontal

4.3.6.1 Trazo alternativa 2

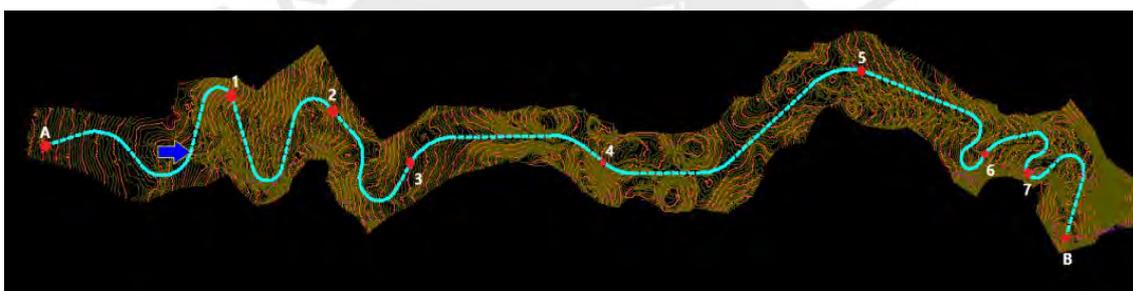


Figura 67. Resumen de alineamiento vertical

Nota. Elaboración propia

Las longitudes máximas y mínimas para los tramos rectos en “S” y “O” son los mismos que la alternativa 1, ya que los parámetros de diseño son los mismos. Las longitudes de tramos en tangente cumplen con la normativa y se muestran en el anexo F.

La alineación 28, es una recta de 37.65 metros; sin embargo, existen clotoides de 20 metros antes y después de la recta. Para calcular la longitud de la recta es 37.65 más la mitad de las dos clotoides, con ello se obtiene 57.65 metros y con ello cumple la norma. De la misma manera, se puede verificar que todos los tramos rectos cumplen con la normativa, tanto en la zona homogénea como en zona de curvas de volteo.

4.3.6.2 Curva circular

Para carreteras de tercera clase resulta necesario verificar que la longitud de la curva sea mayor a 3 veces la velocidad de diseño. De la misma manera que en la alternativa 1, se concluye que la curva debe tener una longitud mínima de 90m para permitir una velocidad de 30km/h, mientras que para una velocidad de 20km/h se requiere una longitud mínima de 60m. Por otro lado, el listado de las longitudes de tramos en curvos se muestra en el anexo G.

El alineamiento N°12, representado en un círculo, tiene una longitud de 41.27m. Sin embargo, existen dos clotoides de ingreso y salida del círculo de 20m de longitud cada una. La longitud efectiva del círculo cuando existen clotoides se calcula como la longitud del círculo más la mitad de la longitud de la clotoide. Por lo tanto, la longitud del círculo sería $41.27+2*20/2=61.27$, el cual es mayor a los 60m de longitud en curva de volteo. Al utilizar el mismo criterio se cumplen las demás curvas homogéneas y curvas de volteo.

4.3.6.3 Peraltes

De la misma manera que para la alternativa 1, para hallar los peraltes de cada una de las curvas horizontales se utilizó el ábaco de peralte en zona rural tipo 3 o 4. Mediante la ayuda de este ábaco y los radios de las curvas se puede encontrar los peraltes, los peraltes calculados se muestran en el anexo H.

4.3.6.4 Curva de inflexión

Del mismo modo que en la alternativa 1, dentro de las configuraciones recomendables se encuentran las curvas de inflexión o curvas “S”, las cuales deben cumplir con los requisitos de la normativa DG 2018. Teniendo en cuenta las condiciones de la curva de inflexión se realizaron las siguientes configuraciones en el diseño horizontal y los resultados se muestran en el anexo I.

A partir de la siguiente Tabla se verificó que todas las curvas S cumplen con la normativa.

Tabla 52*Curvas de inflexión*

Configuración	Velocidad (km/h)	RADIO (m)	J (m/s ³)	PERALTE	A _{min}	A1/A2	CUMPLE
1	A1	30	60	0.5	8.4	0.67	SÍ
	A2	20	40	0.5	-9		
2	A1	30	30	0.5	9	1.15	SÍ
	A2	20	20	0.5	-9		
3	A1	20	20	0.5	-9	1.45	SÍ
	A2	30	80	0.5	6.9		
4	A1	30	20	0.5	10	1.24	SÍ
	A2	20	20	0.5	-9		

Nota. Elaboración propia

4.3.7 Diseño de alineamiento vertical

Del mismo modo que la alternativa 1, se mantienen condiciones de diseño como pendiente máxima de 10%.

4.3.7.1 Distancia de velocidad de parada, adelantamiento, depeje por visibilidad y longitud de curvas

La distancia de velocidad de parada, adelantamiento, el depeje por visibilidad y la longitud de curvas se calculan utilizando las ecuaciones y condiciones mencionadas en el apartado de la alternativa 1. En las siguientes tablas se presentan los valores calculados, los cuales cumplen con la normativa del DG 2018.

Dp T: Distancia de parada tomada

Tabla 53*Cálculo de distancia de parada*

Datos Istram			Dp Análisis DE IDA			Dp Análisis de RETORNO			Dp T
V (km/h)	C1	C2	Dp C1	Dp C2	Dp T	Dp C1	Dp C2	Dp T	Dp
30	1.33%	8.32%	30	29	30	30	33	33	33
30	8.32%	5.46%	29	29	29	33	32	33	33
30	5.46%	1.52%	29	30	30	32	31	32	32
30	1.52%	8.00%	30	29	30	31	33	33	33
30	8.00%	6.84%	29	29	29	33	32	33	33

Datos					
Nº	C1	C2	A	TIPO DE CURVA	
1	1.33	8.32	6.99	Cóncava	
2	8.32	5.46	2.86	Convexa	
3	5.46	1.52	3.94	Convexa	
4	1.52	8	6.48	Cóncava	
5	8	6.84	1.16	Convexa	

Nota. Elaboración propia**Tabla 54***Cálculo de Longitud mínima de curva vertical*

Lmin curva vertical según Dp						Lmin curva vertical según Da					
Convexa		Cóncava		Lmin	Lmin R	Lmin VD	Convexa		Lmin	Lmin R	Lmin VD
Dp>L	Dp<L	Dp>L	Dp<L				Da>L	Da<L			
----	----	32.31	32.32	32.32	33.00	30.00	----	----	0.00	0.00	30.00
-75.26	7.71	----	----	7.71	8.00	30.00	110.77	36.58	36.58	37.00	30.00
-38.54	9.99	----	----	9.99	10.00	30.00	-20.10	50.40	50.40	51.00	55.00
----	----	29.66	29.96	29.96	30.00	30.00	----	----	0.00	0.00	30.00
282.28	3.13	----	----	3.13	4.00	30.00	595.52	14.84	14.84	15.00	30.00

Nota. Elaboración propia

Al realizar el diseño del alineamiento vertical se evidenció que es recomendable una mayor longitud que las mínimas encontradas, por lo que se colocó longitudes de 50 y 55 m.



Figura 68. Resumen de alineamiento vertical alternativa 1

Nota. Elaboración propia

4.3.8 Secciones transversales

Con el mismo enfoque que la alternativa 1, los valores de ancho mínimo de calzada, bombeo, ancho de berma, taludes y sección de pavimento cumple con la normativa de DG – 2018. Además, dichos valores son los mismos que de la alternativa 1.

4.3.8.1 Movimiento de tierras

De la misma manera que en la alternativa 1, el movimiento de tierras consta de 3 etapas: desmonte, relleno de suelos y terraplén. El desmonte es el corte total y tiene un factor de 0.9, los rellenos tienen un factor de -1. A continuación, se presentan los datos tabulados y el diagrama curva masa.

Tabla 55

Corte y relleno alternativa 2

MATERIAL	VOLUMEN	COEFICIENTE	VOLUMEN
DESMONTE	166825.12	0.9	150142.608
SUELO (RELLENO)	19057.98	-1	-19057.98
TERRAPLEN (RELLENO)	40179.23	-1	-40179.23
TOTAL			90905.398

Nota. Elaboración propia

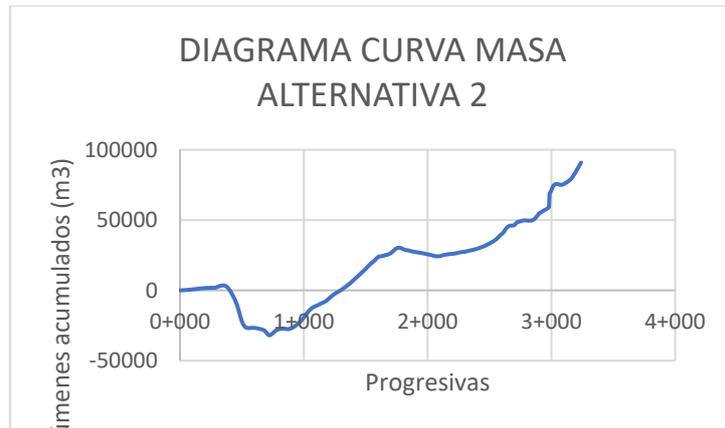


Figura 69. Diagrama curva masa de alternativa 2

Nota. Elaboración propia

4.3.9 Alternativa 3

Se conservan algunos parámetros de diseño de la alternativa 2

Velocidad de diseño: 30km/h

Peralte máximo: 12%

Coefficiente de fricción transversal: 0.17

4.3.9.1 Radio mínimo

Para determinar el valor del radio mínimo, se puede hacer uso de la Tabla que se indica a continuación:

Tabla 56

Radios mínimos y peraltes máximos para diseño de carreteras

Ubicación de la vía	Velocidad de diseño	f máx. (%)	f máx.	Radio calculado (m)	Radio redondeado (m)
Área urbana	30	4.00	0.17	33.7	35
	40	4.00	0.17	60.0	60
	50	4.00	0.16	95.4	100
	60	4.00	0.15	149.2	150
	70	4.00	0.14	214.3	215
	80	4.00	0.14	280.0	280
	90	4.00	0.13	375.2	375
	100	4.00	0.12	492.10	495
	110	4.00	0.11	635.2	635
	120	4.00	0.09	872.2	875
130	4.00	0.08	1108.9	1110	
Área rural (con peligro de hielo)	30	6.00	0.17	30.8	30
	40	6.00	0.17	54.8	55
	50	6.00	0.16	89.5	90
	60	6.00	0.15	135.0	135
	70	6.00	0.14	192.9	195
	80	6.00	0.14	252.9	255
	90	6.00	0.13	335.9	335
	100	6.00	0.12	437.4	440
	110	6.00	0.11	560.4	560
	120	6.00	0.09	755.9	755
130	6.00	0.08	950.5	950	
Área rural (plano u ondulada)	30	8.00	0.17	28.3	30
	40	8.00	0.17	50.4	50
	50	8.00	0.16	82.0	85
	60	8.00	0.15	123.2	125
	70	8.00	0.14	175.4	175
	80	8.00	0.14	229.1	230
	90	8.00	0.13	303.7	305
	100	8.00	0.12	395.7	395
	110	8.00	0.11	501.5	500
	120	8.00	0.09	667.0	670
130	8.00	0.08	831.7	835	
Área rural (accidentada o escarpada)	30	12.00	0.17	24.4	25
	40	12.00	0.17	43.4	45
	50	12.00	0.16	70.3	70
	60	12.00	0.15	105.0	105
	70	12.00	0.14	148.4	150
	80	12.00	0.14	193.0	195
	90	12.00	0.13	255.1	255
	100	12.00	0.12	328.1	330
	110	12.00	0.11	414.2	415
	120	12.00	0.09	539.9	540
130	12.00	0.08	665.4	665	

Nota. Tomado de MTC, 2018

A partir de la Tabla se encontró un radio mínimo de 25 m.

4.3.9.2 Diseño de alineamiento horizontal

4.3.9.3 Trazo alternativa 3

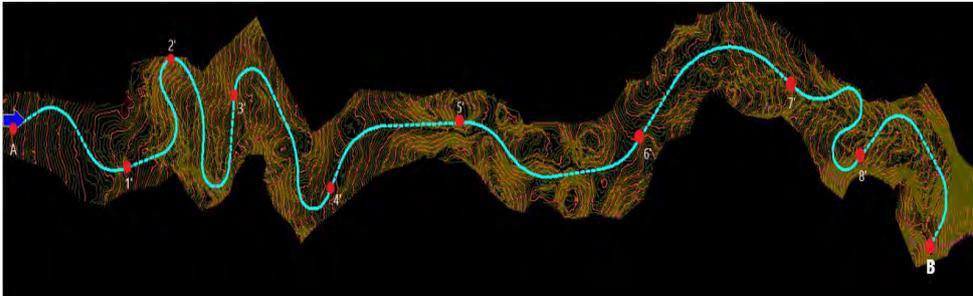


Figura 70. Trazo de alternativa 3

Nota. Elaboración propia

4.3.9.4 Tramos en tangente

Estas longitudes se pueden hallar mediante la siguiente Tabla:

Tabla 57

Longitudes de tramos en tangente

V (km/h)	L min.s (m)	L min.o (m)	L máx (m)
30	42	84	500
40	56	111	668
50	69	139	835
60	83	167	1002
70	97	194	1169
80	111	222	1336
90	125	250	1503
100	139	278	1670
110	153	306	1837
120	167	333	2004
130	180	362	2171

Dónde:

- L_{min.s}: Longitud mínima (m) para trazados en "S" (alineamiento recto entre alineamientos con radios de curvatura de sentido contrario).
- L_{min.o}: Longitud mínima (m) para el resto de casos (alineamiento recto entre alineamientos con radios de curvatura del mismo sentido).
- L_{máx}: Longitud máxima deseable (m).
- V: Velocidad de diseño (km/h)

Nota. Tomado de MTC, 2018

De la tabla anterior se encontró lo siguiente:

L min "S": 42m

L min "O": 84m

L max: 500m

En el diseño se tienen que las longitudes de tramos rectos cumplen con la normativa DG – 2018 y se muestran en el anexo J.

En la alineación 5, la recta tiene una longitud de 78.58m. Sin embargo, el siguiente elemento es una clotoide y la longitud de dicho elemento es 30m. Por otro lado, la mitad de la longitud de la clotoide se considera el tramo recto, por lo que al realizar un cálculo sencillo de longitud de la recta más la mitad de la longitud de la clotoide se obtiene un 93.58, y este valor es mayor que 84m. De este modo, sí cumple con los valores establecidos por la norma. De la misma manera, se procede con las demás alineaciones y se verifica que todas cumplen con la normativa.

4.3.9.5 Curva circular

Para carreteras de tercera clase, se debe verificar que la longitud de la curva sea mayor a 3 veces la velocidad de diseño, por lo tanto, la curva debe tener una longitud mínima de 90 metros. Las longitudes de las alineaciones de tramos curvos cumplen con la normativa DG – 2018 y se muestra en el anexo K.

El alineamiento N°6 muestra una longitud de 60.91m. No obstante, existe una clotoide antes y después de la curva, ambas de 30m de longitud. Asimismo, se considera la longitud final de la curva $60.91+30/2+30/2=90.91$ m. De la misma manera, se procede con todas las alineaciones y se verifica que todas cumplen con la normativa.

4.3.9.6 Peraltes

Con la ayuda del ábaco utilizado para calcular el peralte en zona rural (tipo 3 o 4) en la alternativa 1 y los radios de las curvas se hallan los peraltes. Los resultados se muestran en el anexo L.

4.3.9.7 Transición de peralte

La transición de peraltes se lleva a cabo en las curvas. Para vías de carretera catalogadas como de tercera categoría, se empleó la tabla que se presenta a continuación.

Tabla 58

Valores de peralte máximo

Pueblo o ciudad	Peralte Máximo (p)		Ver Figura
	Absoluto	Normal	
Atravesamiento de zonas urbanas	6.0%	4.0%	302.02
Zona rural (T. Plano, Ondulado o Accidentado)	8.0%	6.0%	302.03
Zona rural (T. Accidentado o Escarpado)	12.0	8.0%	302.04
Zona rural con peligro de hielo	8.0	6.0%	302.05

Nota. Tomado de MTC, 2018

A través de la Tabla anterior y con los datos del terreno que es ondulado, se obtiene un peralte máximo de 12 %. También es posible calcular la longitud mínima de transición de peralte y la longitud mínima de transición de bombeo a través de fórmulas. Sin embargo, para carreteras de tercera clase se utilizó la siguiente Tabla:

Tabla 59

Valores mínimos de transición de peralte y bombeo

Velocidad de diseño (Km/h)	Valor del peralte						Longitud mínima de transición de bombeo (m)**
	2%	4%	6%	8%	10 %	12 %	
	Longitud mínima de transición de peralte (m)*						
20	9	18	27	36	45	54	9
30	10	19	29	38	48	58	10
40	10	21	31	41	51	62	10
50	11	22	33	44	55	66	11
60	12	24	36	48	60	72	12
70	13	26	39	52	65	79	13
80	14	29	43	58	72	86	14
90	15	31	46	61	77	92	15

* Longitud de transición basada en la rotación de un carril

** Longitud basada en 2% de bombeo

Nota. Tomado de MTC, 2018

Utilizando la información proporcionada en la tabla previamente mencionada, se determinó que las longitudes mínimas de transición de peralte y bombeo son de 58 y 10 metros, respectivamente.

En la planificación geométrica de carreteras, se establece una longitud de radio en función de la velocidad de diseño, con el propósito de evitar la necesidad de curvas de transición. Se presenta a continuación una tabla que contiene esta información.

Tabla 60

Radios que permiten prescindir de curvas de transición en carreteras de tercera clase

Velocidad de diseño Km/h	Radio M
20	24
30	55
40	95
50	150
60	210
70	290
80	380
90	480

Nota. Tomado de MTC, 2018

A partir de la Tabla anterior se evidenció que la longitud del radio permite prescindir de curvas de transición es 55 m.

4.3.9.8 Curvas de transición

Para encontrar las longitudes de curvas de transición (conocidas también como clotoides), se debe cumplir con 3 criterios y 3 consideraciones adicionales, los cuales fueron

mencionados en la alternativa 1. En la alternativa 3 se muestra la siguiente tabla que contiene la longitud mínima de transición.

Tabla 61

Longitud de transición

Velocidad (km/h)	RADIO (m)	J (m/s ³)	PERALTE max	A _{min}	Long. Calculado	Longitud Redondeado
30	25	0.5	12	25.8	26.7	30

Nota. Elaboración propia

Luego de evaluar los 3 criterios se tuvieron en cuenta las siguientes consideraciones:

1. Elegimos la mayor de las longitudes de los 3 criterios.
2. La longitud mínima de transición es de 30m.
3. La longitud máxima de curva de transición no será superior a 1.5L min.

4.3.9.9 *Diseño de alineamiento vertical*

4.3.9.10 *Pendiente máxima, distancia de parada, distancia de visibilidad de adelantamiento, despeje por visibilidad y longitud de curvas*

La distancia de velocidad de parada, adelantamiento, el despeje por visibilidad y la longitud de curvas se calculan utilizando las ecuaciones y condiciones mencionadas en el apartado de la alternativa 1. En las siguientes tablas se presentan los valores calculados, los cuales cumplen con la normativa del DG 2018.

Tabla 62

Longitud mínima de curva vertical

V (km/h)	Datos		Dp Análisis DE IDA			Dp Análisis de RETORNO			Dp T
	Pendient e1	Pendient e2	Dp Pendient e1	Dp Pendient e2	Dp Tomad o	Dp Pendient e1	Dp Pendient e2	Dp Tomad o	Dp
30	2.20%	7.03%	30	29	30	31	32	32	32
30	7.03%	5.68%	29	29	29	32	32	32	32
30	5.68%	1.82%	29	30	30	32	31	32	32
30	1.82%	7.93%	30	29	30	31	33	33	33
30	7.93%	6.29%	29	29	29	33	32	33	33

Datos			
N°	Pendiente1	Pendiente2	A
1	2.20	7.03	4.8237
2	7.03	5.68	1.347
3	5.68	1.82	3.86
4	1.82	7.93	6.108
5	7.93	6.29	1.6361

Lmin curva vertical según Dp					Lmin curva vertical según Da							
Convexa		Cóncava		Lmin	Lmin R	Lmin VD	Convexa		Lmin	Lmin R	Lmin VD	Lmin TOMADO
Dp>L	Dp<L	Dp>L	Dp<L				Da>L	Da<L				
-	-	15.90	21.29	21.29	22.00	30.00	-	-	0.00	0.00	30.00	30.00
-	3.41	-	-	3.41	4.00	30.00	-	17.23	17.23	18.00	30.00	30.00
235.93							482.30					
-40.66	9.78	-	-	9.78	10.00	30.00	-25.08	49.37	49.37	50.00	30.00	50.00
-	-	27.44	28.24	28.24	29.00	30.00	-	-	0.00	0.00	30.00	30.00
-	4.41	-	-	4.41	5.00	30.00	-	20.93	20.93	21.00	30.00	30.00
180.93							358.20					

Nota. Elaboración Propia

Al realizar el diseño del alineamiento vertical se vio que es recomendable una mayor longitud que las mínimas encontradas, por lo que se colocó longitudes de 50 metros en todos los casos.

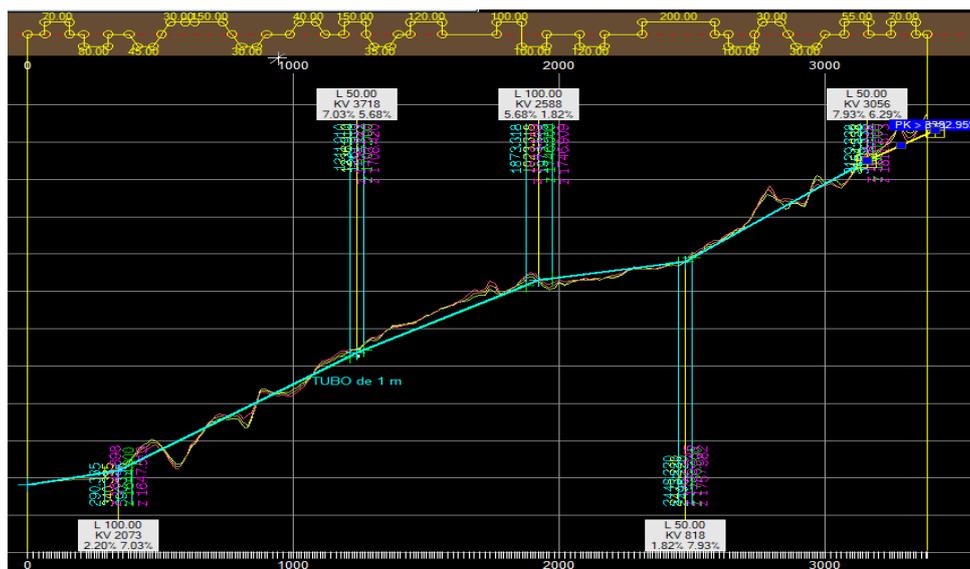


Figura 71. Resumen de alineamiento vertical alternativa 2

Nota. Elaboración propia

4.3.9.11 Secciones transversales

Con el mismo enfoque que la alternativa 1 y 2, los valores de ancho mínimo de calzada, bombeo, ancho de berma, taludes y sección de pavimento cumple con la normativa de DG – 2018. Además, dichos valores son los mismos que de la alternativa 1 y 2.

4.3.9.12 Movimiento de tierras

Las operaciones de excavación y terraplenado constan de 3 etapas marcadas. Estas consisten en el desmonte, el relleno de suelos y el terraplén. En cuanto al desmonte, este es el corte total y tiene un factor de 0.9; los rellenos tienen un factor de -1. A continuación, se presentan los datos tabulados y el diagrama curva masa.

Tabla 63

Corte y relleno alternativa 3

MATERIAL	VOLUMEN	COEFICIENTE	VOLUMEN
DESMONTE	166747.98	0.9	150073.18
SUELO (RELLENO)	20017.55	-1	-20017.55
TERRAPLEN (RELLENO)	74793.87	-1	-74793.87
TOTAL			55261.76

Nota. Elaboración Propia



Figura 72. Diagrama curva masa de alternativa 3

Nota. Elaboración Propia

Capítulo 5. Análisis Comparativo de un Enfoque Tradicional VS. BIM

5.1 Consulta a Expertos Especializados

Los criterios de evaluación se determinaron con base en las consultas a ingenieros y topógrafos que cuentan con más de 10 años de experiencia en el diseño y ejecución de carreteras. Los ingenieros expertos entrevistados fueron Aureliano Orellana, Edwin Urrunaga y Elvis Silupu, quienes se encuentran como ingenieros residentes encargados de los tres tramos del proyecto Eje vial 3 en la región Amazonas.

Durante las entrevistas con los expertos se determinó que los días trabajados comprenden 8 horas de trabajo y que, con base en ello, se determinarán las conclusiones de la tesis. El formato con el cual se realizó la consulta a los expertos es el siguiente.

FORMATO DE EVALUACIÓN DE EXPERTOS		
Título de tesis: Propuesta de aplicación de la fotogrametría con drones y metodología BIM en el diseño geométrico de una carretera en el distrito de Limabamba para reducir el tiempo de diseño.		
ING. X		
Criterios de evaluación		
1	LONGITUD DE LA CARRETERA	3KM
2	ÁREA TOTAL DEL LEVANTAMIENTO	28 ha
3	TIPO DE TERRENO	SINUOSO
4	ACCESIBILIDAD DEL TERRENO	TERRENO SIN BOSQUES
5	CUADRILLA DE TOPOGRAFÍA	5
6	EQUIPO A UTILIZAR	ESTACIÓN TOTAL
7	CLIMA DEL LUGAR	TEMPLADO
8	TIEMPO DEL LUGAR	SOLEADO
CONCLUSIONES:		
- EL LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO SE REALIZA EN X DIAS		
- LA ENTREGA DE PLANOS TOPOGRÁFICOS SE PROYECTA PARA X DIAS		
- EL DISEÑO GEOMÉTRICO DE LA CARRETERA SE REALIZA EN X DIAS CON METODOLOGÍA TRADICIONAL		
- EL DISEÑO GEOMÉTRICO DE LA CARRETERA SE REALIZA EN X DÍAS CON METODOLOGÍA BIM		

Figura 73. Formato de evaluación de expertos

Nota. Elaboración Propia

En el anexo M se incluyen los formatos debidamente cumplimentados por cada uno de los expertos. Con la información de los formatos se realizan los análisis correspondientes.

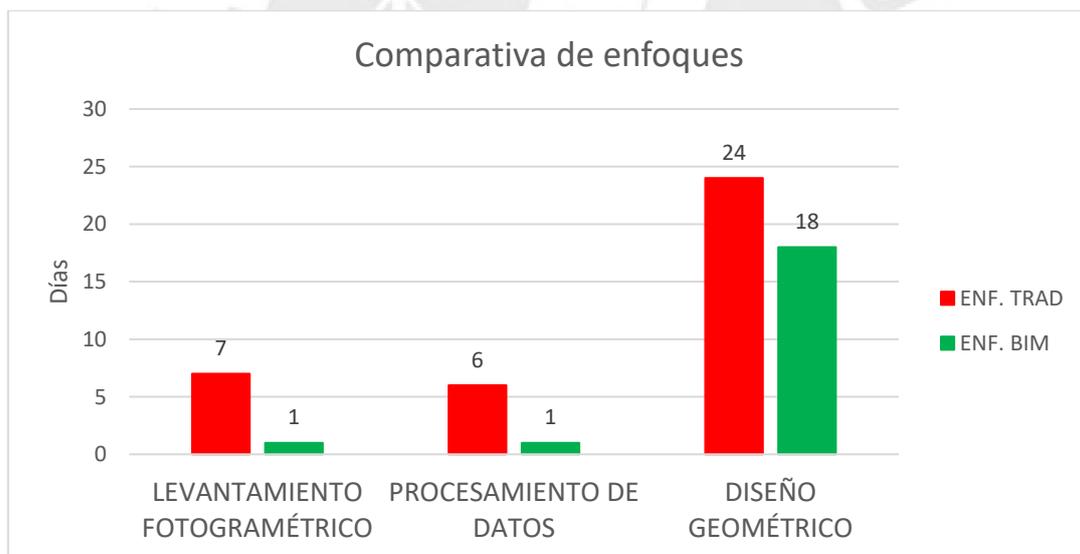
5.2 Análisis de resultados

Para realizar el análisis comparativo entre la metodología BIM y tradicional se tomaron los datos reales del levantamiento y procesamiento de datos hasta la entrega de planos topográficos de la fotogrametría. Por otro lado, para la metodología tradicional, los datos son obtenidos mediante el juicio de expertos. A raíz de esto, se obtienen los siguientes resultados:

- Experto Aureliano Orellana

Tabla 64*Resultados del Ingeniero Aureliano Orellana*

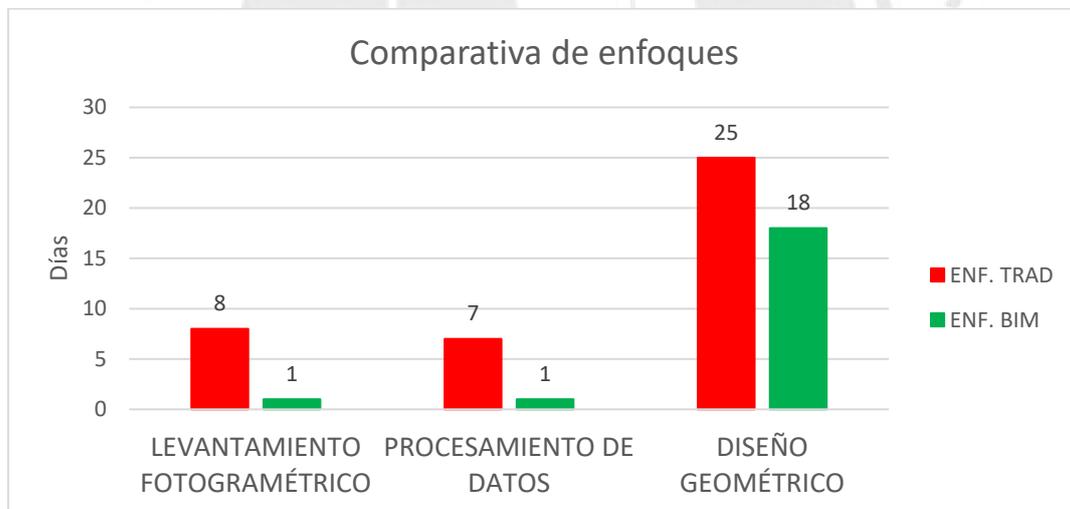
ING. AURELIANO ORELLANA					
METODOLOGÍA TRADICIONAL			APLICACIÓN DE FOTOGRAMETRÍA Y METODOLOGÍA BIM		
FASE DE PROYECTO	TIEMPO (DÍAS)	TIEMPO ACUM	FASE DE PROYECTO	TIEMPO (DÍAS)	TIEMPO ACUM
LEVANTAMIENTO FOTOGRAMÉTRICO	7	7	LEVANTAMIENTO FOTOGRAMÉTRICO	1	1
PROCESAMIENTO DE DATOS	6	13	PROCESAMIENTO DE DATOS	1	2
DISEÑO GEOMÉTRICO	24	37	DISEÑO GEOMÉTRICO	18	20

Nota. Elaboración propia*Figura 74.* Comparativa de enfoques*Nota.* Elaboración propia

- Experto Edwin Urrunaga

Tabla 65*Resultados del Ingeniero Edwin Urrunaga*

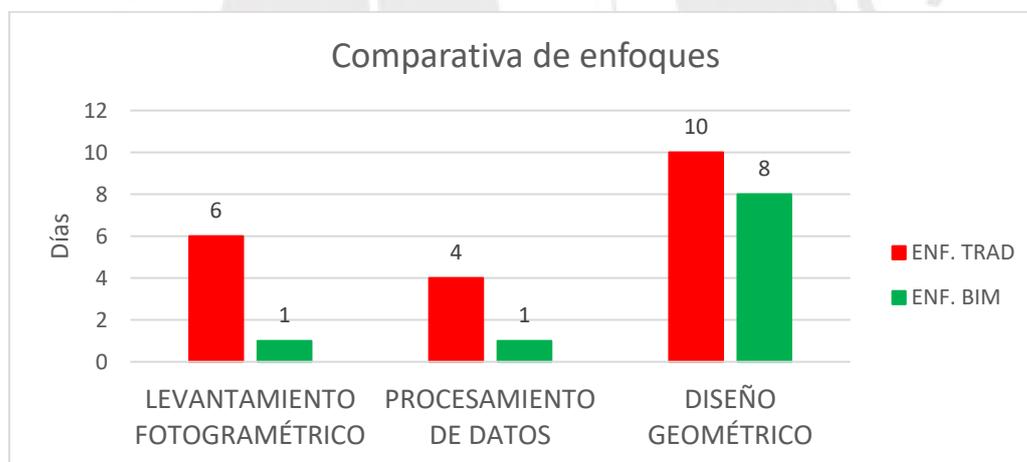
ING. EDWIN URRUNAGA					
METODOLOGÍA TRADICIONAL			APLICACIÓN DE FOTOGRAMETRÍA Y METODOLOGÍA BIM		
FASE DE PROYECTO	TIEMPO (DÍAS)	TIEMPO ACUM	FASE DE PROYECTO	TIEMPO (DÍAS)	TIEMPO ACUM
LEVANTAMIENTO FOTOGRAMÉTRICO	8	8	LEVANTAMIENTO FOTOGRAMÉTRICO	1	1
PROCESAMIENTO DE DATOS	7	15	PROCESAMIENTO DE DATOS	1	2
DISEÑO GEOMÉTRICO	25	40	DISEÑO GEOMÉTRICO	18	20

Nota. Elaboración Propia*Figura 75. Comparativa de enfoques**Nota. Elaboración propia*

- Experto Elvis Silupu

Tabla 66*Resultados del Ingeniero Elvis Silupu*

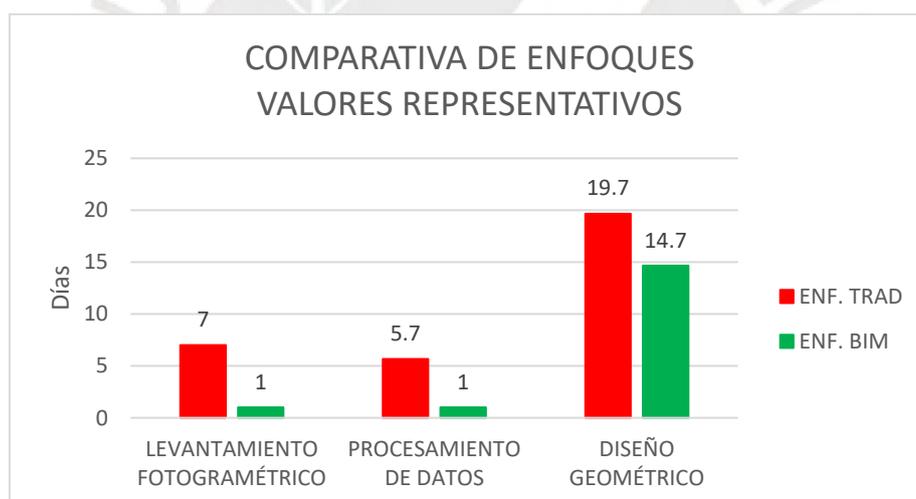
ING. ELVIS SILUPU					
METODOLOGÍA TRADICIONAL			APLICACIÓN DE FOTOGRAMETRÍA Y METODOLOGÍA BIM		
FASE DE PROYECTO	TIEMPO (DÍAS)	TIEMPO ACUM	FASE DE PROYECTO	TIEMPO (DÍAS)	TIEMPO ACUM
LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO	6	6	LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO	1	1
ENTREGA DE PLANOS TOPOGRÁFICOS	4	10	ENTREGA DE PLANOS TOPOGRÁFICOS	1	2
DISEÑO GEOMÉTRICO	10	20	DISEÑO GEOMÉTRICO	8	10

Nota. Elaboración Propia*Figura 76.* Comparativa de enfoques*Nota.* Elaboración propia

Para realizar una comparativa más acertada se realizan los promedios de los tiempos de cada fase del proyecto, estos se denominaron valores representativos. En consecuencia, se obtienen los siguientes resultados:

Tabla 67*Valores representativos*

VALORES REPRESENTATIVOS					
METODOLOGÍA TRADICIONAL			APLICACIÓN DE FOTOGRAMETRÍA Y METODOLOGÍA BIM		
FASE DE PROYECTO	TIEMPO (DÍAS)	TIEMPO ACUM	FASE DE PROYECTO	TIEMPO (DÍAS)	TIEMPO ACUM
LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO	7	7	LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO	1	1
ENTREGA DE PLANOS TOPOGRÁFICOS	5.7	12.7	ENTREGA DE PLANOS TOPOGRÁFICOS	1	2
DISEÑO GEOMÉTRICO	19.7	32.3	DISEÑO GEOMÉTRICO	14.7	16.7

Nota. Elaboración propia*Figura 77.* Comparativa de enfoques*Nota.* Elaboración propia

En el presente trabajo se desarrollaron tres etapas del proyecto: 1) levantamiento topográfico, 2) procesamiento de datos hasta obtener los planos topográficos y 3) La creación del diseño geométrico de la vía. Al utilizar la fotogrametría con drones para realizar el levantamiento topográfico se determinó que este tardó un día. Sin embargo, se estimó que, en caso de emplear el método convencional mediante el uso de una estación total, este proceso tardaría alrededor de siete días, según la evaluación de los expertos. A través del uso de un método de análisis de proporciones se determinó que al emplear la

fotogrametría con drones se necesita solo un 14.3 % del tiempo que se requiere a partir del uso del método convencional para realizar el levantamiento topográfico.

El procesamiento de la información recopilada mediante fotogrametría implica el uso del software Agisoft Metashape con el fin de procesar las fotografías y obtener planos topográficos y la ortofoto. En contraposición, si se optara por el método convencional para el procesamiento de datos, los expertos encargados llevarían a cabo el análisis de la información recolectada en Civil 3D y ArcGIS. En este sentido, se procesaron los datos obtenidos mediante fotogrametría en un solo día; mientras que, si se utiliza el método tradicional, este proceso habría tomado aproximadamente 5.7 días. De acuerdo con el análisis de proporciones realizado, se determinó que procesar la base de datos a través de la fotogrametría solo requiere el 17.6 % del tiempo necesario, en comparación con el método convencional.

La aplicación de la metodología BIM a un proyecto de carreteras está dado por el trabajo colaborativo entre las diferentes disciplinas de ingeniería: topografía, trazo y diseño vial, mecánica de suelos, hidrología, geología, etc. Para que todas las disciplinas puedan trabajar juntas y en tiempo real es necesario un entorno común de datos (ECD), donde se almacene la información actualizada. Actualmente, existen muchos ECD, de los cuales se puede mencionar a dos de manera clave como Autodesk 360 y Google Drive.

En ese sentido, al iniciar un proyecto de carreteras se puede marcar un hito principal al procesamiento de datos, el cual finaliza con entrega de planos topográficos y la ortofoto. De este modo, los planos topográficos y la ortofoto permiten comenzar el trazo y el diseño vial. Asimismo, con la ayuda de la ortofoto se podría realizar una primera clasificación de materiales para identificar la existencia de material suelto o roca en el trazo. De igual modo, se verifica si los suelos necesitan mejoramiento.

Una de las grandes ventajas del levantamiento fotogramétrico consiste en que se puede programar para obtener más información de lo necesario, y si en determinado momento es necesario el cambio del trazo, se tendrá dicha información de manera rápida. A partir de la información actualizada, los diferentes profesionales pueden compatibilizar sus diseños y realizar el proyecto con la mínima cantidad de errores y en menor tiempo. En la tesis desarrollada el trazo de alineamiento horizontal se realizó con ayuda de la ortofoto. Por otro lado, el trazado planimétrico y altimétrico de una vía de comunicación terrestre a partir de una metodología tradicional implica un trabajo individual, esto quiere decir que primero se realiza la topografía, luego los planos se pasan al equipo de trazo y diseño; posteriormente a suelos, hidrología, etc. Esto supone un trabajo lineal que cuando acaba

una disciplina se pasa a otra. Ahora bien, el problema está en esa linealidad de trabajo que la hace menos eficiente, puesto que, si la topografía está aprobada, por ejemplo, se inicia el trazo y diseño vial de la carretera; asimismo, se aprueba el diseño geométrico y se envía la información al área de suelos; y cuando el área de suelos inicia sus ensayos encuentra que necesita mejoramientos superiores a 1.5 m. Por lo tanto, se debe cambiar de ruta; sin embargo, para realizar el cambio de ruta se necesitan los planos topográficos y será necesario enviar nuevamente el equipo de topografía a campo, al hacer que el diseño final se postergue.

El ejemplo mostrado ilustra uno de los muchos problemas que se podrían presentar por realizar un trabajo lineal, el cual genera demoras en los diseños finales. En la tesis desarrollada, la ortofoto ayudó a encontrar los causes naturales de aguas pluviales, donde se colocó una alcantarilla y de manera automática se obtienen los metrados de corte y relleno. Por otro lado, el diseño geométrico de la carretera al aplicar la metodología BIM se completó en 14.7 días. Si se hubiera utilizado el método tradicional, el diseño habría llevado 19.7 días. Por lo tanto, mediante la técnica de análisis de proporciones es posible concluir que elaborar el diseño geométrico de la carretera utilizando la metodología BIM equivale a un 74.6 % del tiempo que tomaría realizar con una metodología tradicional.

En ese orden de ideas, la elaboración completa del proyecto de levantamiento fotogramétrico, el procesamiento de datos y el diseño geométrico con la metodología BIM requiere de 16.7 días. Mientras que con la metodología tradicional el proceso tomaría 32.3 días. A partir del análisis de las proporciones, se puede deducir que el uso de la fotogrametría con drones y la metodología BIM conlleva a una disminución del 48,3 % del tiempo en comparación con la metodología tradicional.

Parte fundamental del desarrollo de un proyecto consiste en los costos. Por tal motivo, en el área de topografía se manejan ratios para la ejecución de levantamiento topográfico. El costo promedio de realizar el levantamiento de 1km de carretera con metodología tradicional es de S/1,000.00; mientras que con fotogrametría son S/1,500.00. Es importante destacar que, aunque la fotogrametría puede resultar más costosa, es mucho más rápida. Sin embargo, cada proyecto presenta condiciones técnicas y económicas únicas que deben ser evaluadas para determinar la mejor opción a utilizar. En este sentido, es fundamental analizar cuidadosamente las particularidades de cada proyecto antes de tomar una decisión.

5.3 Evaluación de rutas

En la tesis desarrollada se elaboró el diseño de tres alternativas con distintas características; por otro lado, para elegir la alternativa más adecuada se realiza la evaluación de rutas con el método Bruce y datos relevantes, como movimiento de tierras y costos. Según De La Cruz (s.f.):

El método de Bruce se utiliza para calcular la longitud resiliente, que es una medida comparativa entre la distancia real de una ruta y una distancia equivalente. Este método toma en consideración exclusivamente el mayor nivel de esfuerzo que experimentan los vehículos al transitar por pendientes pronunciadas, tanto en su ascenso como en su descenso, y el incremento del desgaste y el peligro asociados al uso de los frenos en estas situaciones. (p. 1)

Para realizar los cálculos pertinentes se presentan las siguientes fórmulas y tablas:

$$x_0 = x + k\Sigma y$$

Donde:

x_0 : Longitud resistente (m)
 x : Longitud total del trazado (m)
 Σy : Suma de desniveles ascendentes en el sentido de evaluación (m)
 k : Inverso del coeficiente de tracción

Tipo superficie	K
Tierra	21
Grava o asfalto	35
Concreto	44

Figura 78. Cálculo de longitud resiliente

Nota. Tomado de *Topografía capítulo 1: introducción*, por Campos de La Cruz, 2016, s/e.

Al realizar el alineamiento vertical se obtuvieron pendientes altas debido al tipo de terreno; para ello, en coordinación con los expertos, se recomendó una pendiente, dicha pendiente es 5.5 %. El método de bruce indica que el cálculo de la longitud resiliente debe realizarse en los dos sentidos: de ida y retorno. Por lo tanto, con la pendiente recomendada y la aplicación de la siguiente fórmula, se encuentran los valores de longitud resiliente para los dos sentidos:

$$x_0 = x + k[\Sigma y + \Sigma l_i(p_i - p_r)]$$

Donde:

l_i : Longitud tramo descendente con $p_i > p_r$ (m)
 p_i : pendiente del tramo analizado (en decimal)
 p_r : pendiente recomendada o especificada para el proyecto (en decimal)

Figura 79. Cálculo de longitud resiliente

Nota. Tomado de *Topografía capítulo 1: introducción*, por Campos de La Cruz, 2016, s/e.

El resultado de la aplicación del método de bruce para las tres propuestas se presentan a continuación:

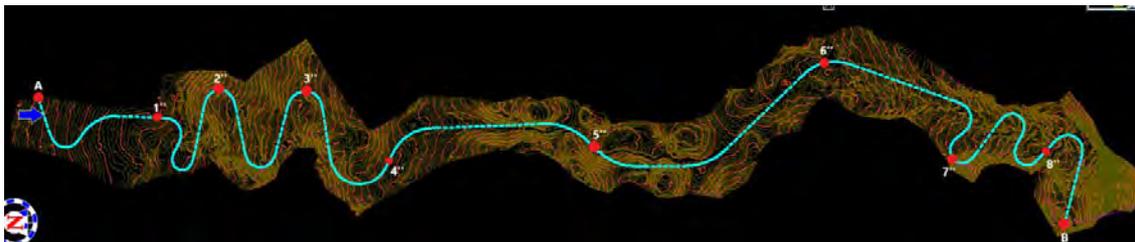


Figura 80. Alineación horizontal de la propuesta 1

Nota. Elaboración propia

Tabla 68

Cálculo de longitud resiliente de la propuesta 1

PROPUESTA		PUNTOS	PROGRESIVA	COTA
		A	0	1637
		1"	329	1642
		2"	673	1661
		3"	1056	1690
PROPUESTA		4"	1380	1715
1		5"	1840	1739
		6"	2400	1755
		7"	2832	1786
		8"	3170	1813
		B	3440	1828

PROPUESTA 1 IDA					PROPUESTA 1 RETORNO						
LONGIT					LONGIT						
UD					UD						
TRA	DESIV	LONGIT	PENDIEN	RESILEN	TRA	DESIV	LONGIT	PENDIEN	CONDICI	RESILEN	
MO	EL	UD	TE	TE	MO	EL	UD	TE	ÓN	TE	
A-1"	5	329	1.52 %		1-A	5	329	1.52 %	0.00 %		
1"-2"	19	344	5.52 %		2-1	19	344	5.52 %	0.02 %		
2"-3"	29	383	7.57 %		3-2	29	383	7.57 %	2.07 %		
3"-4"	25	324	7.72%		4-3	25	324	7.72 %	2.22 %		
4"-5"	24	460	5.22 %	10125.000	5-4	24	460	5.22 %	0.00 %	11209.825	
5"-6"	16	560	2.86 %		6-5	16	560	2.86 %	0.00 %		
6"-7"	31	432	7.18 %		7-6	31	432	7.18 %	1.68 %		
7"-8"	27	338	7.99 %		8-7	27	338	7.99 %	2.49 %		
8"-B	15	270	5.56 %		B-8	15	270	5.56 %	0.06 %		

Nota. Elaboración propia



Figura 81. Alineación horizontal de la propuesta 2

Nota. Elaboración propia

Tabla 69

Cálculo de longitud resiliente de la propuesta 2

PROPUESTA	PUNTOS	PROGRESIVA	COTA
PROPUESTA 2	A	0	1637
	1	535	1661
	2	950	1695
	3	1275	1719
	4	1695	1742
	5	2340	1758
	6	2750	1791
	7	2980	1807
	B	3268	1827

PROPUESTA 2 IDA					PROPUESTA 2 RETORNO					
TRA	DESNI	LONGI	PENDI	RESILE	TRA	DESNI	LONGI	PENDI	CONDI	RESILE
MO	VEL	TUD	ENTE	NTE	MO	VEL	TUD	ENTE	CIÓN	NTE
A-1	24	535	4.49 %	9918	1-A	24	535	4.49 %	0.00 %	11152.1
1-2	34	415	8.19 %		2-1	34	415	8.19 %	2.69 %	
2-3	24	325	7.38 %		3-2	24	325	7.38 %	1.88 %	
3-4	23	420	5.48 %		4-3	23	420	5.48 %	0.00 %	
4-5	16	645	2.48 %		5-4	16	645	2.48 %	0.00 %	
5-6	33	410	8.05 %		6-5	33	410	8.05 %	2.55 %	
6-7	16	230	6.96 %		7-6	16	230	6.96 %	1.46 %	
7-8	20	288	6.94 %		7-B	20	288	6.94 %	1.44 %	

Nota. Elaboración propia

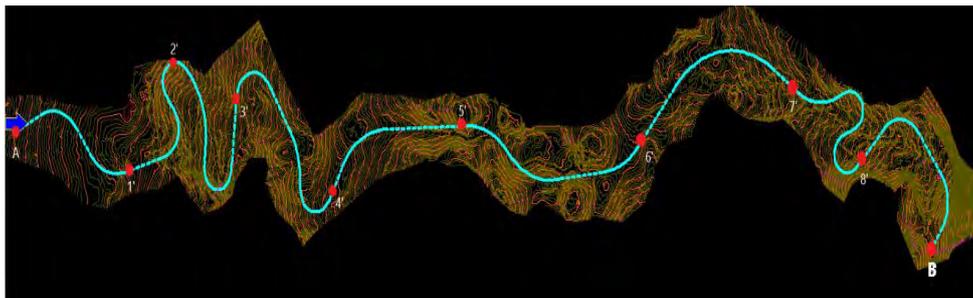


Figura 82. Alineación horizontal de la propuesta 3

Nota. Elaboración propia

Tabla 70

Cálculo de longitud resiliente de la propuesta 3

PROPUESTA	PUNTOS	PROGRESIVA	COTA
PROPUESTA 3	A	0	1637
	1'	305	1643
	2'	575	1660
	3'	985	1689
	4'	1400	1716
	5'	1740	1735
	6'	2200	1750
	7'	2640	1769
	8'	3015	1798
	B	3383	1825

PROPUESTA 3 IDA					PROPUESTA 3 RETORNO						
TRA	DESNI	LONGI	PENDI	RESILE	TRA	DESNI	LONGI	PENDI	CONDICIÓN	RESILE	
MO	VEL	TUD	ENTE	NTE	MO	VEL	TUD	ENTE		NTE	
A-1'	6	305	1.97 %		1-A	6	305	1.97 %	0.00 %		
1'-2'	17	270	6.30 %		2-1	17	270	6.30 %	0.80 %		
2'-3'	29	410	7.07 %		3-2	29	410	7.07 %	1.57 %		
3'-4'	27	415	6.51 %		4-3	27	415	6.51 %	1.01 %		
4'-5'	19	340	5.59 %	9963	5-4	19	340	5.59 %	0.09 %	10950.3	
5'-6'	15	460	3.26 %		6-5	15	460	3.26 %	0.00 %	5	
6'-7'	19	440	4.32 %		7-6	19	440	4.32 %	0.00 %		
7'-8'	29	375	7.73 %		8-7	29	375	7.73 %	2.23 %		
8'-B	27	368	7.34 %		B-8	27	368	7.34 %	1.84 %		

Nota. Elaboración Propia

Finalizado con el cálculo de las longitudes resilientes de cada propuesta, se suma la ida y el retorno para evaluar cuál es la que tiene menor longitud resiliente.

Tabla 71

Evaluación de longitud resiliente

LONGITUD RESILENTE TOTAL		
PROPUESTA		
PROPUESTA1	2	PROPUESTA3
21334.825	21070	20913
ELEGIMOS LA DE MENOS		20913
RESILENCIA		

Nota. Elaboración propia

La propuesta que tiene menor longitud resiliente es la 3. Sin embargo, no es menor por mucho con respecto a la propuesta 2. Por tal motivo, se tomaron los criterios adicionales para elegir la mejor alternativa.

Tabla 72

Evaluación de costos

Alternativa	Pendiente max (%)	R min	N° curvas	Longitud (m)	Vol Desmorte (m3)	Vol Terraplen (m3)	Mat. A transportar a DME (m3)	PU Desmorte	PU Terraplen	PU Acondicionamiento DME	Precio Desmorte	Precio Terraplen	Precio Acondicionamiento DME	PRECIO TOTAL
1	8.12	20	18	3440	245,863.24	43,827.48	202,035.76	15	8.8	3.5	3,687,948.60	385,681.82	707,125.16	S/ 4,780,755.58
2	8.32	20	18	3268	150,073.18	94,811.42	55,261.76	15	8.8	3.5	2,251,097.70	834,340.50	193,416.16	S/ 3,278,854.36
3	7.92	30	19	3383	150,142.60	59,237.21	90,905.39	15	8.8	3.5	2,252,139.00	521,287.45	318,168.87	S/ 3,091,595.31

Nota. Elaboración propia

Con base en la longitud resiliente y los costos de movimiento de tierras se elige la propuesta 3 como la mejor alternativa de diseño.

Capítulo 6. Conclusiones y recomendaciones

6.1 Conclusiones

De acuerdo con los expertos, el tiempo que requieren los levantamientos topográficos dependen principalmente de la longitud de la carretera, el área a levantar, el tipo de terreno y accesibilidad al terreno. Por otro lado, en la tesis desarrollada la longitud de la carretera fue de 3km, aproximadamente, con un ancho promedio de 40 m a ambos lados del eje, con un área aproximada de 28ha, de terreno sinuoso y sin bosques.

En relación con los objetivos planteados en esta tesis, el levantamiento topográfico al utilizar la fotogrametría con drones se realizó en 1 día; mientras que con metodología tradicional constó de 7 días. En esa medida, el tiempo que toma la fotogrametría oscila entre un 14.3 % del tiempo que tomaría la metodología tradicional. En ese orden de ideas, para realizar el levantamiento topográfico se requiere de una cuadrilla; en la fotogrametría estuvo conformado por 3 personas, pero esta se puede realizar con tan solo 2. Por su parte, al utilizar una estación total se requiere de 5 personas. Es importante mencionar que la fotogrametría tuvo buen resultado, debido a que el terreno no tiene zonas boscosas y que utilizarla depende del terreno de cada proyecto.

La base de datos obtenida se procesa para obtener los planos topográficos. Así, al usar la fotogrametría tomó 1 día. A diferencia de la metodología tradicional, que consta de 5.7 días. Por tal motivo, el tiempo que implica el procesamiento fotogramétrico se encuentra en un 17.5 % del tiempo que tomaría la metodología tradicional. Asimismo, la fotogrametría brinda una ortofoto, con la cual se puede ubicar el terreno de manera digital y verificar si el diseño se está realizando correctamente.

Con respecto al diseño geométrico de la carretera, se presentaron tres propuestas con la finalidad de evaluar cuál de ellas se encuentra en mejores condiciones técnicas y económicas. Por otro lado, la evaluación de la mejor alternativa se realizó mediante el método de Bruce y con características principales de cada diseño, como movimientos de tierras y costos. En efecto, la alternativa 1 tiene velocidad de diseño de 30km/h en zonas homogéneas y 20km/h en las zonas de curvas de volteo. Además, presenta 245,863.24m³ de desmonte y 43,827.48m³ de relleno con un presupuesto total de S/ 4,780,755.58. La alternativa 2 también tiene velocidad de diseño de 30km/h en tramos homogéneos y 20km/h en zonas de curvas de volteo. Asimismo, presenta 150,073.18m³ de desmonte y 94,811.42m³ de relleno, con un presupuesto total de S/ 3,278,854.36. Por otro lado, la alternativa 3 tiene una velocidad única de diseño de 30km/h en toda la longitud de la

carretera. De igual modo, tiene $150,142.60\text{m}^3$ de desmonte y $59,237.21\text{m}^3$ de relleno, con un presupuesto total de S/ 3,091,595.31. A partir del método de Bruce, el análisis de movimiento de tierras y costos concluyó que la mejor alternativa es la propuesta 3.

Para efectos de comparativas y análisis se tuvieron en cuenta los resultados obtenidos de la evaluación de los expertos, al utilizar la metodología tradicional y la metodología BIM. El diseño geométrico de la carretera al emplear una metodología tradicional sería de 19.7 días, aproximadamente. Mientras que al usar la metodología BIM se podría realizar en 14.7 días. De acuerdo con los resultados anteriores, se concluye que el tiempo de diseño geométrico de la carretera utilizando una metodología BIM toma un 74.6 % del tiempo que tomaría realizar con metodología tradicional.

Al desarrollar un proyecto completo con fotogrametría a partir de drones y metodología BIM se obtienen tiempos diferentes con respecto a la metodología tradicional. Así, el diseño geométrico de la carretera Pindicucho – Puma marca se puede realizar en 16.7 días con fotogrametría con drones y metodología BIM. Por otro lado, al utilizar una metodología tradicional se podría realizar en 32.3 días. En conclusión, trabajar con fotogrametría con drones y metodología BIM conduce a una reducción de un 48.3 % del tiempo que tomaría ejecutar con metodología tradicional. La hipótesis planteada establece que el uso de la fotogrametría con drones y el software Istram, articulados con la metodología BIM, reduce el tiempo del diseño geométrico de la carretera Pindicucho – Puma marca en al menos un 20 %, en comparación con la metodología tradicional. Finalmente, se puede afirmar que esta hipótesis ha sido comprobada con éxito.

6.2 Recomendaciones

- Para realizar un levantamiento topográfico mediante la aplicación fotogrametría con drones es necesario colocar puntos de control en tierra (PCT), dado que, según (DJI, n.d.), al utilizar el GPS del mismo dron se obtiene un error de $\pm 0.5\text{m}$ en altura y $\pm 1.5\text{m}$ en horizontal. Asimismo, los PTC se utilizan para ajustar el modelo y obtener una mejor precisión en los planos topográficos. De acuerdo con (Ccapa Ayala, 2021), para colocar PCT se debe utilizar equipos con gran precisión, como los GPS diferenciales RTK o PPK y Estaciones Totales, con los cuales se pueden obtener errores entre $\pm 3\text{mm}$ hasta $\pm 15\text{mm}$ en horizontal y $\pm 5\text{mm}$ hasta $\pm 15\text{mm}$ en vertical. Asimismo, (Ccapa Ayala, 2021) señaló que la colocación de los PCT debe estar disperso y colocar 3 para menores de 10 hectáreas. Igualmente, hay que adicionar 5 PCT cada 15 ha adicionales. Por otro lado, emplear la fotogrametría a partir de

drones puede parecer muy tentador por la gran velocidad de trabajo; sin embargo, antes de utilizar esta metodología se debe verificar si el terreno cumple con el requisito de no ser una zona boscosa; caso contrario, se procede con otras metodologías. Actualmente, se encuentra en auge la tecnología lidar, la cual está preparada para trabajar en zonas boscosas.

- Para realizar el procesamiento fotogramétrico lo más recomendable es procesar las fotos en calidad alta o extra alta para obtener la mejor precisión posible. De igual modo, en la etapa de clasificación de puntos es sumamente importante realizar una clasificación manual, debido a que el software Agisoft Metashape podría tener ciertos errores. Para que el procesamiento fotogramétrico se realice en el menor tiempo posible es necesario una computadora que tenga recursos mínimos, como 32 GB de memoria RAM y tarjeta gráfica GTX 1650.
- El diseño geométrico de la carretera puede ser llevado a cabo al utilizar la ortofoto. Esta proporciona información visual valiosa para el trazado de la línea gradiente. Además, es aconsejable emplear la opción de línea gradiente disponible en el software Istram, puesto que facilita el dibujo y permite iniciar el trazado del alineamiento horizontal de manera sencilla. En terrenos Tipo 4, donde exista dificultad para el trazo, es recomendable utilizar curvas de volteo, dado que de esa manera facilita el trazo. Por lo tanto, en el alineamiento vertical es recomendable colocar una zona de descanso antes de iniciar un tramo largo de subida. Asimismo, se puede compatibilizar los diseños de obras de arte transversales (ODT) de manera rápida, debido a que al visualizar las curvas de nivel y la ortofoto traslapadas se verifica la correcta ubicación de las ODT.

Referencias

- Acuña, F. X. (2016). *Aplicación de modelo bim para proyectos de infraestructura vial*. Pontificia Universidad Católica de Ecuador: <http://repositorio.puce.edu.ec/handle/22000/13466>
- Alcántara, D. A. (2014). *Topografía y sus aplicaciones*. Compañía Editorial Continental.
- Bonneval, H. (1972). *Photogrammétrie générale* (Volumen 1). Editorial Eyrolles
- Campos de La Cruz, F. J. (2016). *Topografía capítulo 1: introducción*. s/e.
- Ccapa, N. J. (2021). *Fotogrametría aérea con drones*. <https://acgdrone.com/fotogrametria-aerea-con-drones/>
- CLIMATE-DATA. (s.f.). *Clima limabamba*. <https://es.climate-data.org/america-del-sur/peru/amazonas/limabamba-438668/>
- DJI. (n.d.). *Mavic Pro - DJI*. Retrieved February 20, 2023, from <https://www.dji.com/mavic>.
- EADIC. (2016). *Tecnología BIM la revolución de los proyectos de arquitectura*. <https://www.eadic.com/tecnologia-bim-la-revolucion-de-los-proyectos-de-arquitectura/>
- Escuela de Gestión Pública de la Universidad del Pacífico. (2015). *Un Plan para salir de la pobreza: Plan Nacional de Infraestructura 2016-2025*. www.afin.org.pe
- Gestión. (2016). *Falta de carreteras representan el 20% de la brecha total de infraestructura en el país*. <https://gestion.pe/economia/falta-carreteras-representan-20-brecha-total-infraestructura-pis-146347-noticia/>
- Google Earth. (2021). *Husos y zonas del Perú*.
- Guía de la Industria Química. (2018). *Información sectorial técnico-comercial Construcción*. <https://guiaquimica.mx/secciones/2018/estadisticas-globales-industria-construccion>
- De La Cruz, J.C. (s.f.). *Ingeniería de carreteras 1 capítulo 1 ubicación y trazado de rutas*. facultad de ciencias e ingeniería carrera de ingeniería civil.
- Lozano, M. A. (2019). *Productividad de Mano de Obra*. s/e.

- Ministerio de Economía y finanzas. (2021). *Plan BIM Perú*.
<https://www.mef.gob.pe/planbimperu/sobrebim.html>
- Ministerio de Economía y Finanzas. (2021). *¿Qué es BIM?*
https://www.mef.gob.pe/contenidos/inv_publica/docs/BIM/documento/INFOGRAFIA-BIM-3.pdf
- Ministerio de Economía y Finanzas del Perú. (2020). *Conferencia: Fundamentos de Building Information Modelling (BIM)*.
https://www.youtube.com/watch?v=FGcIcyGoUOs&t=3429s&ab_channel=Ministeriod eEconom%C3%ADayFinanzasdelPer%C3%BA
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2018). *Manual de carreteras: diseño geométrico DG* - 2018.
https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/documentos/manuales/Manual.de.Carreteras.DG-2018.pdf
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2019). *Estado de la red vial nacional a diciembre 2019*. <https://www.pvn.gob.pe/wp-content/uploads/2021/02/rvn-estado-2019.pdf>
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2021). *Más de S/ 900 millones para proyectos de transportes y comunicaciones en la región Amazonas | Gobierno del Perú*.
<https://www.gob.pe/institucion/mtc/noticias/345924-mas-de-s-900-millones-para-proyectos-de-transportes-y-comunicaciones-en-la-region-amazonas>
- Quintaña, J. (2019). *Mejoramiento de la carretera vecinal multidistrital Nuevo Horizonte - Santa Rosa - Totorá - Limabamba - Chirimoto - Calhuayco - Milpuc - Cruce Chaguar, Provincia de Rodríguez de Mendoza - Amazonas*. s/e.
- Quirós, E. (2014). *Introducción a la Fotogrametría y Cartografía aplicadas a la Ingeniería Civil*. Universidad de Extremadura.

RAE. (s.f.). *Diccionario de la lengua española RAE - ASALE.*

<https://dle.rae.es/orograf%C3%ADa>

Sacks, R., Eastman, C. M., Lee, G., y Teicholz, P. M. (2018). *BIM handbook: a guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers and contractors: Vol. Third edition.* John Wiley y Sons, Inc.

Sub-Dirección De Capacidades De Desarrollo. (s.f.). *Contratación de obras públicas.*

https://portal.osce.gob.pe/osce/sites/default/files/Documentos/Capacidades/Capacitacion/Virtual/curso_contratacion_obras/libro_cap3_obras.pdf

Taquirre, I. F. (2019). *Ejecución de expedientes técnicos con deficiencias en la construcción de obras de infraestructura pública - Perú.* Universidad César Vallejo:

https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/42469/Taquire_ZIF.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Vera y Moreno S.A. (2019). *Mej. vías dep. am - 106, tramo: emp. pe - 5n (balzapata) – jumbilla – asunción emp. pe - 8b (molinopampa); am - 110: chachapoyas – levanto; tramo: emp. pe - 8b (tingo) am - 111: emp. pe - 8b (tingo) – longuita – maría – kuelap, prov. chachapoyas – bongará y luya - amazonas.* <https://bit.ly/3GCUgrc>



ANEXOS

ANEXO A

IMDA DEL PROYECTO

**MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA VECINAL
MULTIDISTRITAL NUEVO HORIZONTE - SANTA ROSA -
TOTORA - LIMABAMBA - CHIRIMOTO - CALHUAYCO -
MILPUC - CRUCE CHAGUAR, PROVINCIA DE RODRIGUEZ
DE MENDOZA - MAZONAS**



CALCULO DE IMDA CONSIDERANDO VEHICULO MAS DESFAVORABLE (C2)

OBRA : "MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA VECINAL MULTIDISTRITAL NUEVO HORIZONTE - SANTA ROSA - TOTORA - LIMABAMBA - CHIRIMOTO - CALHUAYCO - MILPUC - CRUCE CHAGUAR, PROVINCIA DE RODRIGUEZ DE MENDOZA - MAZONAS"
 ENTIDAD : MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DE RODRIGUEZ DE MENDOZA
 UBICACIÓN : NUEVO HORIZONTE - SANTA ROSA - TOTORA - LIMABAMBA - CHIRIMOTO - CALHUAYCO - MILPUC - CRUCE CHAGUAR
 FECHA : MARZO DEL 2019

PROYECCION DE TRAFICO (CONSIDERANDO VEHICULO MAS DESFAVORABLE)

Estación: E-1 - TRAMO I: CRUCE HUAMBO - SANTA ROSA

TRAFICO NORMAL

E1 TRAMO I: CRUCE HUAMBO - SANTA ROSA

AÑO	Autos	S. Wagon	Pick Up	Panel	C. Rural	Micro	Omnibus			Camion C2 y C3	Total Veh. Livianos	Total Veh. Pesados	TOTAL
							B2	B3	B4				
	1.51%	1.51%	1.51%	1.51%	1.51%	1.51%	5.10%	5.10%	5.10%	5.10%			
2018	24	0	40	0	19	0	0	0	0	20	83	20	103
2019	24	0	41	0	19	0	0	0	0	21	84	21	105
2020	25	0	41	0	20	0	0	0	0	22	86	22	108
2021	25	0	42	0	20	0	0	0	0	23	87	23	110
2022	25	0	42	0	20	0	0	0	0	24	88	24	113
2023	26	0	43	0	20	0	0	0	0	26	89	26	115
2024	26	0	44	0	21	0	0	0	0	27	91	27	118
2025	27	0	44	0	21	0	0	0	0	28	92	28	120
2026	27	0	45	0	21	0	0	0	0	30	94	30	123
2027	27	0	46	0	22	0	0	0	0	31	95	31	126
2028	28	0	46	0	22	0	0	0	0	33	96	33	129
2029	28	0	47	0	22	0	0	0	0	35	98	35	132
2030	29	0	48	0	23	0	0	0	0	36	99	36	136
2031	29	0	49	0	23	0	0	0	0	38	101	38	139
2032	30	0	49	0	23	0	0	0	0	40	102	40	142
2033	30	0	50	0	24	0	0	0	0	42	104	42	146
2034	30	0	51	0	24	0	0	0	0	44	105	44	150
2035	31	0	52	0	25	0	0	0	0	47	107	47	154
2036	31	0	52	0	25	0	0	0	0	49	109	49	158
2037	32	0	53	0	25	0	0	0	0	51	110	51	162
2038	32	0	54	0	26	0	0	0	0	54	112	54	166

FUENTE: "MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA VECINAL MULTIDISTRITAL NUEVO HORIZONTE - SANTA ROSA - TOTORA - LIMABAMBA - CHIRIMOTO - CALHUAYCO - MILPUC - CRUCE CHAGUAR, PROVINCIA DE RODRIGUEZ DE MENDOZA - MAZONAS"

TRAFICO GENERADO
E1 TRAMO I: SANTA ROSA - CRUCE HUAMBO

AÑO	Autos	S. Wagon	Pick Up	Panel	C. Rural	Micro	Omnibus			Camion	Total Veh. Livianos	Total Veh. Pesados	TOTAL
							B2	B3	B4	C2			
	100%	100%	100%	100%	100%	100%	20%	20%	20%	20%			
2018	24	0	38	0	18	0	0	0	0	4	80	4	84
2019	24	0	41	0	19	0	0	0	0	4	84	4	88
2020	25	0	41	0	20	0	0	0	0	4	86	4	90
2021	25	0	42	0	20	0	0	0	0	5	87	5	92
2022	25	0	42	0	20	0	0	0	0	5	87	5	92
2023	26	0	43	0	20	0	0	0	0	5	89	5	94
2024	26	0	44	0	21	0	0	0	0	5	91	5	96
2025	27	0	44	0	21	0	0	0	0	6	92	6	98
2026	27	0	45	0	21	0	0	0	0	6	93	6	99
2027	27	0	46	0	22	0	0	0	0	6	95	6	101
2028	28	0	46	0	22	0	0	0	0	7	96	7	103
2029	28	0	47	0	22	0	0	0	0	7	97	7	104
2030	29	0	48	0	23	0	0	0	0	7	100	7	107
2031	29	0	49	0	23	0	0	0	0	8	101	8	109
2032	30	0	49	0	23	0	0	0	0	8	102	8	110
2033	30	0	50	0	24	0	0	0	0	8	104	8	112
2034	30	0	51	0	24	0	0	0	0	9	105	9	114
2035	31	0	52	0	25	0	0	0	0	9	108	9	117
2036	31	0	52	0	25	0	0	0	0	10	108	10	118
2037	32	0	53	0	25	0	0	0	0	10	110	10	120
2038	32	0	54	0	26	0	0	0	0	11	112	11	123

FUENTE: "MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA VECINAL MULTIDISTRITAL NUEVO HORIZONTE - SANTA ROSA - TOTORA - LIMABAMBA - CHIRIMOTO - CALHUAYCO - MILPUC - CRUCE CHAGUAR, PROVINCIA DE RODRIGUEZ DE MENDOZA - MAZONAS"

TRAFICO TOTAL
E1 TRAMO I: CRUCE HUAMBO - SANTA ROSA

AÑO	Autos	S. Wagon	Pick Up	Panel	C. Rural	Micro	Omnibus			Camion	Total Veh. Livianos	Total Veh. Pesados	TOTAL
							B2	B3	B4	C2			
2018	48	0	78	0	37	0	0	0	24	163	24	187	
2019	48	0	82	0	38	0	0	0	25	168	25	193	
2020	50	0	82	0	40	0	0	0	26	172	26	198	
2021	50	0	84	0	40	0	0	0	28	174	28	202	
2022	50	0	84	0	40	0	0	0	29	175	29	205	
2023	52	0	86	0	40	0	0	0	31	178	31	209	
2024	52	0	88	0	42	0	0	0	32	182	32	214	
2025	54	0	88	0	42	0	0	0	34	184	34	218	
2026	54	0	90	0	42	0	0	0	36	187	36	222	
2027	54	0	92	0	44	0	0	0	37	190	37	227	
2028	56	0	92	0	44	0	0	0	40	192	40	232	
2029	56	0	94	0	44	0	0	0	42	195	42	236	
2030	58	0	96	0	46	0	0	0	43	199	43	243	
2031	58	0	98	0	46	0	0	0	46	202	46	248	
2032	60	0	98	0	46	0	0	0	48	204	48	252	
2033	60	0	100	0	48	0	0	0	50	208	50	258	
2034	60	0	102	0	48	0	0	0	53	210	53	264	
2035	62	0	104	0	50	0	0	0	56	215	56	271	
2036	62	0	104	0	50	0	0	0	59	217	59	276	
2037	64	0	106	0	50	0	0	0	61	220	61	282	
2038	64	0	108	0	52	0	0	0	65	224	65	289	

FUENTE: "MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA VECINAL MULTIDISTRITAL NUEVO HORIZONTE - SANTA ROSA - TOTORA - LIMABAMBA - CHIRIMOTO - CALHUAYCO - MILPUC - CRUCE CHAGUAR, PROVINCIA DE RODRIGUEZ DE MENDOZA - MAZONAS"



ANEXO B

**LISTADO DE ALINEACIONES DE TRAMOS RECTOS
PROPUESTA 1**

* * * LISTADO DE LAS ALINEACIONES * * *

DATO	TIPO	LONGITUD	P.K.	X TANGENCIA	Y TANGENCIA	RADIO	CUMPLE
1	RECTA	64.67	0+000	226,105.87	9,279,841.88		SÍ
	CLOT.	30	0+065	226,044.86	9,279,820.42		
2	CIRC.	36.89	0+095	226,018.89	9,279,806.07	-30	
	CLOT.	30	0+132	226,014.83	9,279,771.70		
3	CIRC.	82.278	0+162	226,036.74	9,279,751.70	80	
4	RECTA	89.36	0+244	226,073.29	9,279,682.00		SÍ
	CLOT.	30	0+333	226,070.49	9,279,592.68		
5	CIRC.	31.471	0+363	226,064.67	9,279,563.59	30	
	CLOT.	30	0+395	226,038.52	9,279,548.79		
	CLOT.	30	0+425	226,010.58	9,279,558.78		
6	CIRC.	38.924	0+455	225,982.31	9,279,566.32	-20	
	CLOT.	30	0+494	225,970.75	9,279,535.34		
7	RECTA	93.093	0+524	225,997.04	9,279,522.52		SÍ
	CLOT.	30	0+617	226,088.19	9,279,503.57		
8	CIRC.	51.856	0+647	226,115.84	9,279,492.81	30	
	CLOT.	30	0+699	226,115.91	9,279,447.17		
9	RECTA	78.605	0+729	226,088.30	9,279,436.32		SÍ
	CLOT.	30	0+807	226,011.39	9,279,420.08		
10	CIRC.	50.493	0+837	225,983.78	9,279,409.23	-30	
	CLOT.	30	0+888	225,982.83	9,279,364.50		
11	RECTA	76.791	0+918	226,009.96	9,279,352.49		SÍ
	CLOT.	30	0+994	226,084.36	9,279,333.47		
12	CIRC.	65.662	1+024	226,111.84	9,279,322.07	35	
	CLOT.	30	1+090	226,109.24	9,279,265.68		
13	RECTA	76.189	1+120	226,080.82	9,279,256.87		SÍ
	CLOT.	30	1+196	226,005.58	9,279,244.88		
14	CIRC.	126.666	1+226	225,976.53	9,279,237.73	-60	
	CLOT.	30	1+353	225,965.36	9,279,133.91		
	CLOT.	30	1+383	225,992.22	9,279,120.74		
15	CIRC.	63.912	1+413	226,019.38	9,279,108.12	80	
	CLOT.	30	1+477	226,055.10	9,279,057.17		
16	RECTA	232.041	1+507	226,057.70	9,279,027.33		SÍ
17	CIRC.	65.323	1+739	226,063.37	9,278,795.35	100	
	CLOT.	30	1+804	226,044.27	9,278,734.09		
	CLOT.	30	1+834	226,024.31	9,278,711.74		
18	CIRC.	65.085	1+864	226,004.16	9,278,689.54	-120	
	CLOT.	30	1+929	225,980.16	9,278,629.90		
19	RECTA	88.997	1+959	225,979.31	9,278,599.93		SÍ
20	CIRC.	89.356	2+048	225,980.52	9,278,510.94	-120	

21	RECTA	205.401	2+138	226,013.38	9,278,430.06	SÍ
	CLOT.	30	2+343	226,154.62	9,278,280.92	
22	CIRC.	67.476	2+373	226,173.98	9,278,258.06	90
	CLOT.	30	2+441	226,188.15	9,278,193.69	
23	RECTA	214.82	2+471	226,180.18	9,278,164.81	SI
	CLOT.	30	2+685	226,111.61	9,277,961.22	
24	CIRC.	34.69	2+715	226,097.62	9,277,935.06	30
	CLOT.	30	2+750	226,065.29	9,277,929.59	
	CLOT.	30	2+780	226,043.46	9,277,949.68	
25	CIRC.	55.259	2+810	226,021.09	9,277,968.95	-25
	CLOT.	30	2+865	225,989.80	9,277,937.06	
26	RECTA	70.547	2+895	226,009.48	9,277,915.06	SÍ
	CLOT.	30	2+966	226,065.99	9,277,872.83	
27	CIRC.	45.742	2+996	226,085.68	9,277,850.83	25
	CLOT.	30	3+042	226,063.77	9,277,817.81	
	CLOT.	30	3+072	226,035.85	9,277,827.39	
28	CIRC.	43.08	3+102	226,007.92	9,277,836.97	-25
	CLOT.	30	3+145	225,985.29	9,277,806.51	
29	RECTA	31.294	3+175	226,002.52	9,277,782.54	SÍ
	CLOT.	30	3+206	226,025.46	9,277,761.25	
30	CIRC.	49.464	3+236	226,043.57	9,277,737.74	30
	CLOT.	30	3+285	226,022.38	9,277,699.12	
31	RECTA	131.776	3+315	225,992.83	9,277,701.76	SÍ
			3+447	225,865.33	9,277,735.05	



ANEXO C

**LISTADO DE ALINEACIONES DE TRAMOS CURVOS
PROPUESTA 1**



* * * LISTADO DE LAS ALINEACIONES * * *

DATO	TIPO	LONGITUD	P.K.	X TANGENCIA	Y TANGENCIA	RADIO	CUMPLE
1	RECTA	64.67	0+000	226,105.87	9,279,841.88		
	CLOT.	30	0+065	226,044.86	9,279,820.42		
2	CIRC.	36.89	0+095	226,018.89	9,279,806.07	-30	SÍ
	CLOT.	30	0+132	226,014.83	9,279,771.70		
3	CIRC.	82.278	0+162	226,036.74	9,279,751.70	80	SÍ
4	RECTA	89.36	0+244	226,073.29	9,279,682.00		
	CLOT.	30	0+333	226,070.49	9,279,592.68		
5	CIRC.	31.471	0+363	226,064.67	9,279,563.59	30	SÍ
	CLOT.	30	0+395	226,038.52	9,279,548.79		
	CLOT.	30	0+425	226,010.58	9,279,558.78		
6	CIRC.	38.924	0+455	225,982.31	9,279,566.32	-20	SÍ
	CLOT.	30	0+494	225,970.75	9,279,535.34		
7	RECTA	93.093	0+524	225,997.04	9,279,522.52		
	CLOT.	30	0+617	226,088.19	9,279,503.57		
8	CIRC.	51.856	0+647	226,115.84	9,279,492.81	30	SÍ
	CLOT.	30	0+699	226,115.91	9,279,447.17		
9	RECTA	78.605	0+729	226,088.30	9,279,436.32		
	CLOT.	30	0+807	226,011.39	9,279,420.08		
10	CIRC.	50.493	0+837	225,983.78	9,279,409.23	-30	SÍ
	CLOT.	30	0+888	225,982.83	9,279,364.50		
11	RECTA	76.791	0+918	226,009.96	9,279,352.49		
	CLOT.	30	0+994	226,084.36	9,279,333.47		
12	CIRC.	65.662	1+024	226,111.84	9,279,322.07	35	SÍ
	CLOT.	30	1+090	226,109.24	9,279,265.68		
13	RECTA	76.189	1+120	226,080.82	9,279,256.87		
	CLOT.	30	1+196	226,005.58	9,279,244.88		
14	CIRC.	126.666	1+226	225,976.53	9,279,237.73	-60	SÍ
	CLOT.	30	1+353	225,965.36	9,279,133.91		
	CLOT.	30	1+383	225,992.22	9,279,120.74		
15	CIRC.	63.912	1+413	226,019.38	9,279,108.12	80	SÍ
	CLOT.	30	1+477	226,055.10	9,279,057.17		
16	RECTA	232.041	1+507	226,057.70	9,279,027.33		
17	CIRC.	65.323	1+739	226,063.37	9,278,795.35	100	SÍ
	CLOT.	30	1+804	226,044.27	9,278,734.09		
	CLOT.	30	1+834	226,024.31	9,278,711.74		
18	CIRC.	65.085	1+864	226,004.16	9,278,689.54	-120	SÍ
	CLOT.	30	1+929	225,980.16	9,278,629.90		
19	RECTA	88.997	1+959	225,979.31	9,278,599.93		
20	CIRC.	89.356	2+048	225,980.52	9,278,510.94	-120	SÍ

21	RECTA	205.401	2+138	226,013.38	9,278,430.06		
	CLOT.	30	2+343	226,154.62	9,278,280.92		
22	CIRC.	67.476	2+373	226,173.98	9,278,258.06	90	SÍ
	CLOT.	30	2+441	226,188.15	9,278,193.69		
23	RECTA	214.82	2+471	226,180.18	9,278,164.81		
	CLOT.	30	2+685	226,111.61	9,277,961.22		
24	CIRC.	34.69	2+715	226,097.62	9,277,935.06	30	SÍ
	CLOT.	30	2+750	226,065.29	9,277,929.59		
	CLOT.	30	2+780	226,043.46	9,277,949.68		
25	CIRC.	55.259	2+810	226,021.09	9,277,968.95	-25	SÍ
	CLOT.	30	2+865	225,989.80	9,277,937.06		
26	RECTA	70.547	2+895	226,009.48	9,277,915.06		
	CLOT.	30	2+966	226,065.99	9,277,872.83		
27	CIRC.	45.742	2+996	226,085.68	9,277,850.83	25	SÍ
	CLOT.	30	3+042	226,063.77	9,277,817.81		
	CLOT.	30	3+072	226,035.85	9,277,827.39		
28	CIRC.	43.08	3+102	226,007.92	9,277,836.97	-25	SÍ
	CLOT.	30	3+145	225,985.29	9,277,806.51		
29	RECTA	31.294	3+175	226,002.52	9,277,782.54		
	CLOT.	30	3+206	226,025.46	9,277,761.25		
30	CIRC.	49.464	3+236	226,043.57	9,277,737.74	30	SÍ
	CLOT.	30	3+285	226,022.38	9,277,699.12		
31	RECTA	131.776	3+315	225,992.83	9,277,701.76		
			3+447	225,865.33	9,277,735.05		



ANEXO D

LISTADO DE PERALTES PROPUESTA 1



* * * LISTADO DE LAS ALINEACIONES * * *

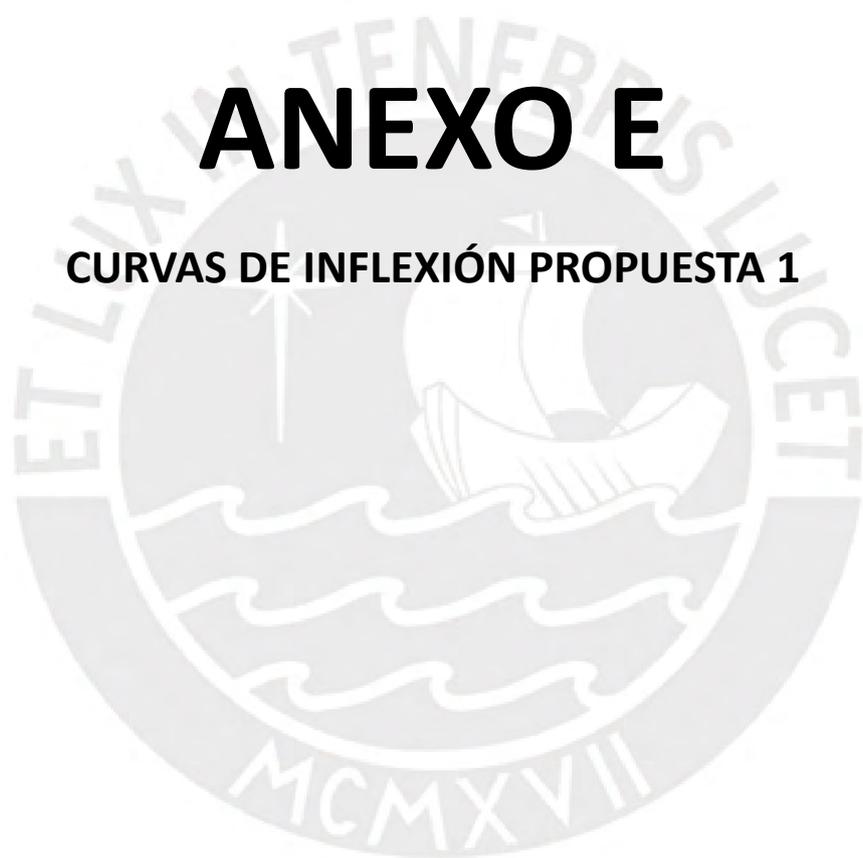
DATO	TIPO	LONGITUD	P.K.	RADIO	PERALTE IZQUIERDA (%)	PERALTE DERECHA (%)
1	RECTA	64.67	0+000			
	CLOT.	30	0+065			
2	CIRC.	36.89	0+095	-30	-11.6	-11.6
	CLOT.	30	0+132			
3	CIRC.	82.278	0+162	80	6.9	6.9
4	RECTA	89.36	0+244			
	CLOT.	30	0+333			
5	CIRC.	31.471	0+363	30	11.6	11.6
	CLOT.	30	0+395			
	CLOT.	30	0+425			
6	CIRC.	38.924	0+455	-20	-10	-10
	CLOT.	30	0+494			
7	RECTA	93.093	0+524			
	CLOT.	30	0+617			
8	CIRC.	51.856	0+647	30	11.6	11.6
	CLOT.	30	0+699			
9	RECTA	78.605	0+729			
	CLOT.	30	0+807			
10	CIRC.	50.493	0+837	-30	-11.6	-11.6
	CLOT.	30	0+888			
11	RECTA	76.791	0+918			
	CLOT.	30	0+994			
12	CIRC.	65.662	1+024	35	10.82	10.82
	CLOT.	30	1+090			
13	RECTA	76.189	1+120			
	CLOT.	30	1+196			
14	CIRC.	126.666	1+226	-60	-8.4	-8.4
	CLOT.	30	1+353			
	CLOT.	30	1+383			
15	CIRC.	63.912	1+413	80	6.9	6.9
	CLOT.	30	1+477			
16	RECTA	232.041	1+507			
17	CIRC.	65.323	1+739	100	5.9	5.9
	CLOT.	30	1+804			
	CLOT.	30	1+834			
18	CIRC.	65.085	1+864	-120	-5.1	-5.1
	CLOT.	30	1+929			
19	RECTA	88.997	1+959			

20	CIRC.	89.356	2+048	-120	-5.1	-5.1
21	RECTA	205.401	2+138			
	CLOT.	30	2+343			
22	CIRC.	67.476	2+373	90	6.3	6.3
	CLOT.	30	2+441			
23	RECTA	214.82	2+471			
	CLOT.	30	2+685			
24	CIRC.	34.69	2+715	30	11.6	11.6
	CLOT.	30	2+750			
	CLOT.	30	2+780			
25	CIRC.	55.259	2+810	-25	-10.82	-10.82
	CLOT.	30	2+865			
26	RECTA	70.547	2+895			
	CLOT.	30	2+966			
27	CIRC.	45.742	2+996	25	11.9	11.9
	CLOT.	30	3+042			
	CLOT.	30	3+072			
28	CIRC.	43.08	3+102	-25	-11.9	-11.9
	CLOT.	30	3+145			
29	RECTA	31.294	3+175			
	CLOT.	30	3+206			
30	CIRC.	49.464	3+236	30	11.6	11.6
	CLOT.	30	3+285			
31	RECTA	131.776	3+315			
			3+447			

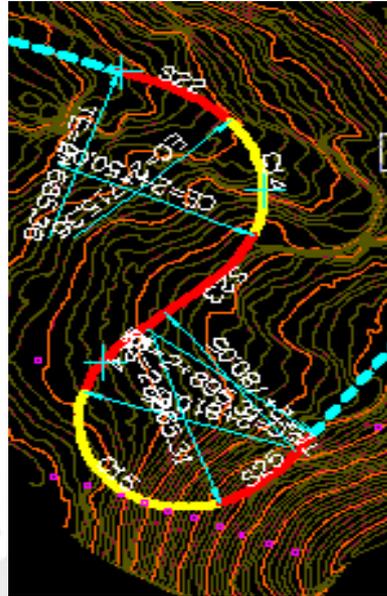


ANEXO E

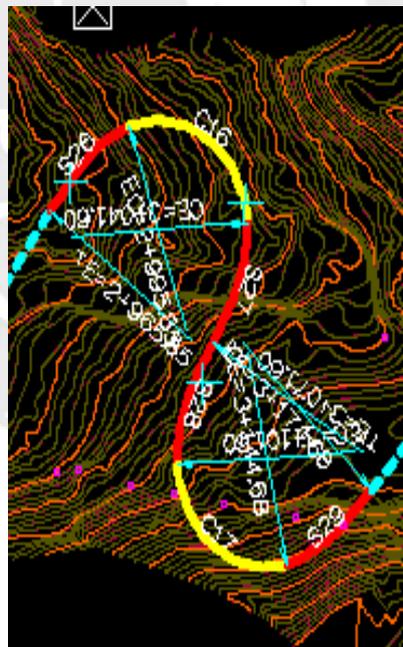
CURVAS DE INFLEXIÓN PROPUESTA 1



- Tramo de curva de inflexión 3

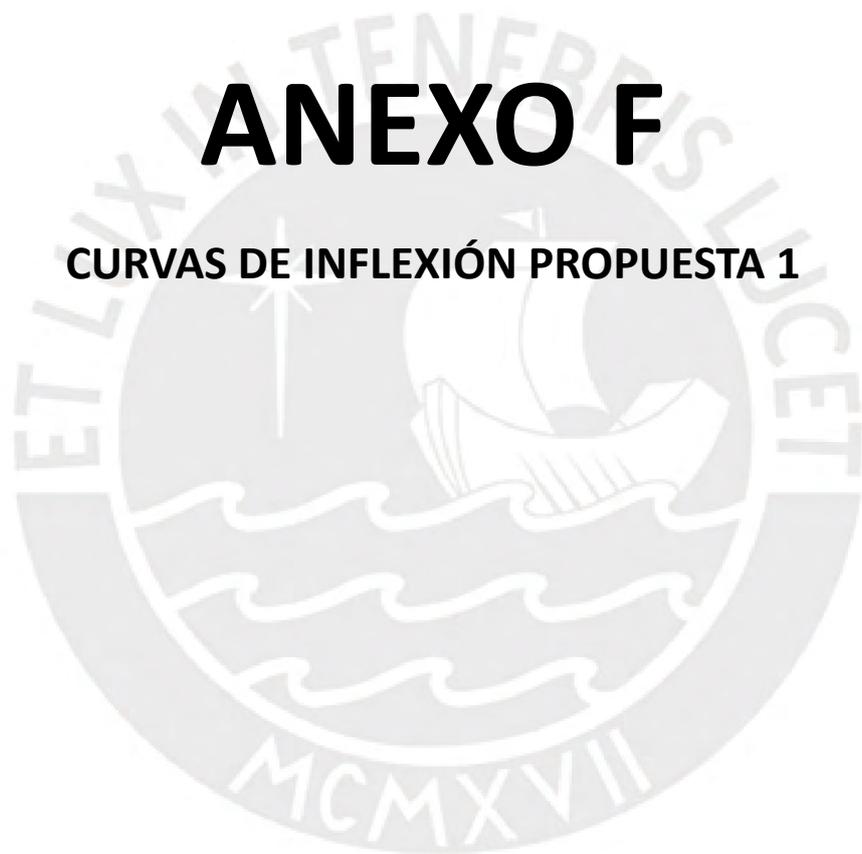


- Tramo de curva de inflexión 4



ANEXO F

CURVAS DE INFLEXIÓN PROPUESTA 1



* * * LISTADO DE LAS ALINEACIONES * * *

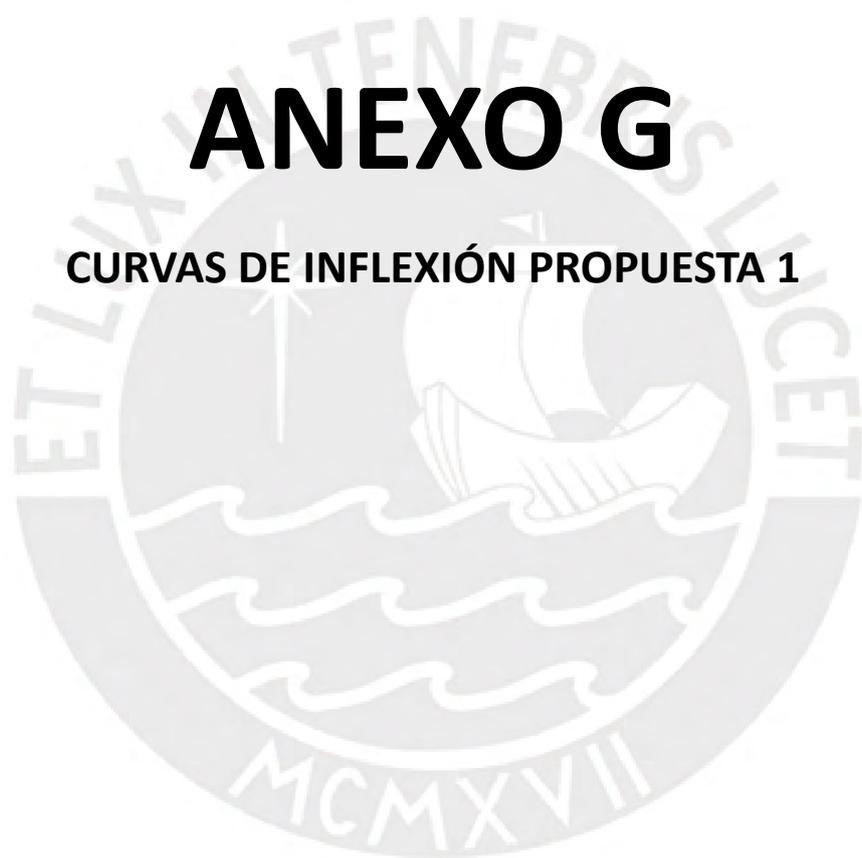
DATO	TIPO	LONGITUD	P.K.	X TANGENCIA	Y TANGENCIA	RADIO	DATO
1	RECTA	83.561	0+000	226,036.44	9,279,859.16		SI
2	CIRC.	95.404	0+084	226,060.11	9,279,779.02	85	
3	RECTA	46.32	0+179	226,035.62	9,279,691.93		SI
4	CIRC.	127.845	0+225	226,001.27	9,279,660.85	-60	
5	RECTA	105.548	0+353	226,025.21	9,279,558.62		SI
6	CIRC.	76.15	0+459	226,126.79	9,279,529.92	30	
7	RECTA	143.125	0+535	226,128.29	9,279,472.65		SI
8	CIRC.	76.292	0+678	225,992.79	9,279,426.56	-30	
9	RECTA	108.199	0+754	225,994.43	9,279,369.25		SI
10	CIRC.	83.115	0+862	226,098.69	9,279,340.32	40	
11	RECTA	69.789	0+946	226,116.50	9,279,273.71		SI
	CLOT.	20	1+015	226,067.53	9,279,223.98		
12	CIRC.	41.268	1+035	226,052.75	9,279,210.55	60	
	CLOT.	20	1+077	226,013.89	9,279,199.27		
	CLOT.	20	1+097	225,994.21	9,279,202.70		
13	CIRC.	93.146	1+117	225,974.48	9,279,205.58	-40	
	CLOT.	20	1+210	225,946.91	9,279,137.46		
14	RECTA	51.309	1+230	225,963.09	9,279,125.81		SI
15	CIRC.	100.893	1+281	226,007.08	9,279,099.38	100	
16	RECTA	207.662	1+382	226,055.55	9,279,015.75		SI
17	CIRC.	78.179	1+590	226,059.89	9,278,808.13	120	
18	RECTA	48.001	1+668	226,036.83	9,278,734.87		SI
19	CIRC.	64.154	1+716	226,008.53	9,278,696.10	-100	
20	RECTA	138.729	1+780	225,989.30	9,278,636.05		SI
21	CIRC.	69.743	1+919	225,990.81	9,278,497.32	-100	
22	RECTA	221.768	1+988	226,014.86	9,278,433.36		SI
23	CIRC.	126.31	2+210	226,159.14	9,278,264.94	120	
24	RECTA	216.534	2+337	226,180.96	9,278,146.37		SI
	CLOT.	20	2+553	226,107.88	9,277,942.54		
25	CIRC.	48.079	2+573	226,099.13	9,277,924.67	30	
	CLOT.	20	2+621	226,056.22	9,277,920.71		
	CLOT.	20	2+641	226,044.35	9,277,936.69		
26	CIRC.	51.492	2+661	226,031.69	9,277,951.88	-20	
	CLOT.	20	2+713	226,003.45	9,277,925.86		
	CLOT.	20	2+733	226,017.57	9,277,912.01		
27	CIRC.	41.051	2+753	226,033.46	9,277,899.89	80	
	CLOT.	20	2+794	226,055.69	9,277,865.92		
28	RECTA	37.647	2+814	226,060.44	9,277,846.50		SI
	CLOT.	20	2+851	226,067.84	9,277,809.59		

29	CIRC.	39.49	2+871	226,068.46	9,277,789.82	20
	CLOT.	20	2+911	226,036.40	9,277,780.55	
	CLOT.	20	2+931	226,026.38	9,277,797.60	
30	CIRC.	49.908	2+951	226,016.35	9,277,814.65	-20
	CLOT.	20	3+001	225,983.86	9,277,795.09	
31	RECTA	40.301	3+021	225,994.24	9,277,778.25	SI
32	CIRC.	77.887	3+061	226,020.78	9,277,747.92	30
33	RECTA	129.54	3+139	225,989.15	9,277,699.57	SI
			3+268	225,865.65	9,277,738.66	



ANEXO G

CURVAS DE INFLEXIÓN PROPUESTA 1



* * * LISTADO DE LAS ALINEACIONES * * *

DATO	TIPO	LONGITUD	P.K.	X TANGENCIA	Y TANGENCIA	RADIO	DATO
1	RECTA	83.561	0+000	226,036.44	9,279,859.16		
2	CIRC.	95.404	0+084	226,060.11	9,279,779.02	85	SI
3	RECTA	46.32	0+179	226,035.62	9,279,691.93		
4	CIRC.	127.845	0+225	226,001.27	9,279,660.85	-60	SI
5	RECTA	105.548	0+353	226,025.21	9,279,558.62		
6	CIRC.	76.15	0+459	226,126.79	9,279,529.92	30	SI
7	RECTA	143.125	0+535	226,128.29	9,279,472.65		
8	CIRC.	76.292	0+678	225,992.79	9,279,426.56	-30	SI
9	RECTA	108.199	0+754	225,994.43	9,279,369.25		
10	CIRC.	83.115	0+862	226,098.69	9,279,340.32	40	SI
11	RECTA	69.789	0+946	226,116.50	9,279,273.71		
	CLOT.	20	1+015	226,067.53	9,279,223.98		
12	CIRC.	41.268	1+035	226,052.75	9,279,210.55	60	SI
	CLOT.	20	1+077	226,013.89	9,279,199.27		
	CLOT.	20	1+097	225,994.21	9,279,202.70		
13	CIRC.	93.146	1+117	225,974.48	9,279,205.58	-40	SI
	CLOT.	20	1+210	225,946.91	9,279,137.46		
14	RECTA	51.309	1+230	225,963.09	9,279,125.81		
15	CIRC.	100.893	1+281	226,007.08	9,279,099.38	100	SI
16	RECTA	207.662	1+382	226,055.55	9,279,015.75		
17	CIRC.	78.179	1+590	226,059.89	9,278,808.13	120	SI
18	RECTA	48.001	1+668	226,036.83	9,278,734.87		
19	CIRC.	64.154	1+716	226,008.53	9,278,696.10	-100	SI
20	RECTA	138.729	1+780	225,989.30	9,278,636.05		
21	CIRC.	69.743	1+919	225,990.81	9,278,497.32	-100	SI
22	RECTA	221.768	1+988	226,014.86	9,278,433.36		
23	CIRC.	126.31	2+210	226,159.14	9,278,264.94	120	SI
24	RECTA	216.534	2+337	226,180.96	9,278,146.37		
	CLOT.	20	2+553	226,107.88	9,277,942.54		
25	CIRC.	48.079	2+573	226,099.13	9,277,924.67	30	SI
	CLOT.	20	2+621	226,056.22	9,277,920.71		
	CLOT.	20	2+641	226,044.35	9,277,936.69		
26	CIRC.	51.492	2+661	226,031.69	9,277,951.88	-20	SI
	CLOT.	20	2+713	226,003.45	9,277,925.86		
	CLOT.	20	2+733	226,017.57	9,277,912.01		
27	CIRC.	41.051	2+753	226,033.46	9,277,899.89	80	SI
	CLOT.	20	2+794	226,055.69	9,277,865.92		
28	RECTA	37.647	2+814	226,060.44	9,277,846.50		
	CLOT.	20	2+851	226,067.84	9,277,809.59		

29	CIRC.	39.49	2+871	226,068.46	9,277,789.82	20	SI
	CLOT.	20	2+911	226,036.40	9,277,780.55		
	CLOT.	20	2+931	226,026.38	9,277,797.60		
30	CIRC.	49.908	2+951	226,016.35	9,277,814.65	-20	SI
	CLOT.	20	3+001	225,983.86	9,277,795.09		
31	RECTA	40.301	3+021	225,994.24	9,277,778.25		
32	CIRC.	77.887	3+061	226,020.78	9,277,747.92	30	SI
33	RECTA	129.54	3+139	225,989.15	9,277,699.57		
			3+268	225,865.65	9,277,738.66		



ANEXO H

LISTADO DE PERALTES PROPUESTA 2



* * * LISTADO DE LAS ALINEACIONES * * *

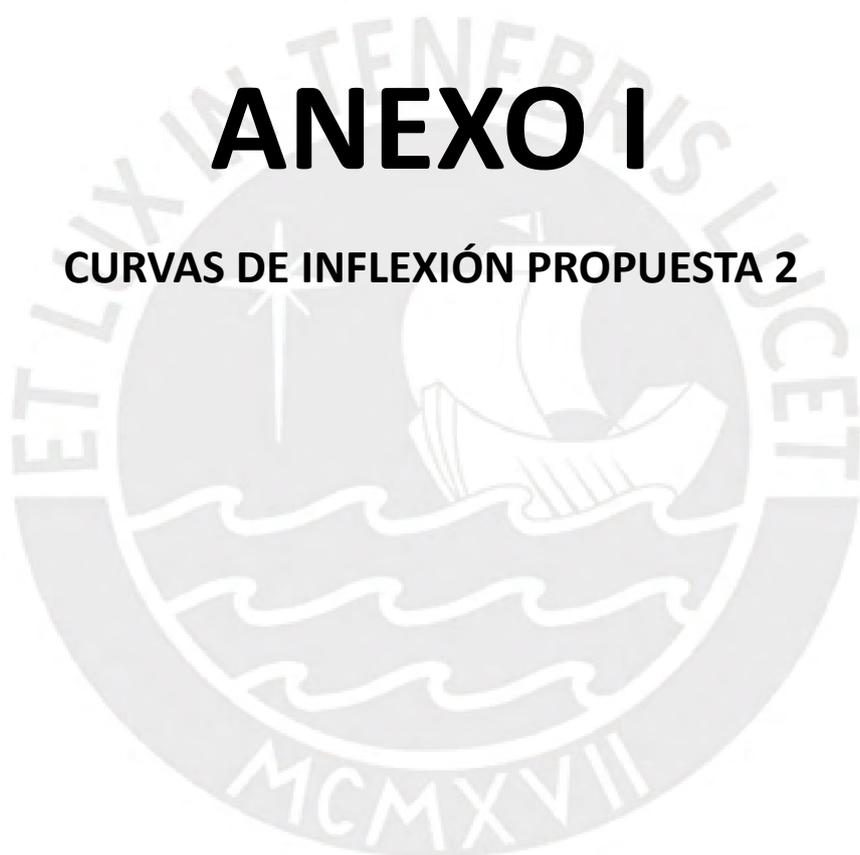
DATO	TIPO	LONGITUD	P.K.	RADIO	PERALTE IZQUIERDA (%)	PERALTE DERECHA (%)
1	RECTA	83.561	0+000			
2	CIRC.	95.404	0+084	85	6.6	6.6
3	RECTA	46.32	0+179			
4	CIRC.	127.845	0+225	-60	8.4	-8.4
5	RECTA	105.548	0+353			
6	CIRC.	76.15	0+459	30	11.6	11.6
7	RECTA	143.125	0+535			
8	CIRC.	76.292	0+678	-30	-11.6	-11.6
9	RECTA	108.199	0+754			
10	CIRC.	83.115	0+862	40	10.4	10.4
11	RECTA	69.789	0+946			
	CLOT.	20	1+015			
12	CIRC.	41.268	1+035	60	8.4	8.4
	CLOT.	20	1+077			
	CLOT.	20	1+097			
13	CIRC.	93.146	1+117	-40	-9	-9
	CLOT.	20	1+210			
14	RECTA	51.309	1+230			
15	CIRC.	100.893	1+281	100	5.9	5.9
16	RECTA	207.662	1+382			
17	CIRC.	78.179	1+590	120	5.1	5.1
18	RECTA	48.001	1+668			
19	CIRC.	64.154	1+716	-100	-5.9	-5.9
20	RECTA	138.729	1+780			
21	CIRC.	69.743	1+919	-100	-5.9	5.9
22	RECTA	221.768	1+988			
23	CIRC.	126.31	2+210	120	5.1	5.1
24	RECTA	216.534	2+337			
	CLOT.	20	2+553			
25	CIRC.	48.079	2+573	30	9	9
	CLOT.	20	2+621			
	CLOT.	20	2+641			
26	CIRC.	51.492	2+661	-20	-9	-9
	CLOT.	20	2+713			
	CLOT.	20	2+733			
27	CIRC.	41.051	2+753	80	6.9	6.9
	CLOT.	20	2+794			
28	RECTA	37.647	2+814			

	CLOT.	20	2+851			
29	CIRC.	39.49	2+871	20	10	10
	CLOT.	20	2+911			
	CLOT.	20	2+931			
30	CIRC.	49.908	2+951	-20	-9	-9
	CLOT.	20	3+001			
31	RECTA	40.301	3+021			
32	CIRC.	77.887	3+061	30	11.6	11.6
33	RECTA	129.54	3+139			
			3+268			



ANEXO I

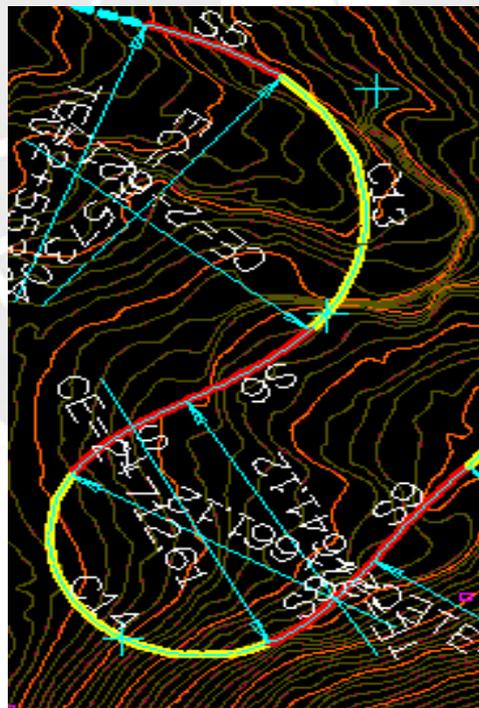
CURVAS DE INFLEXIÓN PROPUESTA 2



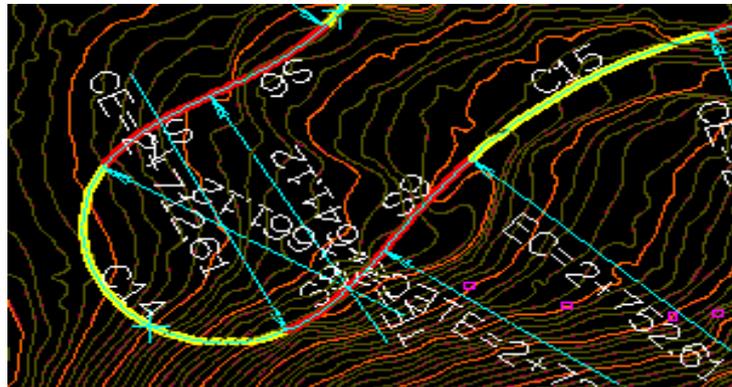
- Configuración 1, curva en S entre curvas 6 y 7



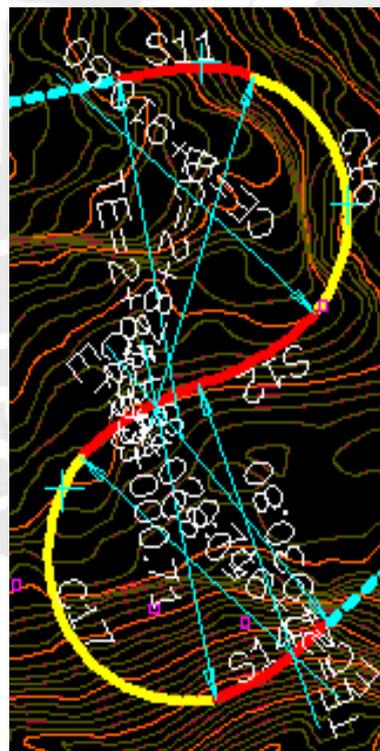
- Configuración 2, curva en S entre curvas 13 y 14



- Configuración 3, curva en S entre curvas 14 y 15



- Configuración 4, curva en S entre curvas 16 y 17



ANEXO J

**LISTADO DE ALINEACIONES DE TRAMOS RECTOS
PROPUESTA 3**



* * * LISTADO DE LAS ALINEACIONES * * *

DATO	TIPO	LONGITUD	P.K.	X TANGENCIA	Y TANGENCIA	RADIO	CUMPLE
1	RECTA	64.991	0+000	226,050.69	9,279,862.31		SÍ
2	CIRC.	92.771	0+065	226,077.78	9,279,803.23	70	
3	RECTA	53.128	0+158	226,057.91	9,279,719.43		SÍ
4	CIRC.	92.516	0+211	226,016.45	9,279,686.21	-80	
5	RECTA	78.578	0+303	225,989.17	9,279,603.13		SÍ
	CLOT.	30	0+382	226,009.46	9,279,527.21		
6	CIRC.	60.909	0+412	226,020.31	9,279,499.40	-45	
	CLOT.	30	0+473	226,074.16	9,279,482.76		
	CLOT.	35	0+503	226,098.81	9,279,499.61		
7	CIRC.	55.22	0+538	226,128.78	9,279,516.63	30	
	CLOT.	35	0+593	226,162.28	9,279,482.61		
8	CIRC.	105.949	0+628	226,143.76	9,279,453.78	150	
	CLOT.	35	0+734	226,047.20	9,279,415.78		
	CLOT.	35	0+769	226,012.28	9,279,417.74		
9	CIRC.	59.215	0+804	225,977.97	9,279,414.34	-30	
	CLOT.	35	0+863	225,973.20	9,279,364.51		
10	RECTA	88.281	0+898	226,006.23	9,279,354.65		SÍ
	CLOT.	35	0+987	226,094.11	9,279,346.19		
11	CIRC.	62.991	1+022	226,127.80	9,279,337.88	40	
	CLOT.	35	1+085	226,141.82	9,279,282.96		
12	RECTA	69.91	1+120	226,116.23	9,279,259.53		SÍ
13	CIRC.	83.754	1+189	226,058.36	9,279,220.30	150	
	CLOT.	30	1+273	225,979.80	9,279,194.56		
14	CIRC.	60.38	1+303	225,950.53	9,279,189.23	-35	
	CLOT.	30	1+364	225,937.77	9,279,137.61		
15	RECTA	43.909	1+394	225,961.20	9,279,119.26		SÍ
16	CIRC.	121.855	1+438	225,999.26	9,279,097.38	120	
17	RECTA	204.972	1+559	226,059.38	9,278,997.36		SÍ
18	CIRC.	94.404	1+764	226,066.24	9,278,792.51	100	
19	CIRC.	92.788	1+859	226,027.62	9,278,710.18	-100	
20	RECTA	124.748	1+952	225,988.97	9,278,629.46		SÍ
21	CIRC.	91.789	2+076	225,991.13	9,278,504.73	-120	
22	RECTA	143.595	2+168	226,025.99	9,278,422.22		SÍ
23	CIRC.	271.797	2+312	226,127.20	9,278,320.37	200	
24	RECTA	51.638	2+583	226,152.98	9,278,070.33		SÍ
25	CIRC.	98.158	2+635	226,124.82	9,278,027.05	-100	
	CLOT.	30	2+733	226,116.73	9,277,933.13		
26	CIRC.	66.246	2+763	226,123.74	9,277,904.30	30	
	CLOT.	30	2+829	226,073.81	9,277,884.85		

	CLOT.	30	2+859	226,059.47	9,277,910.82	
27	CIRC.	77.429	2+889	226,045.13	9,277,936.79	-30
	CLOT.	30	2+967	225,996.21	9,277,906.27	
28	RECTA	73.909	2+997	226,013.24	9,277,881.97	SÍ
29	CIRC.	91.291	3+071	226,065.10	9,277,829.30	55
30	RECTA	85.184	3+162	226,060.85	9,277,748.25	SÍ
31	CIRC.	92.703	3+247	225,995.08	9,277,694.12	70
32	RECTA	42.947	3+340	225,909.03	9,277,691.85	SÍ
			3+383	225,874.47	9,277,717.35	



ANEXO K

**LISTADO DE ALINEACIONES DE TRAMOS CURVOS
PROPUESTA 3**



* * * LISTADO DE LAS ALINEACIONES * * *

DATO	TIPO	LONGITUD	P.K.	X TANGENCIA	Y TANGENCIA	RADIO	CUMPLE
1	RECTA	64.991	0+000	226,050.69	9,279,862.31		
2	CIRC.	92.771	0+065	226,077.78	9,279,803.23	70	SÍ
3	RECTA	53.128	0+158	226,057.91	9,279,719.43		
4	CIRC.	92.516	0+211	226,016.45	9,279,686.21	-80	SÍ
5	RECTA	78.578	0+303	225,989.17	9,279,603.13		
	CLOT.	30	0+382	226,009.46	9,279,527.21		
6	CIRC.	60.909	0+412	226,020.31	9,279,499.40	-45	SÍ
	CLOT.	30	0+473	226,074.16	9,279,482.76		
	CLOT.	35	0+503	226,098.81	9,279,499.61		
7	CIRC.	55.22	0+538	226,128.78	9,279,516.63	30	SÍ
	CLOT.	35	0+593	226,162.28	9,279,482.61		
8	CIRC.	105.949	0+628	226,143.76	9,279,453.78	150	SÍ
	CLOT.	35	0+734	226,047.20	9,279,415.78		
	CLOT.	35	0+769	226,012.28	9,279,417.74		
9	CIRC.	59.215	0+804	225,977.97	9,279,414.34	-30	SÍ
	CLOT.	35	0+863	225,973.20	9,279,364.51		
10	RECTA	88.281	0+898	226,006.23	9,279,354.65		
	CLOT.	35	0+987	226,094.11	9,279,346.19		
11	CIRC.	62.991	1+022	226,127.80	9,279,337.88	40	SÍ
	CLOT.	35	1+085	226,141.82	9,279,282.96		
12	RECTA	69.91	1+120	226,116.23	9,279,259.53		
13	CIRC.	83.754	1+189	226,058.36	9,279,220.30	150	SÍ
	CLOT.	30	1+273	225,979.80	9,279,194.56		
14	CIRC.	60.38	1+303	225,950.53	9,279,189.23	-35	SÍ
	CLOT.	30	1+364	225,937.77	9,279,137.61		
15	RECTA	43.909	1+394	225,961.20	9,279,119.26		
16	CIRC.	121.855	1+438	225,999.26	9,279,097.38	120	SÍ
17	RECTA	204.972	1+559	226,059.38	9,278,997.36		
18	CIRC.	94.404	1+764	226,066.24	9,278,792.51	100	SÍ
19	CIRC.	92.788	1+859	226,027.62	9,278,710.18	-100	SÍ
20	RECTA	124.748	1+952	225,988.97	9,278,629.46		
21	CIRC.	91.789	2+076	225,991.13	9,278,504.73	-120	SÍ
22	RECTA	143.595	2+168	226,025.99	9,278,422.22		
23	CIRC.	271.797	2+312	226,127.20	9,278,320.37	200	SÍ
24	RECTA	51.638	2+583	226,152.98	9,278,070.33		
25	CIRC.	98.158	2+635	226,124.82	9,278,027.05	-100	SÍ
	CLOT.	30	2+733	226,116.73	9,277,933.13		
26	CIRC.	66.246	2+763	226,123.74	9,277,904.30	30	SÍ
	CLOT.	30	2+829	226,073.81	9,277,884.85		

	CLOT.	30	2+859	226,059.47	9,277,910.82		
27	CIRC.	77.429	2+889	226,045.13	9,277,936.79	-30	SÍ
	CLOT.	30	2+967	225,996.21	9,277,906.27		
28	RECTA	73.909	2+997	226,013.24	9,277,881.97		
29	CIRC.	91.291	3+071	226,065.10	9,277,829.30	55	SÍ
30	RECTA	85.184	3+162	226,060.85	9,277,748.25		
31	CIRC.	92.703	3+247	225,995.08	9,277,694.12	70	SÍ
32	RECTA	42.947	3+340	225,909.03	9,277,691.85		
			3+383	225,874.47	9,277,717.35		



ANEXO L

LISTADO DE PERALTES PROPUESTA 3



* * * LISTADO DE LAS ALINEACIONES * * *

DATO	TIPO	LONGITUD	P.K.	RADIO	PERALTE IZQUIERDA (%)	PERALTE DERECHA (%)
1	RECTA	64.991	0+000			
2	CIRC.	92.771	0+065	70	7.6	7.6
3	RECTA	53.128	0+158			
4	CIRC.	92.516	0+211	-80	-6.9	-6.9
5	RECTA	78.578	0+303			
6	CLOT.	30	0+382			
	CIRC.	60.909	0+412	-45	-9.9	-9.9
7	CLOT.	30	0+473			
	CLOT.	35	0+503			
	CIRC.	55.22	0+538	30	11.6	11.6
8	CLOT.	35	0+593			
	CIRC.	105.949	0+628	150	4.2	4.2
	CLOT.	35	0+734			
9	CLOT.	35	0+769			
	CIRC.	59.215	0+804	-30	-11.6	-11.6
	CLOT.	35	0+863			
10	RECTA	88.281	0+898			
11	CLOT.	35	0+987			
	CIRC.	62.991	1+022	40	10.4	10.4
12	CLOT.	35	1+085			
	RECTA	69.91	1+120			
13	CIRC.	83.754	1+189	150	4.2	4.2
14	CLOT.	30	1+273			
	CIRC.	60.38	1+303	-35	-11.1	-11.1
15	CLOT.	30	1+364			
	RECTA	43.909	1+394			
16	CIRC.	121.855	1+438	120	5.1	5.1
17	RECTA	204.972	1+559			
18	CIRC.	94.404	1+764	100	5.9	5.9
19	CIRC.	92.788	1+859	-100	-5.9	-5.9
20	RECTA	124.748	1+952			
21	CIRC.	91.789	2+076	-120	-5.1	-5.1
22	RECTA	143.595	2+168			
23	CIRC.	271.797	2+312	200	3.2	3.2
24	RECTA	51.638	2+583			
25	CIRC.	98.158	2+635	-100	-5.9	-5.9
26	CLOT.	30	2+733			
	CIRC.	66.246	2+763	30	11.5	11.5

	CLOT.	30	2+829			
	CLOT.	30	2+859			
27	CIRC.	77.429	2+889	-30	-11.5	-11.5
	CLOT.	30	2+967			
28	RECTA	73.909	2+997			
29	CIRC.	91.291	3+071	55	8.8	8.8
30	RECTA	85.184	3+162			
31	CIRC.	92.703	3+247	70	7.6	7.6
32	RECTA	42.947	3+340			
			3+383			



ANEXO M

EVALUACIÓN DE EXPERTOS



FORMATO DE EVALUACIÓN DE EXPERTOS

Título de tesis: Propuesta de aplicación de la fotogrametría con drones y metodología BIM en el diseño geométrico de una carretera en el distrito de Limabamba para reducir el tiempo de diseño.

ING. AURELIANO ORELLANA

Criterios de evaluación

1	LONGITUD DE LA CARRETERA	3KM
2	ÁREA TOTAL DEL LEVANTAMIENTO	20 ha
3	TIPO DE TERRENO	SINUOSO
4	ACCESIBILIDAD DEL TERRENO	TERRENO SIN BOSQUES
5	CUADRILLA DE TOPOGRAFÍA	5
6	EQUIPO A UTILIZAR	ESTACIÓN TOTAL
7	CLIMA DEL LUGAR	TEMPLADO
8	TIEMPO DEL LUGAR	SOLEADO

CONCLUSIONES:

- EL LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO SE REALIZA EN 5 DIAS
- LA ENTREGA DE PLANOS TOPOGRÁFICOS SE PROYECTA PARA 6 DIAS
- EL DISEÑO GEOMÉTRICO DE LA CARRETERA SE REALIZA EN 24 DIAS CON METODOLOGÍA TRADICIONAL
- EL DISEÑO GEOMÉTRICO DE LA CARRETERA SE REALIZA EN 18 DÍAS CON METODOLOGÍA BIM

FORMATO DE EVALUACIÓN DE EXPERTOS

Título de tesis: Propuesta de aplicación de la fotogrametría con drones y metodología BIM en el diseño geométrico de una carretera en el distrito de Limabamba para reducir el tiempo de diseño.

ING. EDWIN URRUNAGA

Criterios de evaluación

1	LONGITUD DE LA CARRETERA	3KM
2	ÁREA TOTAL DEL LEVANTAMIENTO	20 ha
3	TIPO DE TERRENO	SINUOSO
4	ACCESIBILIDAD DEL TERRENO	TERRENO SIN BOSQUES
5	CUADRILLA DE TOPOGRAFÍA	5
6	EQUIPO A UTILIZAR	ESTACIÓN TOTAL
7	CLIMA DEL LUGAR	TEMPLADO
8	TIEMPO DEL LUGAR	SOLEADO

CONCLUSIONES:

- EL LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO SE REALIZA EN 6 DIAS
- LA ENTREGA DE PLANOS TOPOGRÁFICOS SE PROYECTA PARA 7 DIAS
- EL DISEÑO GEOMÉTRICO DE LA CARRETERA SE REALIZA EN 25 DIAS CON METODOLOGÍA TRADICIONAL
- EL DISEÑO GEOMÉTRICO DE LA CARRETERA SE REALIZA EN 18 DÍAS CON METODOLOGÍA BIM

FORMATO DE EVALUACIÓN DE EXPERTOS

Título de tesis: Propuesta de aplicación de la fotogrametría con drones y metodología BIM en el diseño geométrico de una carretera en el distrito de Limabamba para reducir el tiempo de diseño.

ING. ELVIS SILUPU

Criterios de evaluación

1	LONGITUD DE LA CARRETERA	3KM
2	ÁREA TOTAL DEL LEVANTAMIENTO	20 ha
3	TIPO DE TERRENO	SINUOSO
4	ACCESIBILIDAD DEL TERRENO	TERRENO SIN BOSQUES
5	CUADRILLA DE TOPOGRAFÍA	5
6	EQUIPO A UTILIZAR	ESTACIÓN TOTAL
7	CLIMA DEL LUGAR	TEMPLADO
8	TIEMPO DEL LUGAR	SOLEADO

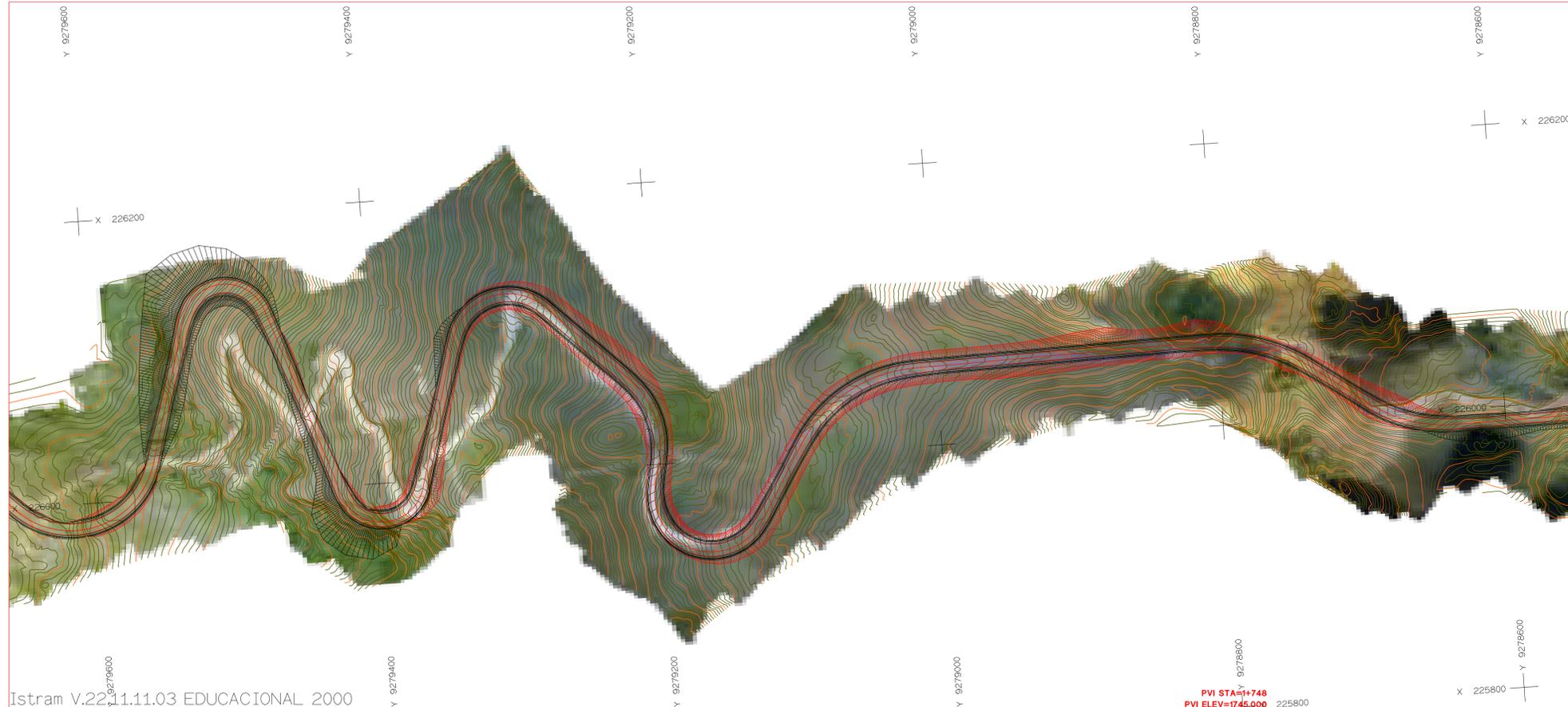
CONCLUSIONES:

- EL LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO SE REALIZA EN 4 DIAS
- LA ENTREGA DE PLANOS TOPOGRÁFICOS SE PROYECTA PARA 4 DIAS
- EL DISEÑO GEOMÉTRICO DE LA CARRETERA SE REALIZA EN 10 DIAS CON METODOLOGÍA TRADICIONAL
- EL DISEÑO GEOMÉTRICO DE LA CARRETERA SE REALIZA EN 8 DÍAS CON METODOLOGÍA BIM

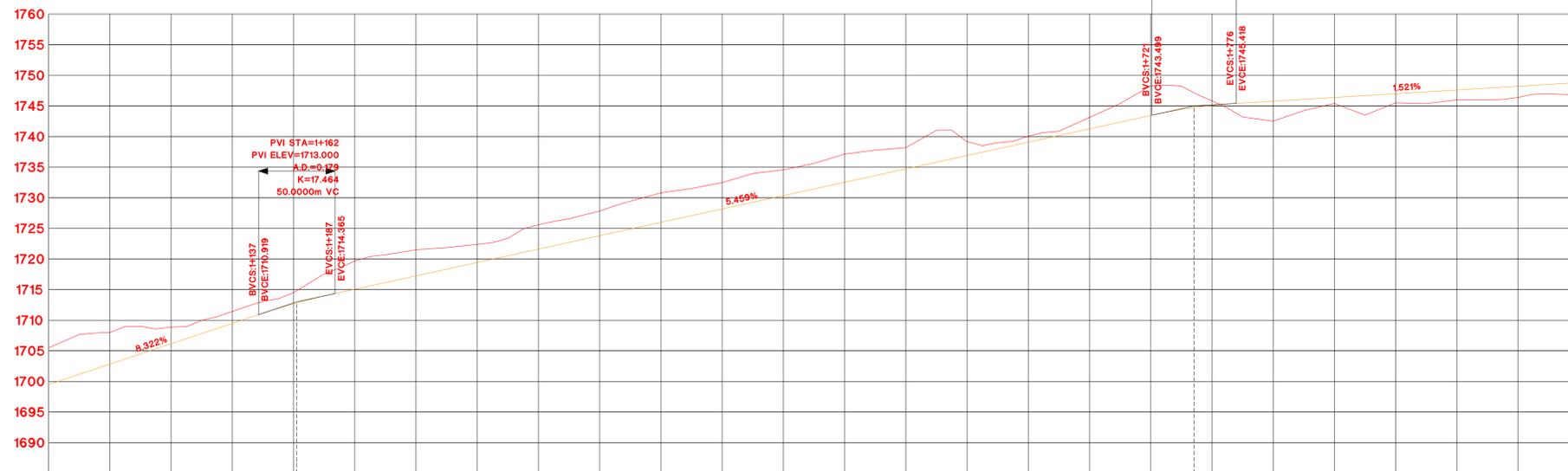


ANEXO N

PLANOS DE DISEÑO DE LA PROPUESTA 1



Istram V.22.11.11.03 EDUCACIONAL 2000



PENDIENTE	5.459%																																																																																																				
COTA SUBRASANTE	1699.705	1705.499	1699.506																																																																																																		
COTA TERRENO	1707.599	1702.835																																																																																																			
ALTURA CORTE																																																																																																					
ALTURA RELLENO																																																																																																					
ALINEAMIENTO																																																																																																					
KILOMETRAJE	1+000	1+010	1+020	1+030	1+040	1+050	1+060	1+070	1+080	1+090	1+100	1+110	1+120	1+130	1+140	1+150	1+160	1+170	1+180	1+190	1+200	1+210	1+220	1+230	1+240	1+250	1+260	1+270	1+280	1+290	1+300	1+310	1+320	1+330	1+340	1+350	1+360	1+370	1+380	1+390	1+400	1+410	1+420	1+430	1+440	1+450	1+460	1+470	1+480	1+490	1+500	1+510	1+520	1+530	1+540	1+550	1+560	1+570	1+580	1+590	1+600	1+610	1+620	1+630	1+640	1+650	1+660	1+670	1+680	1+690	1+700	1+710	1+720	1+730	1+740	1+750	1+760	1+770	1+780	1+790	1+800	1+810	1+820	1+830	1+840	1+850	1+860	1+870	1+880	1+890	1+900	1+910	1+920	1+930	1+940	1+950	1+960	1+970	1+980	1+990	2+000

CUADRO DE ELEMENTOS DE CURVA

Nº	SENTIDO	FNG.L	RIBDO	PI	T	PC	Lc	PT	Ext.	COORDENADAS UTM		PC	S/R
										NORTE	ESTE		
1	D	64°30'31"	85	0+91280	53.433	0+96826	95.404	0+97460	15.400	827977.776	226205.234	7%	1.300
2	I	-12°04'51"	60	0+98820	108.427	0+92820	127.845	0+93330	63.921	827988.087	226203.870	8%	1.700
3	D	14°29'51"	30	0+99870	96.428	0+95870	76.150	0+95420	70.987	827990.703	226208.591	12%	2.900
4	I	-14°42'20"	30	0+97620	97.233	0+97780	76.292	0+97420	71.756	827993.411	226207.739	12%	2.900
5	D	34°32'21"	40	0+96430	67.980	0+96340	83.315	0+96360	38.375	827992.444	226204.957	10%	2.300
6	D	52°32'21"	60	0+95340	43.752	0+95340	41.268	0+95340	9.058	827993.428	226204.831	8%	1.700
7	I	-14°04'11"	40	0+94300	266.165	0+94400	93.146	0+94740	219.355	827993.873	226204.834	9%	2.300
8	D	57°48'29"	100	0+93210	55.211	0+93070	100.893	0+93164	14.229	827993.847	226204.401	6%	1.100
9	D	37°32'29"	120	0+92170	40.533	0+92020	78.179	0+92100	6.661	827993.606	226204.731	6%	1.000
10	I	-34°43'29"	100	0+91130	33.224	0+91020	64.154	0+91020	5.375	827993.267	226204.826	6%	1.100
11	I	-34°32'21"	100	0+90090	36.357	0+89980	69.743	0+89840	6.404	827993.009	226204.207	6%	1.100
12	D	62°32'21"	120	0+89050	69.713	0+88940	126.310	0+88940	16.780	827993.993	226204.488	6%	1.000

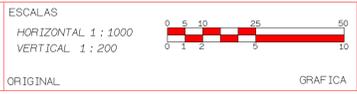
Istram V.22.11.11.03 EDUCACIONAL 2000



DIRECCION DE DESARROLLO

ISPOL

ESCALAS
 HORIZONTAL 1 : 1000
 VERTICAL 1 : 200
 ORIGINAL

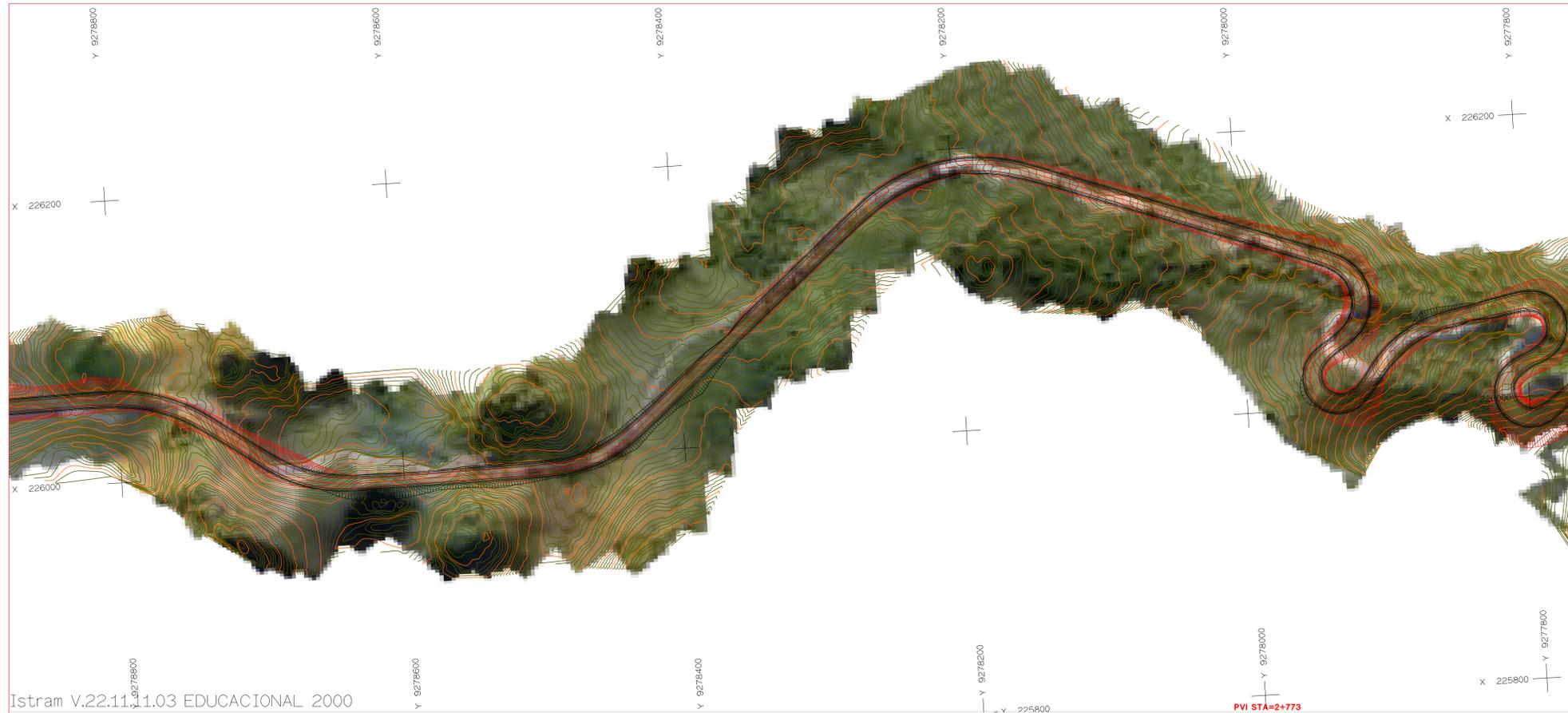


PROYECTO : AUTOPISTA DE AQUI A ALLI
 TRAMO : PRIMERO

NOMBRE PLANO : TESIS DE PREGRADO
 Autor: Manuel Fernandez
 Asesor: Fernando Campos

DIRECCION GENERAL DEL PROYECTO: EL UNO
 DIRECCION TECNICA DEL PROYECTO: EL OTRO

FECHA: 13/04/2023
 N.º: 2
 Hoja: ___ de ___



Istram V.22.11.1.03 EDUCACIONAL 2000



PENDIENTE	1.521%		8.007%	
	471 m.		446 m.	
COTA SUBRASANTE	1746.794	1748.827		
COTA TERRENO	1747.218	1749.435		
ALTURA CORTE				
ALTURA RELLENO	2.033	2.217	0.002	
ALINEAMIENTO	RECTA		RECTA	
KILOMETRAJE	2+000	2+100	2+200	2+300

CUADRO DE ELEMENTOS DE CURVA

NR	SENTIDO	FUNC.	RREGIO	PI	I	PC	Lc	PVI	EVI	COORDENADAS ULTA		PI	S/R
										NORTE	ESTE		
4	I	-10°45'31"	30	0+761.089	97.233	0+877.853	76.292	0+761.046	71.756	0278958.541	228900.788	12%	2.900
5	D	-10°30'31"	40	1+020.000	97.980	1+040.000	83.110	1+020.000	58.975	0278958.541	228900.788	15%	2.300
6	D	-10°30'31"	60	1+020.000	43.752	1+020.000	41.268	1+020.000	9.088	0278958.541	228900.788	8%	1.700
7	I	-10°45'31"	40	1+020.000	266.165	1+020.000	93.146	1+020.000	218.355	0278958.541	228900.788	9%	2.300
8	D	0°45'31"	100	1+020.000	55.211	1+020.000	100.893	1+020.000	14.229	0278958.541	228900.788	6%	1.100
9	D	3°10'31"	120	1+020.000	40.533	1+020.000	78.179	1+020.000	6.661	0278958.541	228900.788	5%	1.000
10	I	-10°45'31"	100	1+747.883	33.224	1+747.883	64.154	1+747.883	5.375	0278958.541	228900.788	6%	1.100
11	I	-10°30'31"	100	1+020.000	36.357	1+020.000	69.743	1+020.000	6.404	0278958.541	228900.788	6%	1.100
12	D	0°30'31"	50	2+773.354	69.713	2+773.354	52.310	2+773.354	18.780	0278958.541	228900.788	5%	1.000
13	D	-10°30'31"	30	2+781.161	75.517	2+781.161	48.079	2+781.161	27.127	0278958.541	228900.788	9%	2.900
14	I	-10°45'31"	20	2+803.283	64.763	2+803.283	51.492	2+803.283	29.566	0278958.541	228900.788	9%	2.700
15	D	0°45'31"	20	2+773.354	42.177	2+773.354	41.051	2+773.354	6.424	0278958.541	228900.788	7%	1.300
16	D	0°30'31"	80	3+103.337	258.580	3+103.337	39.490	3+103.337	180.090	0278958.541	228900.788	10%	2.700
17	I	-10°45'31"	20	3+083.369	106.576	3+083.369	49.908	3+083.369	42.749	0278958.541	228900.788	9%	2.700
18	D	-10°45'31"	30	3+083.369	107.279	3+083.369	77.887	3+083.369	81.395	0278958.541	228900.788	12%	2.900

Istram V.22.11.1.03 EDUCACIONAL 2000



ASTURIAS

DIRECCION DE DESARROLLO



ESCALAS
HORIZONTAL 1 : 1000
VERTICAL 1 : 200

PROYECTO : AUTOPISTA DE AQUI A ALLI
TRAMO : PRIMERO

NOMBRE PLANO : **TESIS DE PREGRADO**
Autor: Manuel Fernandez
Asesor: Fernando Campos

DIRECCION GENERAL DEL PROYECTO: EL UNO
DIRECCION TECNICA DEL PROYECTO: EL OTRO
FECHA: 13/04/2023
Nº: 3
Hoja ___ de ___



Istram V.22.11.11.03 EDUCACIONAL 2000



PENDIENTE	6.838%						
	462 m.						
COTA SUBRASANTE	1808.438	1811.173	1813.308	1816.643	1819.378	1822.113	1824.848
COTA TERRENO	1808.098	1811.173	1813.522	1816.643	1819.378	1822.113	1824.848
ALTURA CORTE	0.340	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
ALTURA RELLENO	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
ALINEAMIENTO	RECTA R=30 PI-N 18 RECTA						
KILOMETRAJE	3+000	3+020	3+040	3+060	3+080	3+100	3+120
	3+140	3+160	3+180	3+200	3+220	3+240	3+260

CUADRO DE ELEMENTOS DE CURVA

Nº	SENTIDO	FUNC.	RADIO	PI	T	PC	Lc	PT	Ext	COORDENADAS UTM	PI	S-RI	
										NORTE	ESTE		
9	D	30°30'30"	120	14828.716	40.533	14828.716	78.179	14828.716	6.661	227672.806	228000.791	5% 1.000	
10	I	-30°30'30"	100	14747.883	33.224	14747.883	64.154	14747.883	5.375	227668.287	228000.808	6% 1.100	
11	I	-30°30'30"	100	14855.660	36.357	14855.660	69.743	14855.660	6.404	227668.287	228000.807	6% 1.100	
12	D	60°30'30"	120	24723.584	69.713	24723.584	126.310	24723.584	18.780	227671.889	228004.488	5% 1.000	
13	D	30°30'30"	30	24726.110	75.517	24726.110	48.079	24726.110	27.127	227671.889	228004.397	9% 2.900	
14	I	-30°30'30"	20	24803.282	84.763	24803.282	51.492	24803.282	29.559	227665.487	228007.085	9% 2.700	
15	D	40°30'30"	80	24772.442	42.177	24772.442	41.051	24772.442	4.424	227672.284	228000.443	7% 1.300	
16	D	30°30'30"	20	24803.282	258.580	24803.282	39.490	24803.282	180.090	227668.087	228008.888	10% 2.700	
17	I	-30°30'30"	20	24803.282	106.576	24803.282	49.808	24803.282	42.749	227668.087	228004.482	9% 2.700	
18	D	30°30'30"	30	24803.282	107.279	24803.282	77.887	24803.282	81.395	227667.387	228004.484	12% 2.900	

Istram V.22.11.11.03 EDUCACIONAL 2000



DIRECCION DE DESARROLLO

ISPOL

ESCALAS
 HORIZONTAL 1 : 1000
 VERTICAL 1 : 200
 ORIGINAL GRAFICA

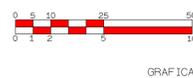
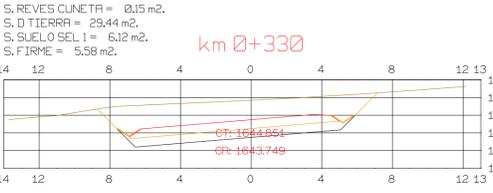
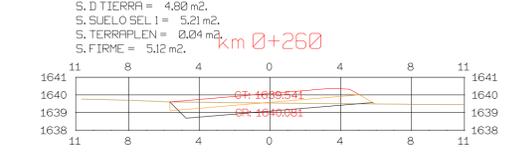
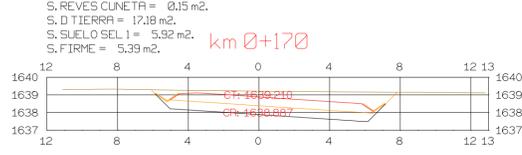
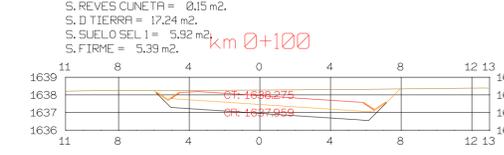
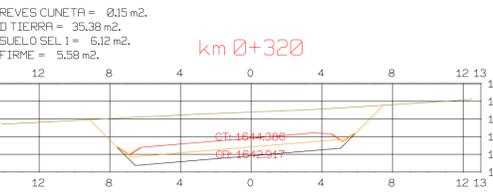
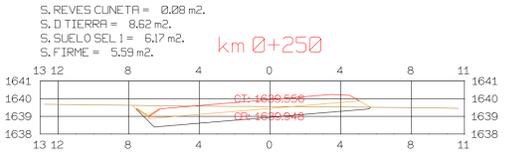
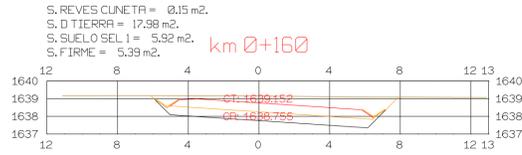
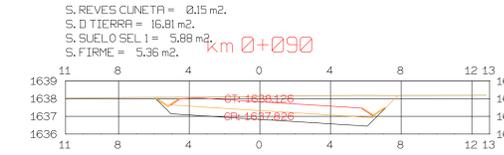
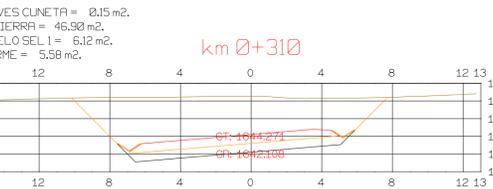
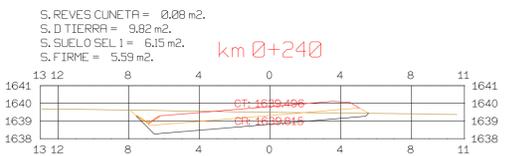
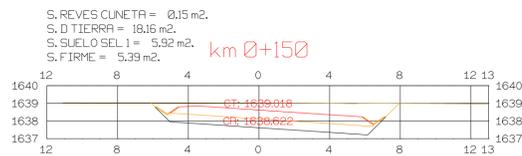
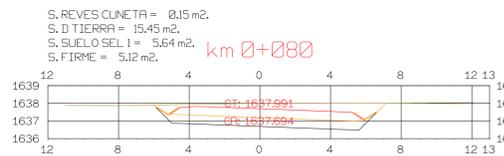
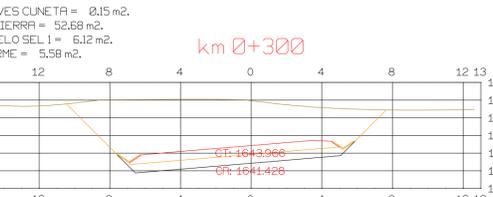
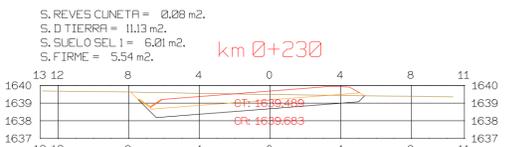
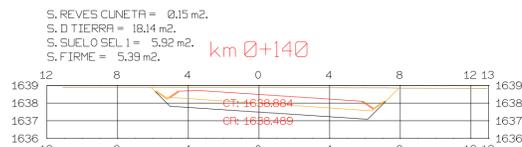
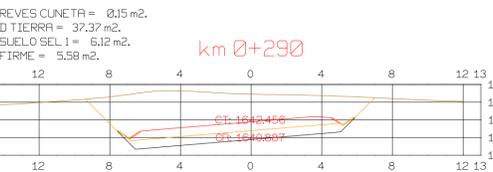
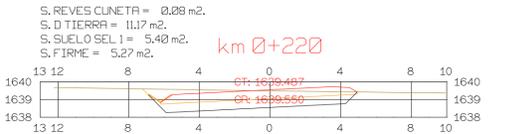
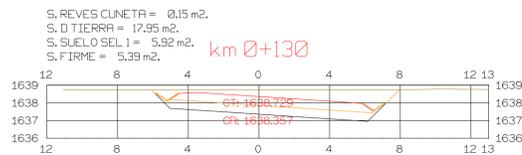
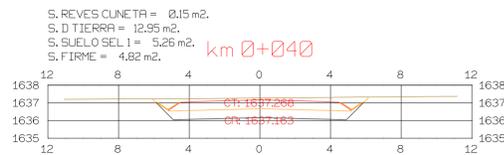
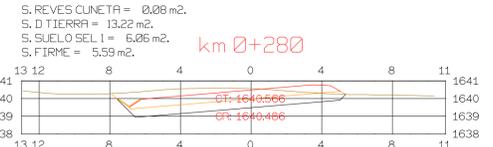
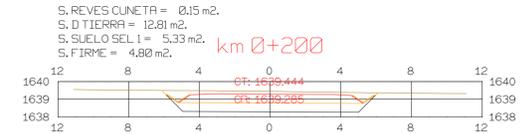
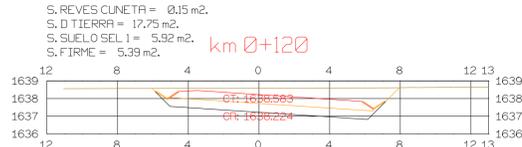
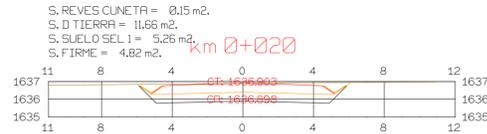
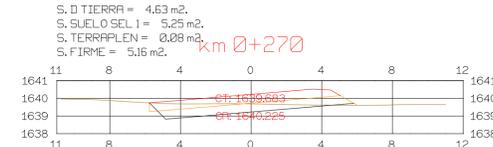
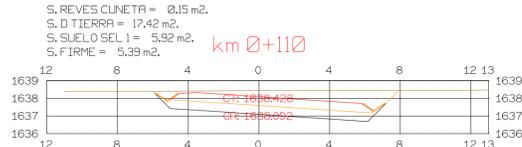
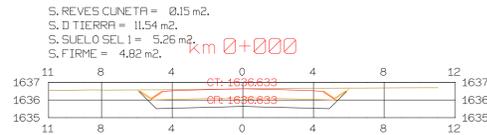
PROYECTO : AUTOPISTA DE AQUI A ALLI
 TRAMO : PRIMERO

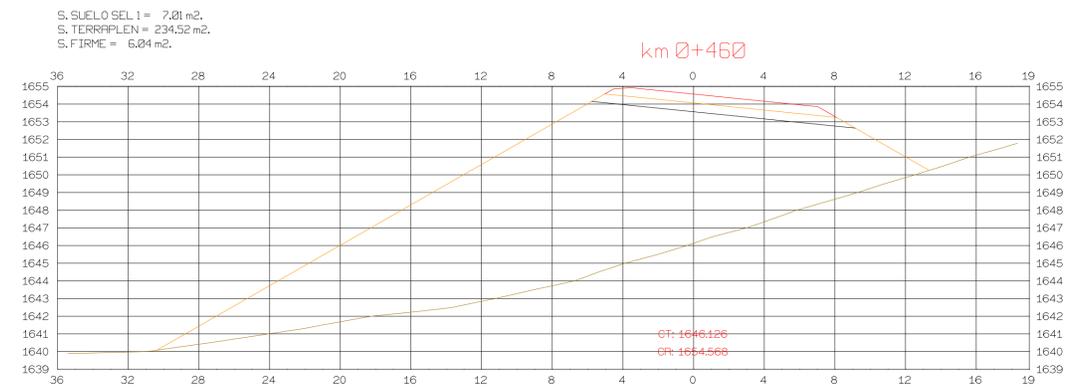
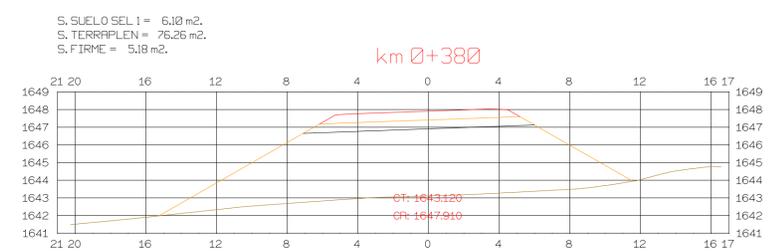
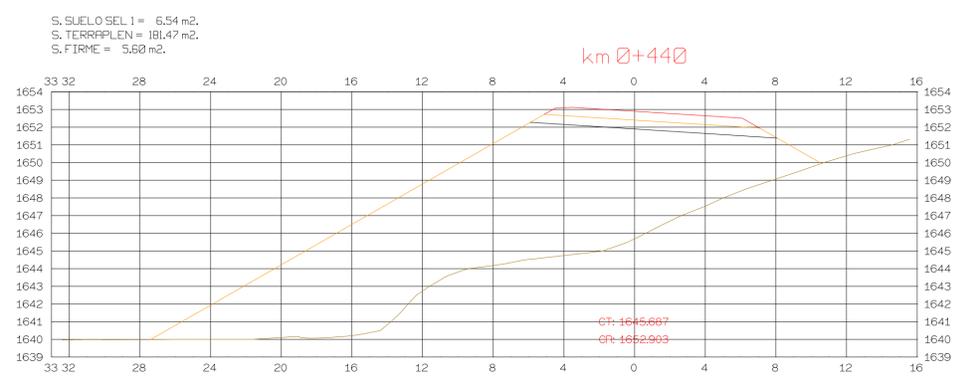
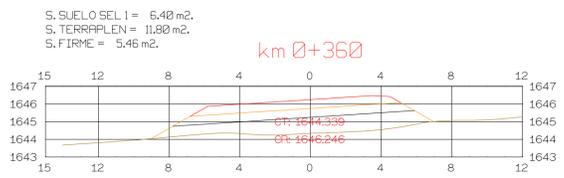
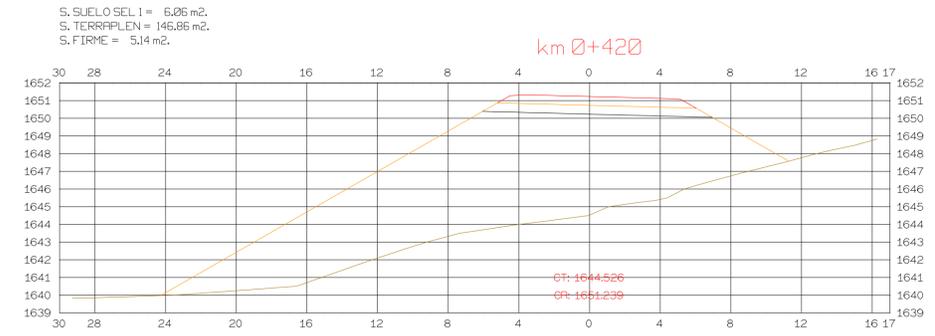
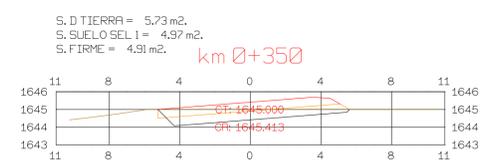
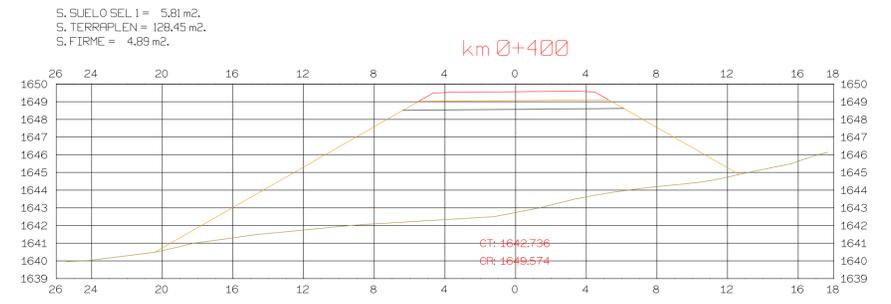
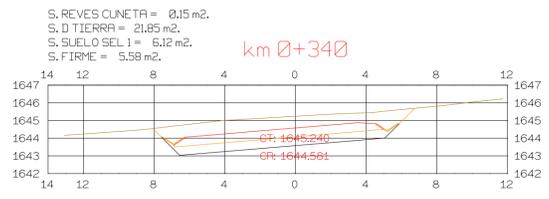
NOMBRE PLANO : **TESIS DE PREGRADO**
 Autor: Manuel Fernandez
 Asesor: Fernando Campos

DIRECCION GENERAL DEL PROYECTO
 EL UNO

DIRECCION TECNICA DEL PROYECTO
 EL OTRO

FECHA 13/04/2023
 Numero 4
 Hoja ___ de ___





Istram V.22.11.11.03 EDUCACIONAL 2000



DIRECCION GENERAL DEL PROYECTO

DIRECCION TECNICA DEL PROYECTO

ISPOL

ESCALAS
 HORIZONTAL 1 : 1000
 VERTICAL 1 : 200

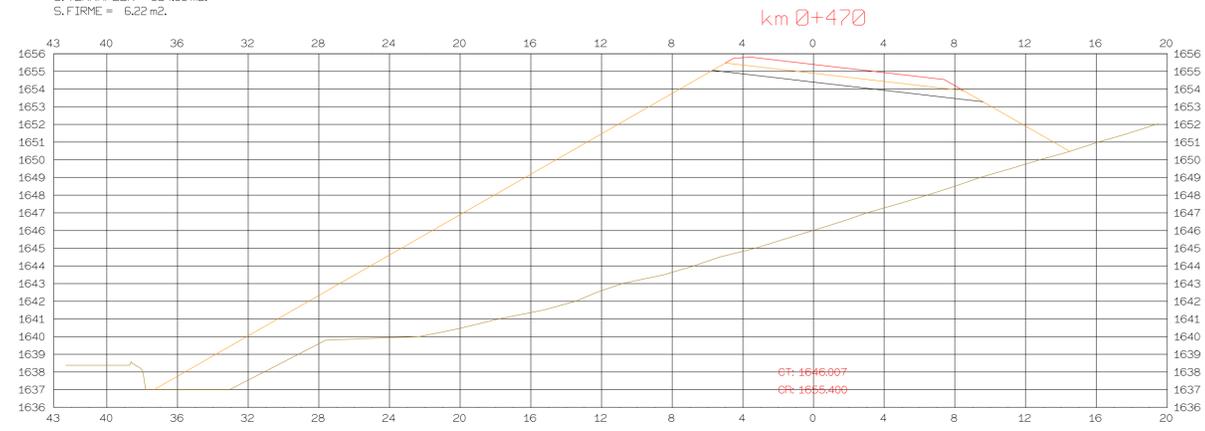
ORIGINAL GRAFICA

PROYECTO : AUTOPISTA DE AQUI A ALLI
 TRAMO : PRIMERO

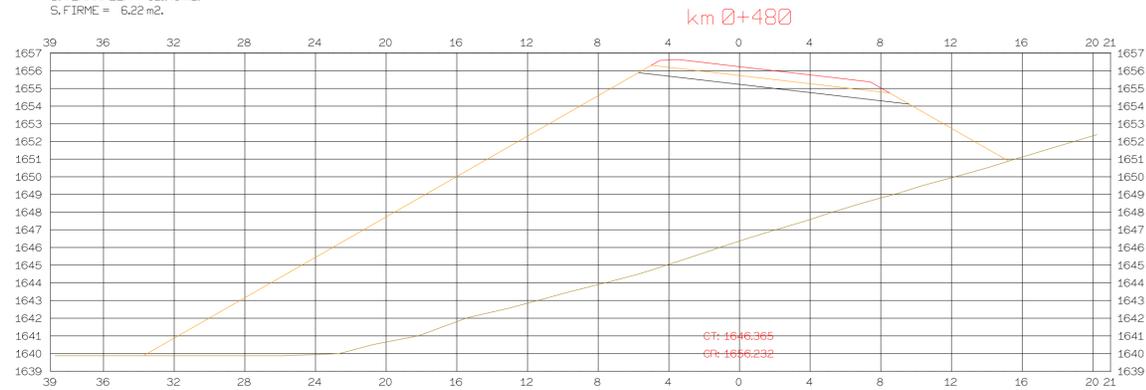
NOMBRE PLANO : TESIS DE PREGRADO
 Autor: Manuel Fernandez
 Asesor: Fernando Campos

DIRECCION GENERAL DEL PROYECTO: EL UNO
 DIRECCION TECNICA DEL PROYECTO: EL OTRO
 FECHA: 13/04/2023
 Numero: 6
 Hoja: 06

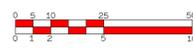
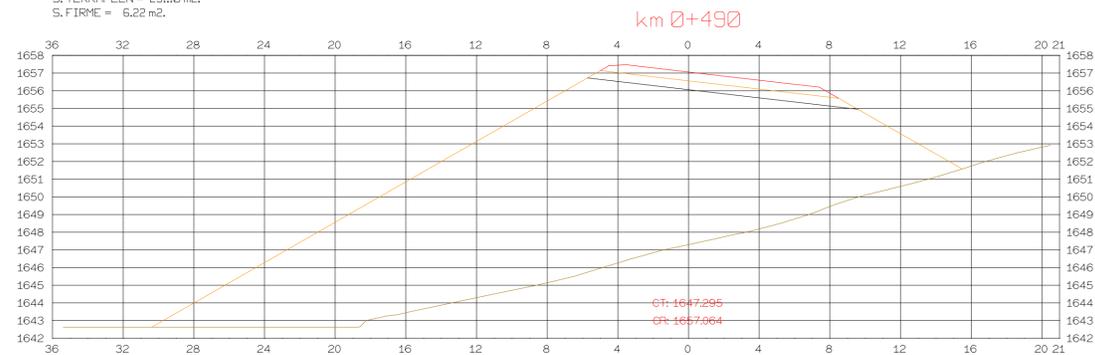
S. SUELO SEL 1 = 7,20 m².
 S. TERRAPLEN = 304,88 m².
 S. FIRME = 6,22 m².



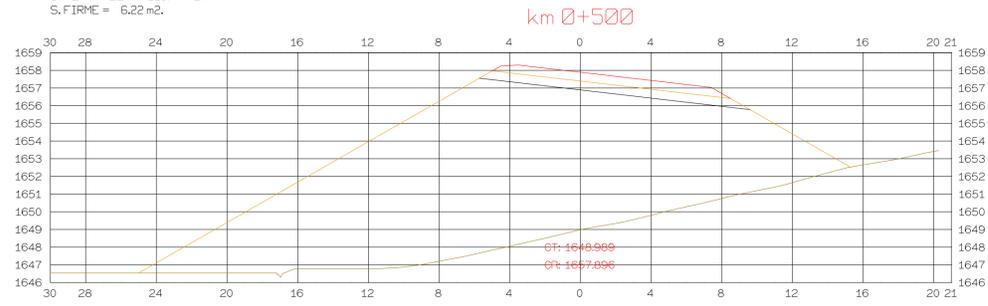
S. SUELO SEL 1 = 7,20 m².
 S. TERRAPLEN = 321,48 m².
 S. FIRME = 6,22 m².



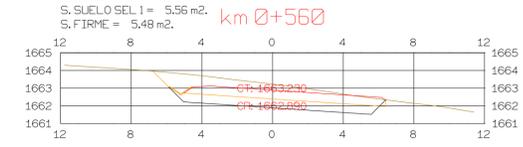
S. SUELO SEL 1 = 7,20 m².
 S. TERRAPLEN = 291,10 m².
 S. FIRME = 6,22 m².



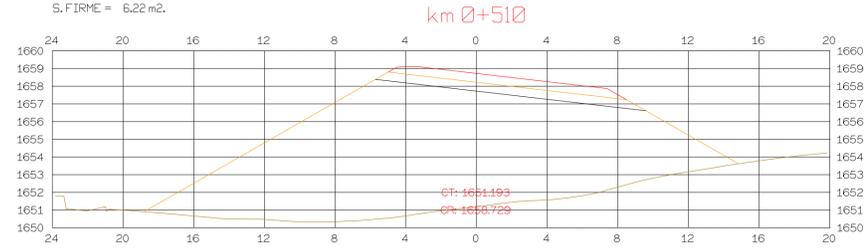
S. SUELO SEL 1 = 7,20 m².
 S. TERRAPLEN = 226,74 m².
 S. FIRME = 6,22 m².



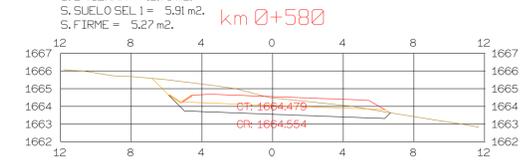
S. REVES CUNETTA = 0,08 m².
 S. D TIERRA = 15,50 m².
 S. SUELO SEL 1 = 5,56 m².
 S. FIRME = 5,48 m².



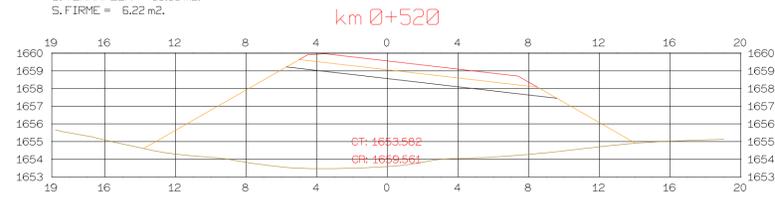
S. SUELO SEL 1 = 7,20 m².
 S. TERRAPLEN = 157,29 m².
 S. FIRME = 6,22 m².



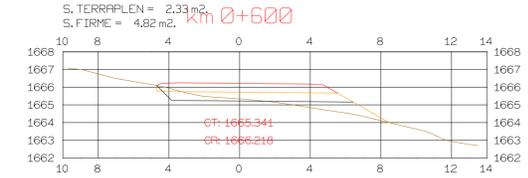
S. REVES CUNETTA = 0,08 m².
 S. D TIERRA = 12,73 m².
 S. SUELO SEL 1 = 5,91 m².
 S. FIRME = 5,27 m².



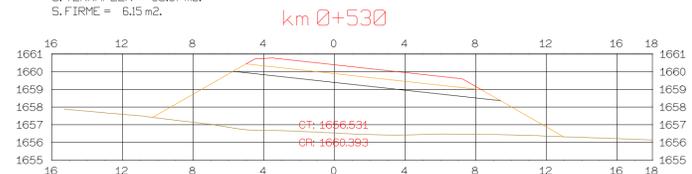
S. SUELO SEL 1 = 7,20 m².
 S. TERRAPLEN = 98,65 m².
 S. FIRME = 6,22 m².



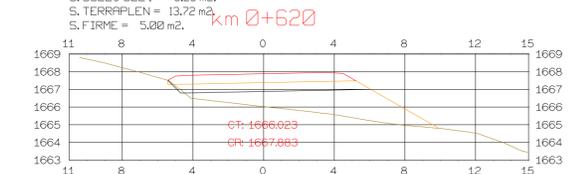
S. D TIERRA = 1,53 m².
 S. SUELO SEL 1 = 5,04 m².
 S. TERRAPLEN = 2,33 m².
 S. FIRME = 4,82 m².



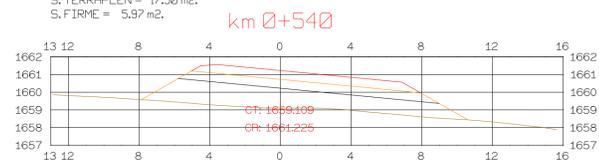
S. SUELO SEL 1 = 7,12 m².
 S. TERRAPLEN = 50,97 m².
 S. FIRME = 6,15 m².



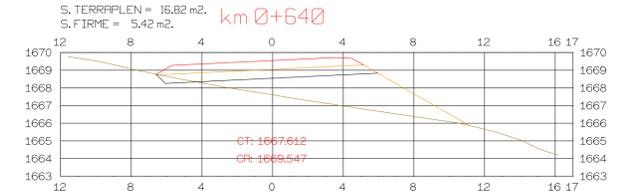
S. D TIERRA = 0,09 m².
 S. SUELO SEL 1 = 5,29 m².
 S. TERRAPLEN = 13,72 m².
 S. FIRME = 5,00 m².

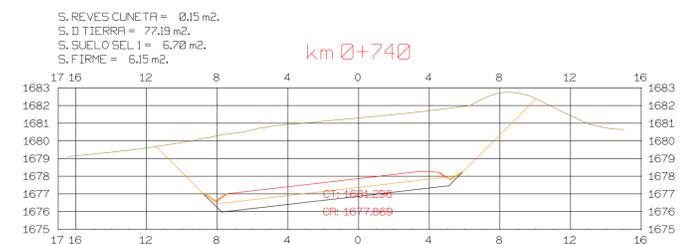
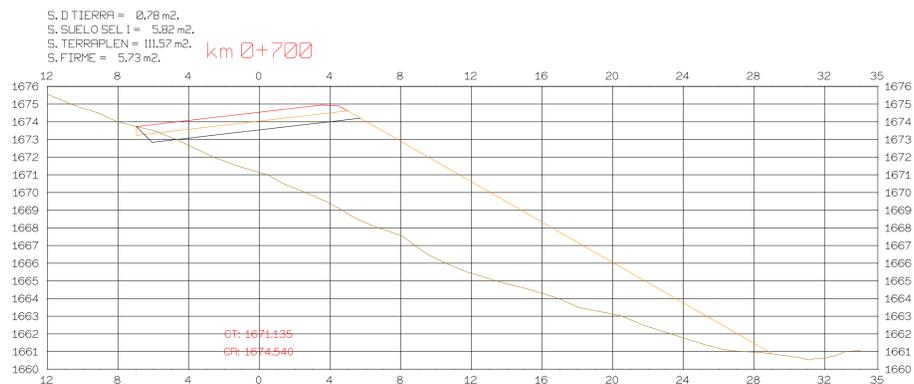
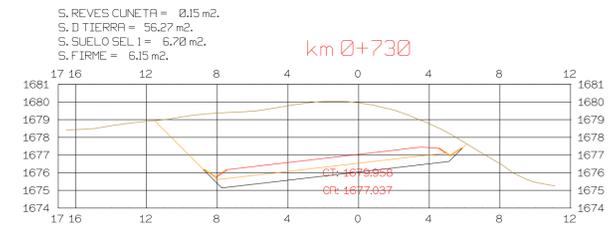
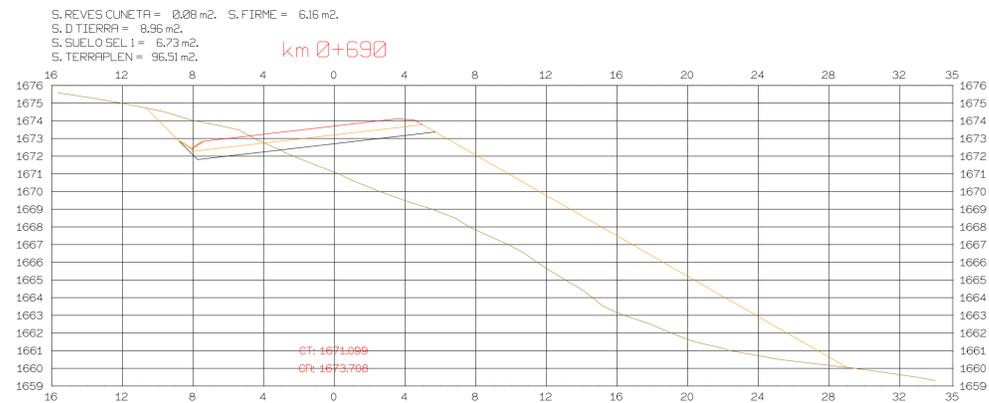
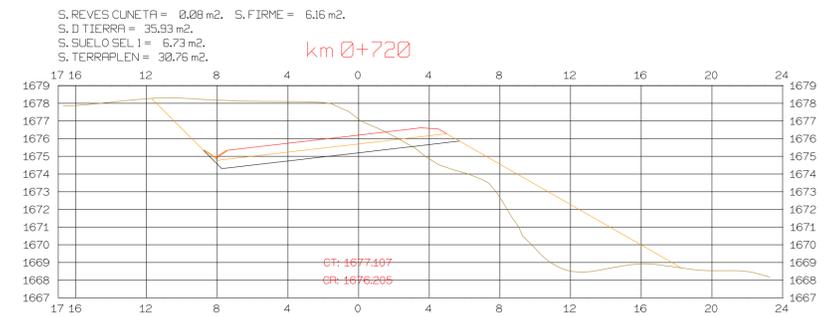
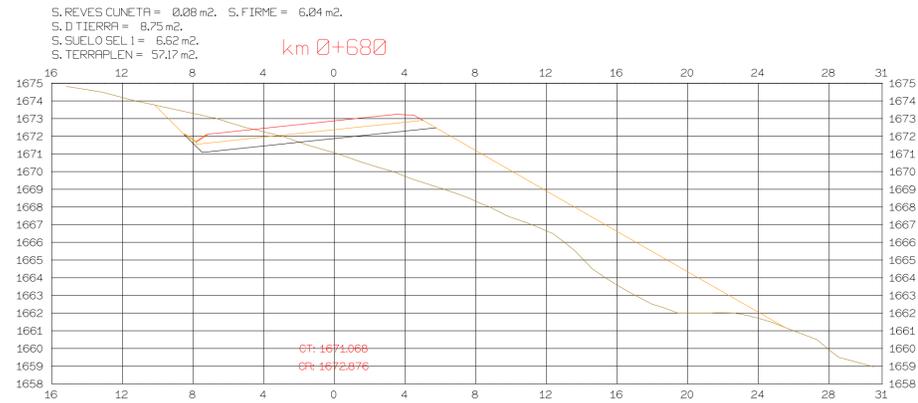
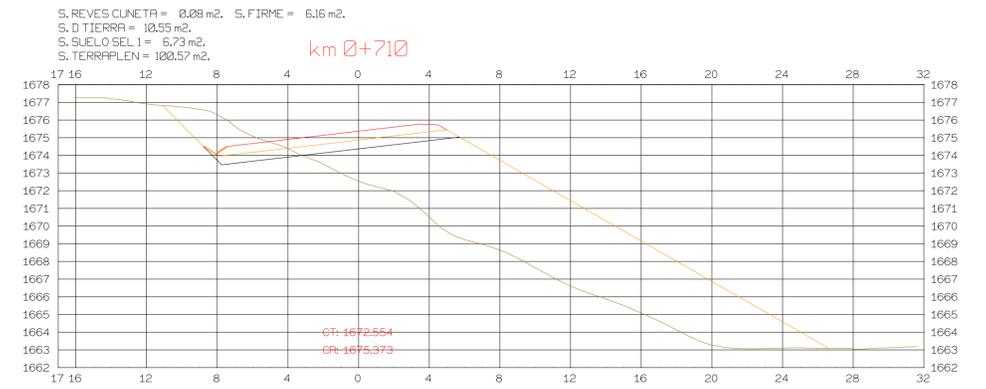
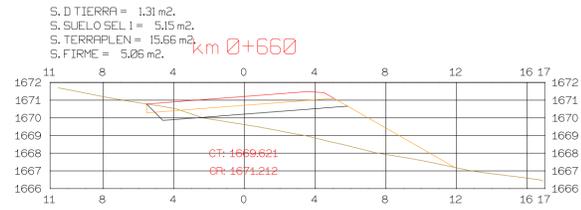


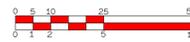
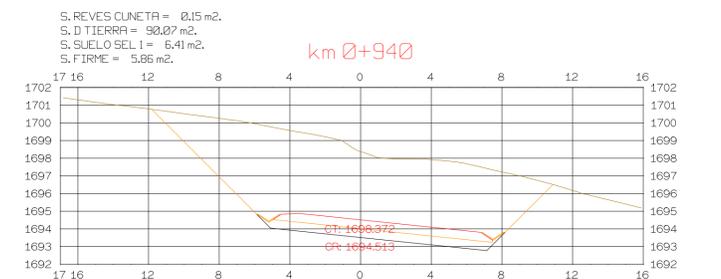
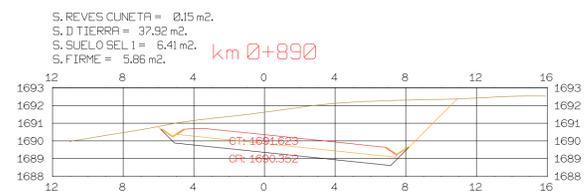
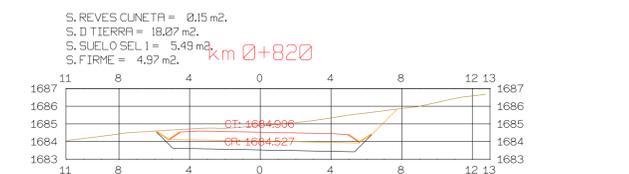
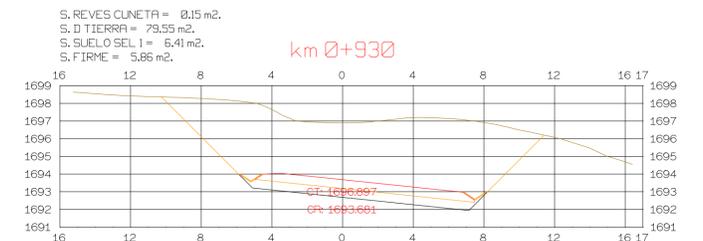
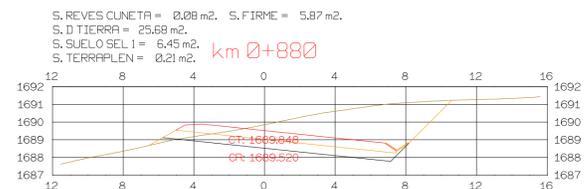
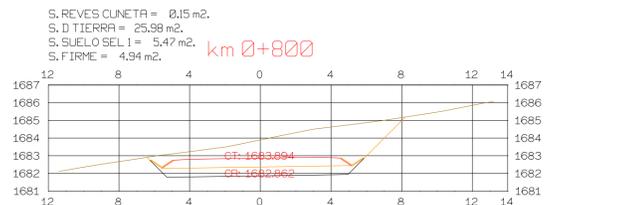
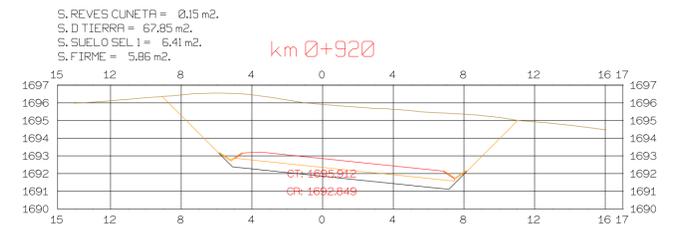
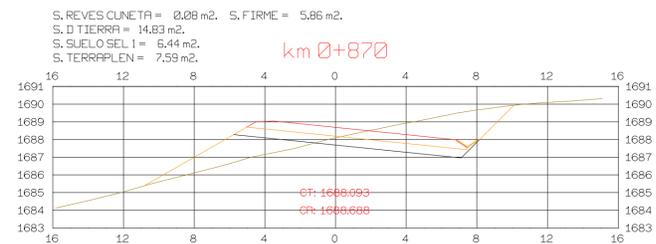
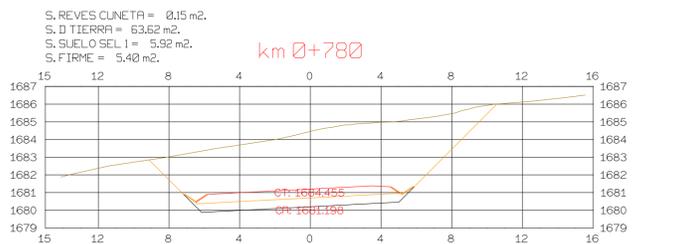
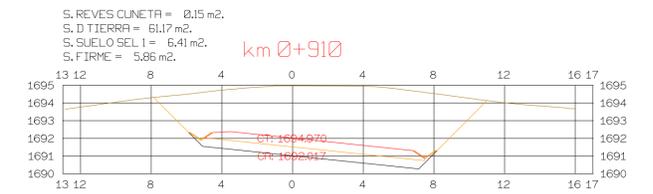
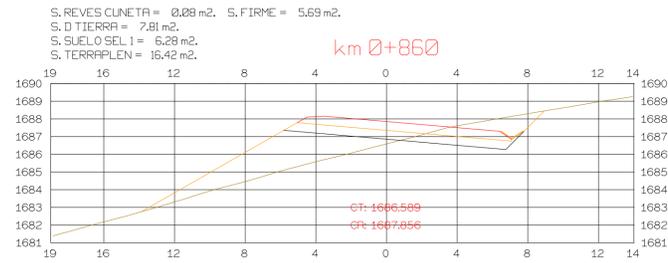
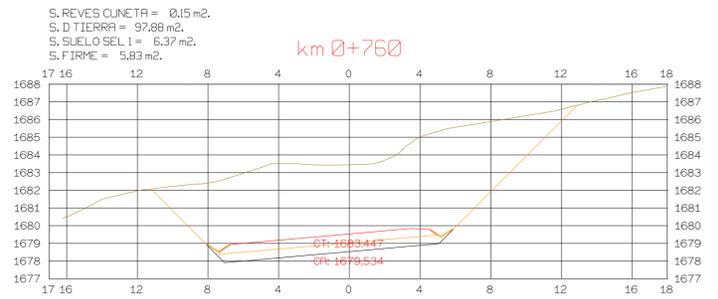
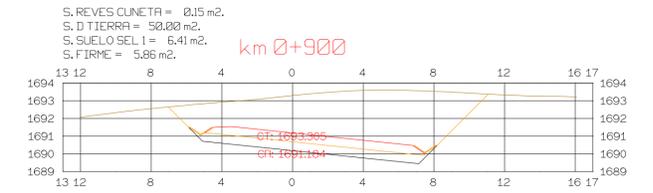
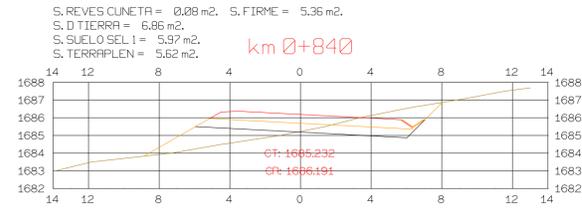
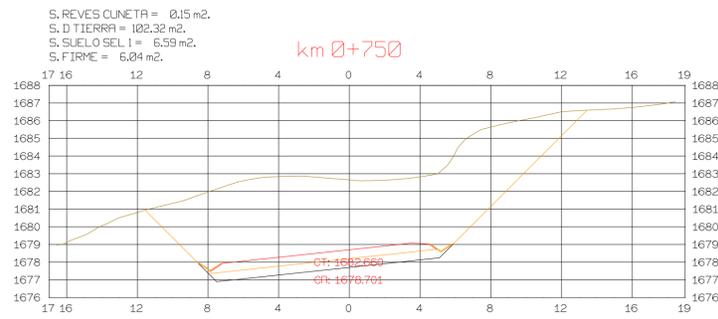
S. SUELO SEL 1 = 6,93 m².
 S. TERRAPLEN = 17,50 m².
 S. FIRME = 5,97 m².



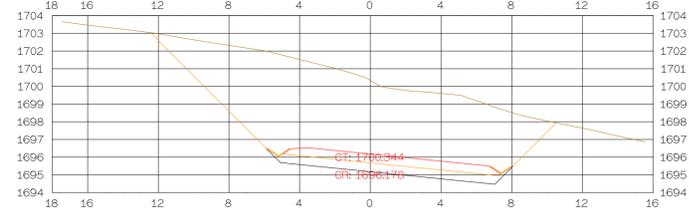
S. D TIERRA = 0,45 m².
 S. SUELO SEL 1 = 5,93 m².
 S. TERRAPLEN = 16,82 m².
 S. FIRME = 5,42 m².



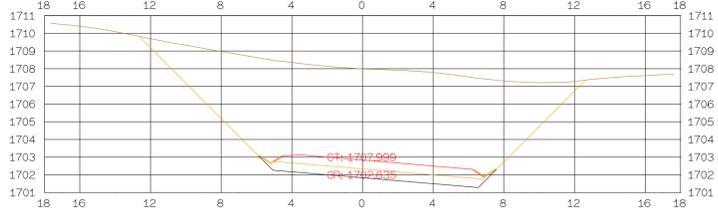




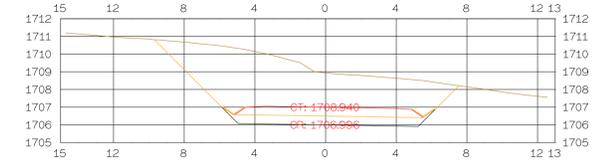
S. REVES CUNETAS = 0,15 m².
 S. D TIERRA = 92,85 m².
 S. SUELO SEL 1 = 6,36 m².
 S. FIRME = 5,81 m².



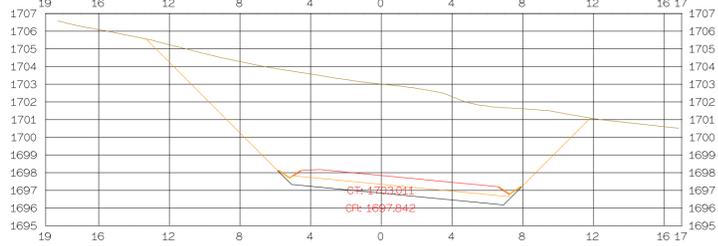
S. REVES CUNETAS = 0,15 m².
 S. D TIERRA = 113,50 m².
 S. SUELO SEL 1 = 6,12 m².
 S. FIRME = 5,58 m².



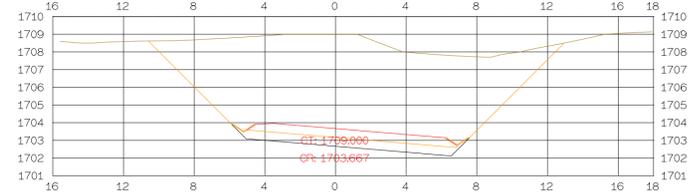
S. REVES CUNETAS = 0,15 m².
 S. D TIERRA = 46,10 m².
 S. SUELO SEL 1 = 5,45 m².
 S. FIRME = 4,92 m².



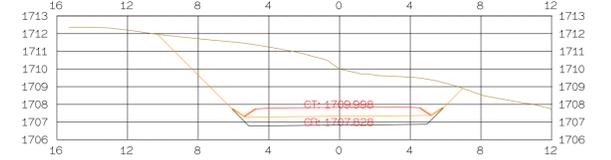
S. REVES CUNETAS = 0,15 m².
 S. D TIERRA = 112,21 m².
 S. SUELO SEL 1 = 6,30 m².
 S. FIRME = 5,75 m².



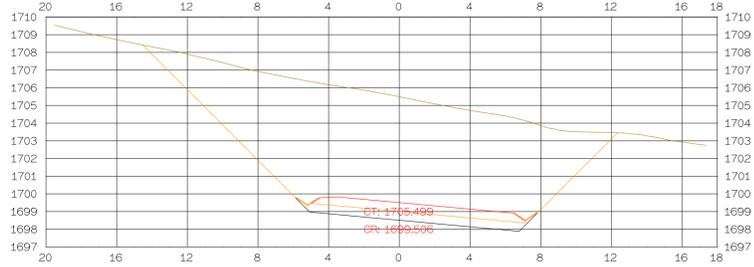
S. REVES CUNETAS = 0,15 m².
 S. D TIERRA = 102,56 m².
 S. SUELO SEL 1 = 6,12 m².
 S. FIRME = 5,58 m².



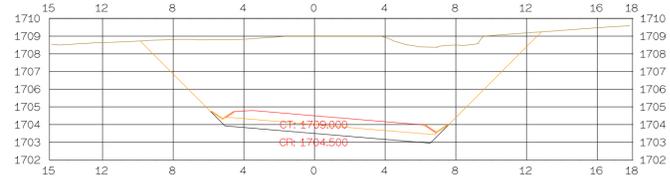
S. REVES CUNETAS = 0,15 m².
 S. D TIERRA = 49,62 m².
 S. SUELO SEL 1 = 5,39 m².
 S. FIRME = 4,86 m².



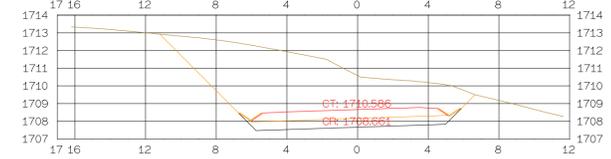
S. REVES CUNETAS = 0,15 m².
 S. D TIERRA = 133,16 m².
 S. SUELO SEL 1 = 6,23 m².
 S. FIRME = 5,69 m².



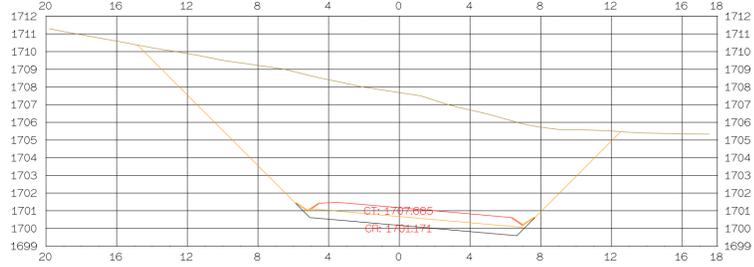
S. REVES CUNETAS = 0,15 m².
 S. D TIERRA = 92,09 m².
 S. SUELO SEL 1 = 6,12 m².
 S. FIRME = 5,58 m².



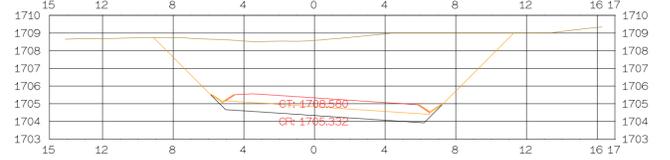
S. REVES CUNETAS = 0,15 m².
 S. D TIERRA = 51,29 m².
 S. SUELO SEL 1 = 5,70 m².
 S. FIRME = 5,18 m².



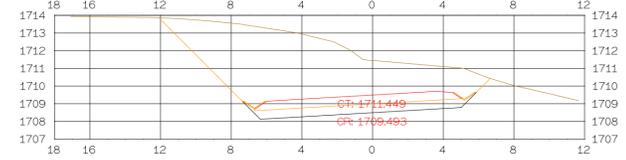
S. REVES CUNETAS = 0,15 m².
 S. D TIERRA = 143,51 m².
 S. SUELO SEL 1 = 6,17 m².
 S. FIRME = 5,62 m².



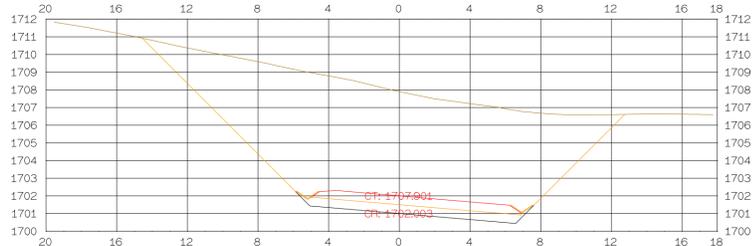
S. REVES CUNETAS = 0,15 m².
 S. D TIERRA = 70,66 m².
 S. SUELO SEL 1 = 5,94 m².
 S. FIRME = 5,42 m².



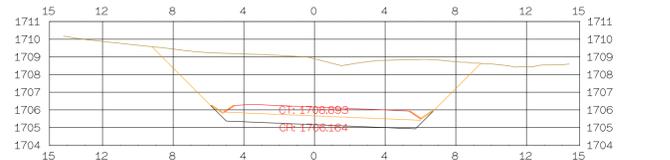
S. REVES CUNETAS = 0,15 m².
 S. D TIERRA = 57,39 m².
 S. SUELO SEL 1 = 6,02 m².
 S. FIRME = 5,50 m².



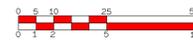
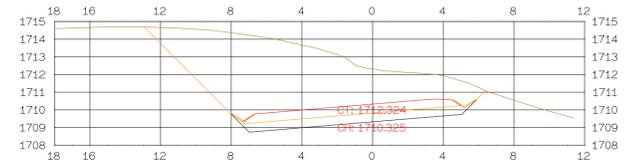
S. REVES CUNETAS = 0,15 m².
 S. D TIERRA = 135,19 m².
 S. SUELO SEL 1 = 6,13 m².
 S. FIRME = 5,59 m².

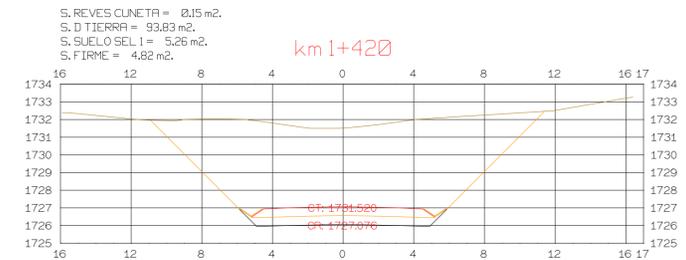
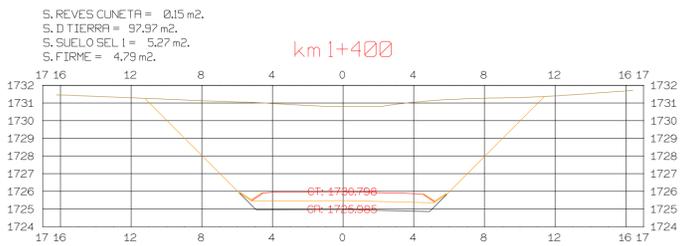
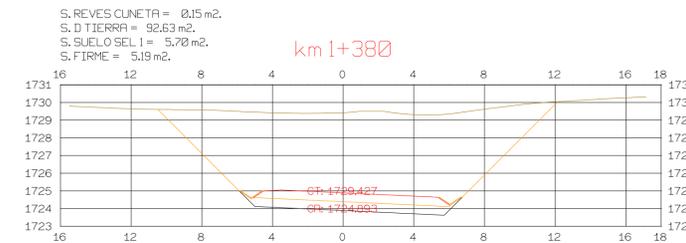
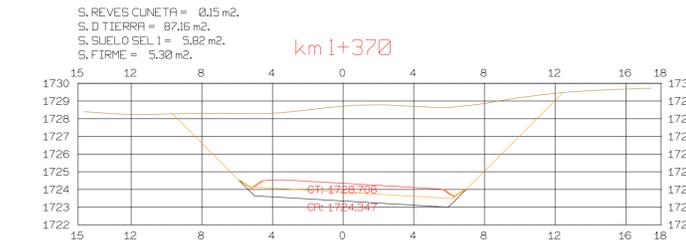
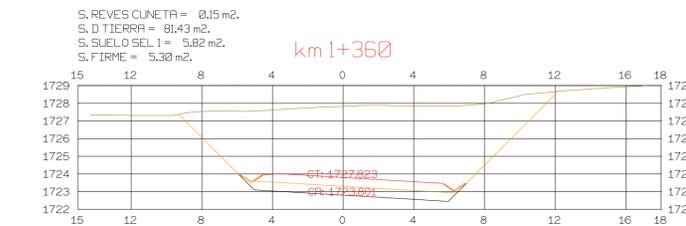
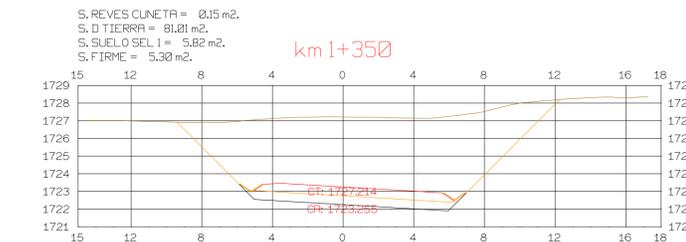
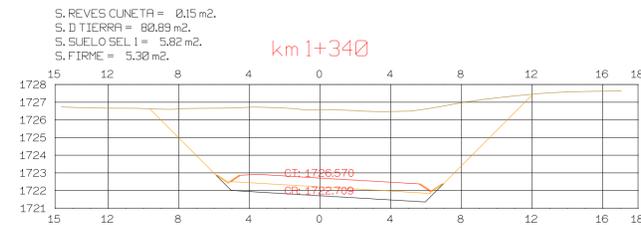
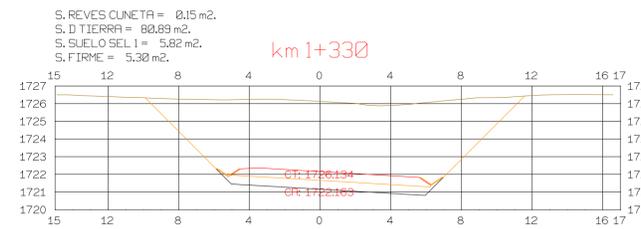
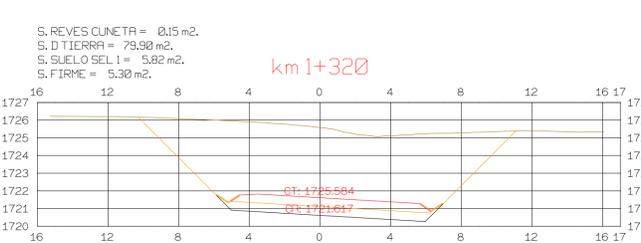
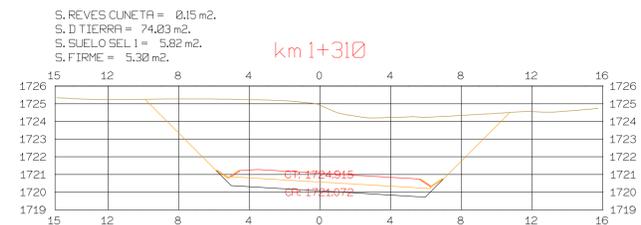
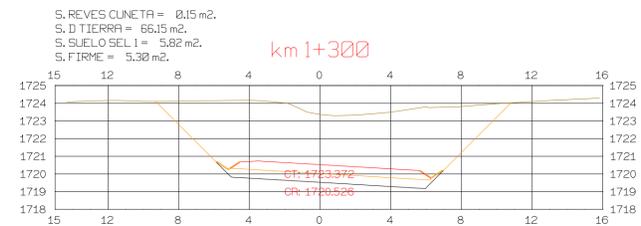
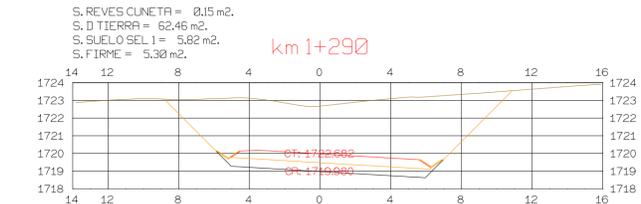
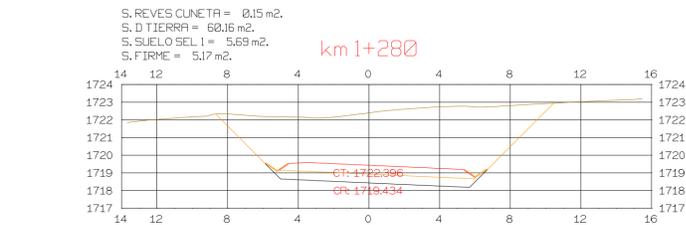
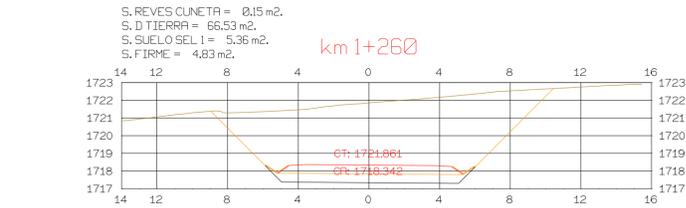
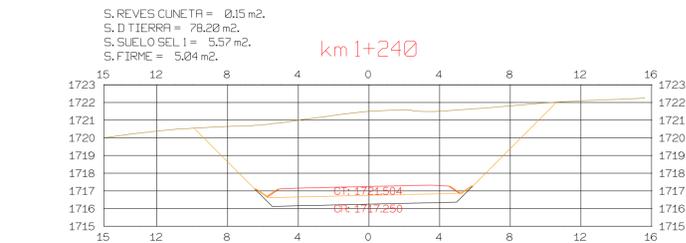
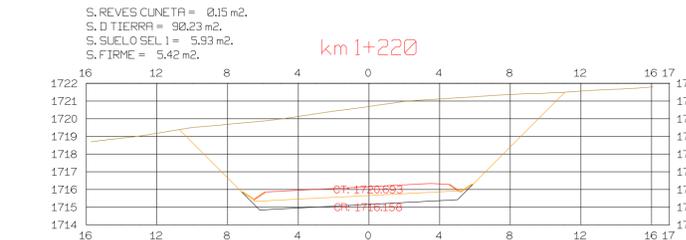
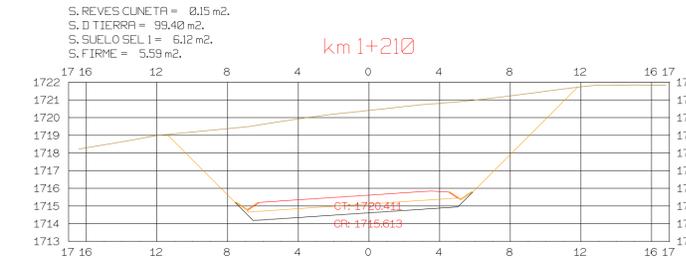
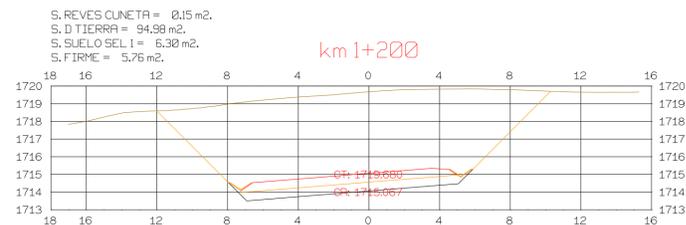
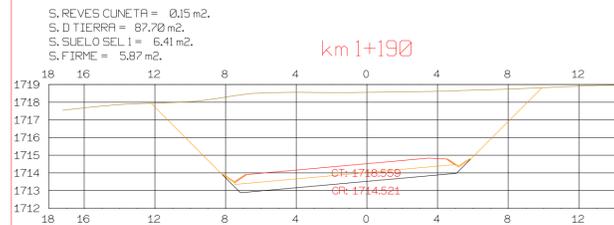
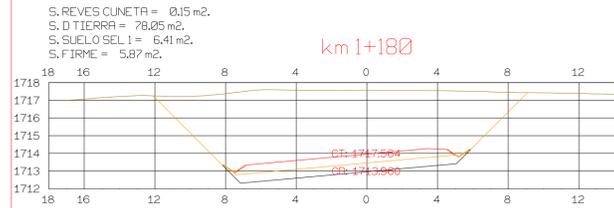
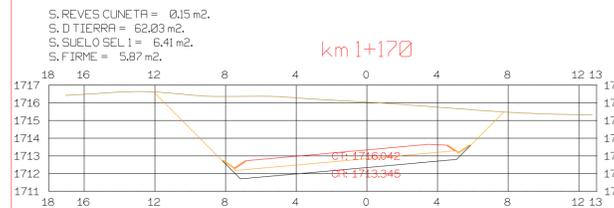
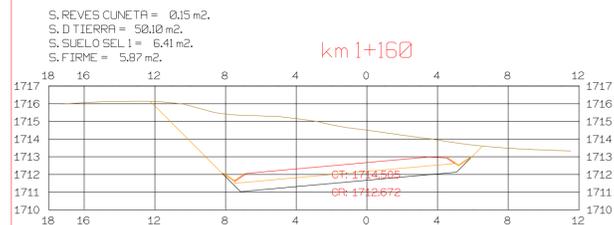
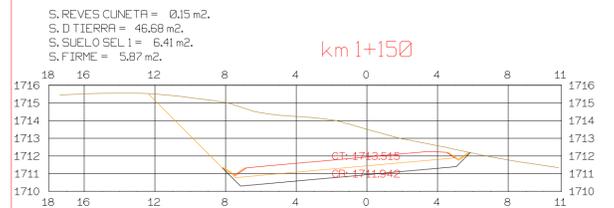
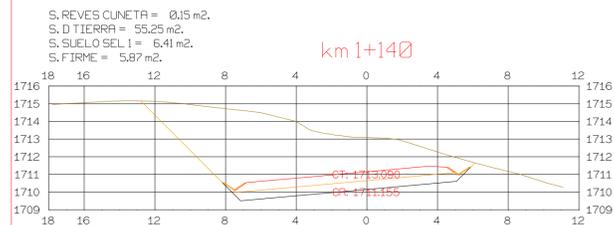


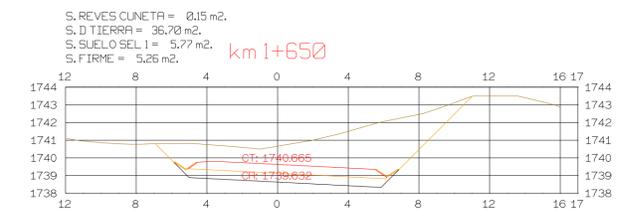
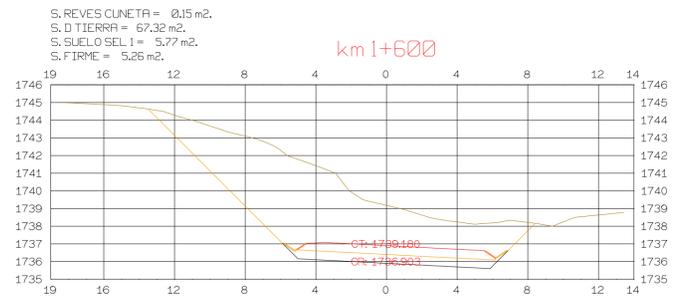
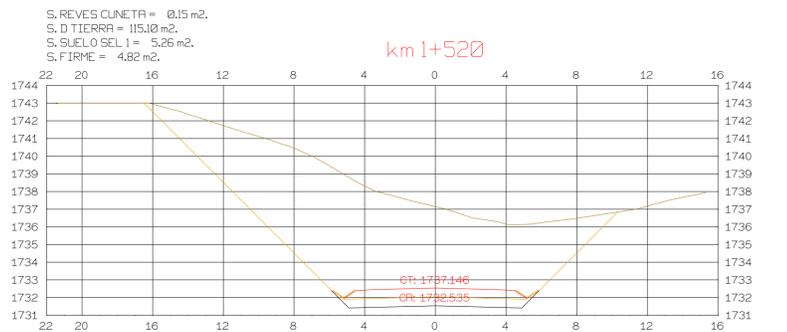
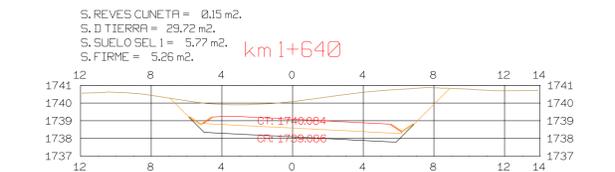
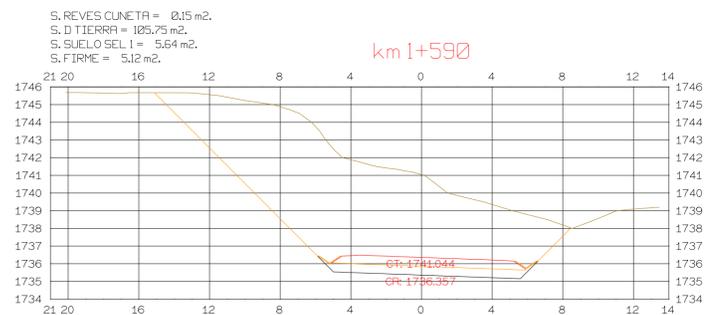
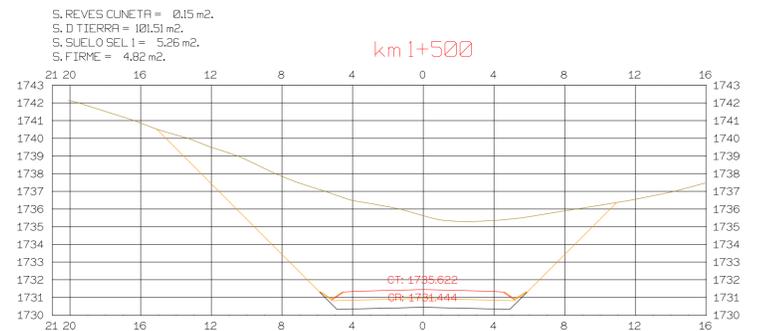
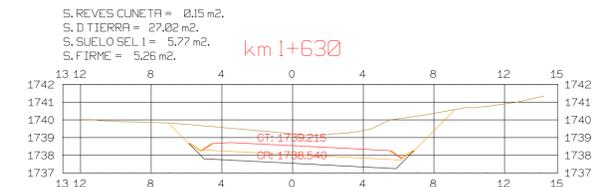
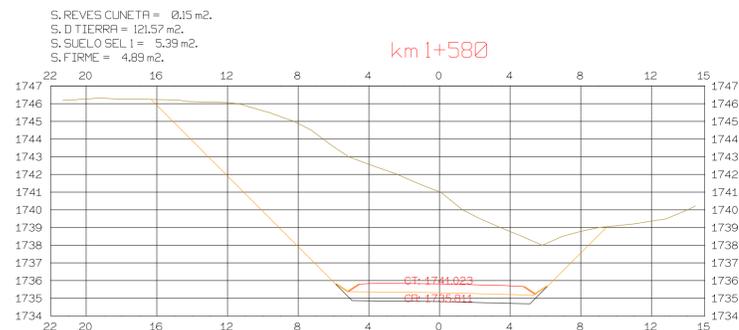
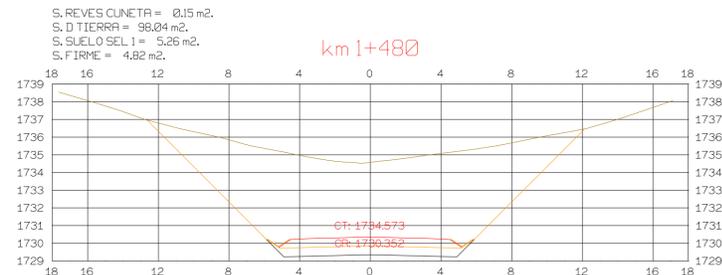
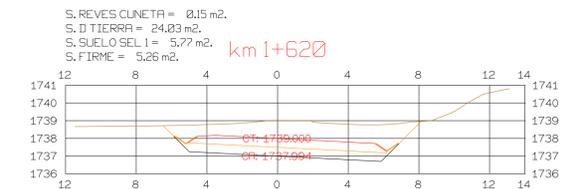
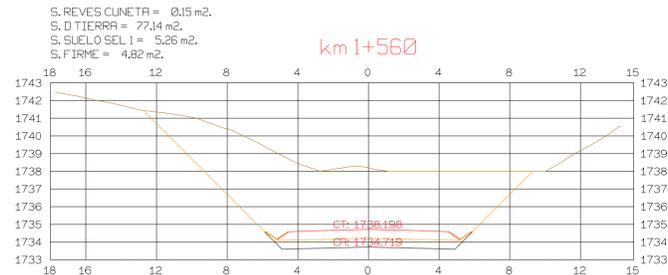
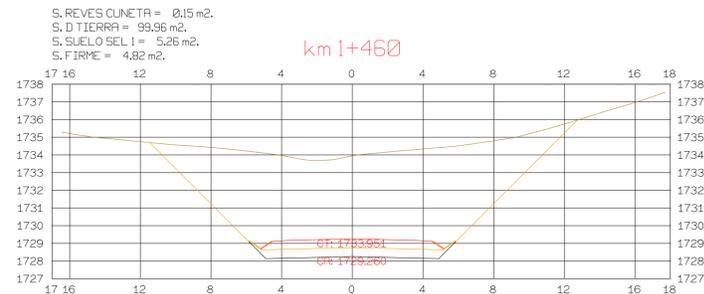
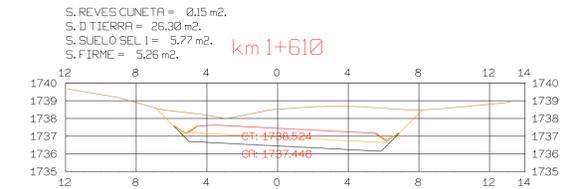
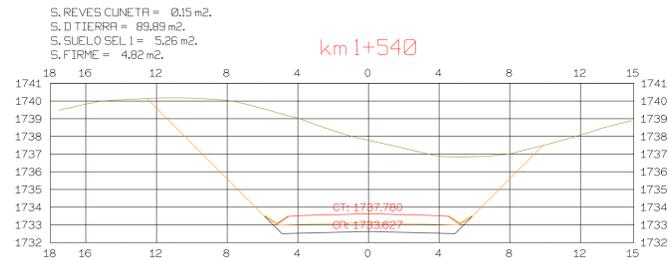
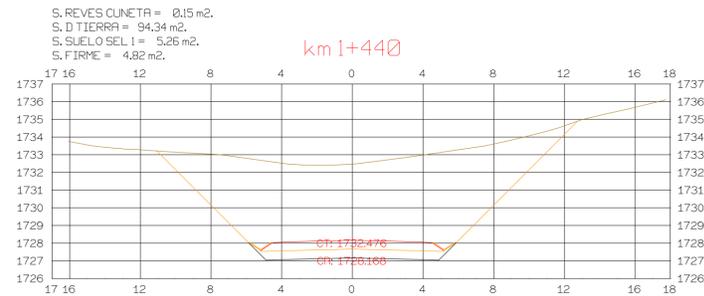
S. REVES CUNETAS = 0,15 m².
 S. D TIERRA = 55,45 m².
 S. SUELO SEL 1 = 5,70 m².
 S. FIRME = 5,18 m².

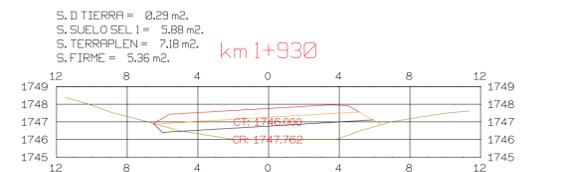
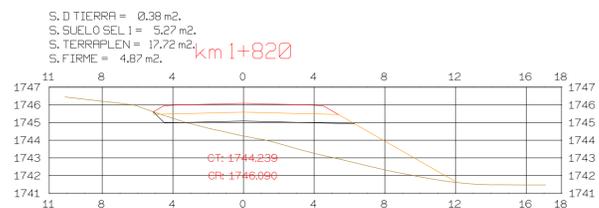
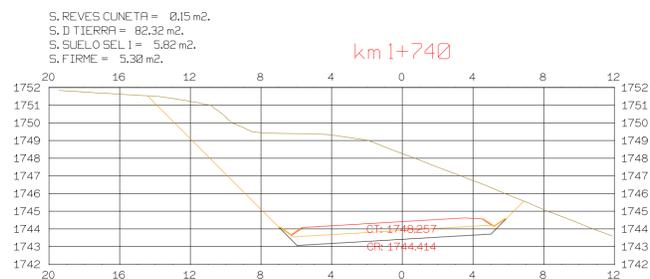
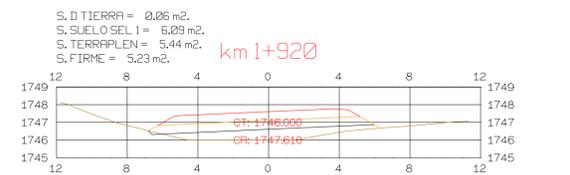
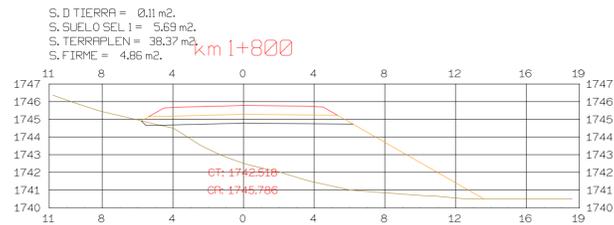
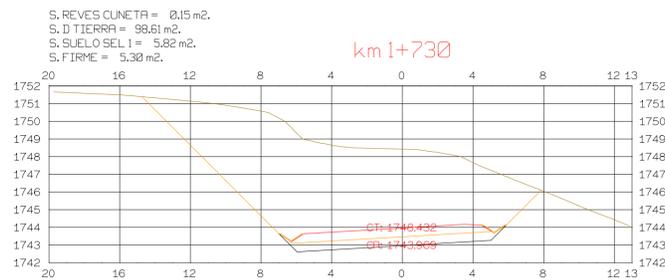
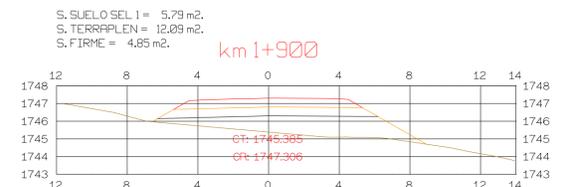
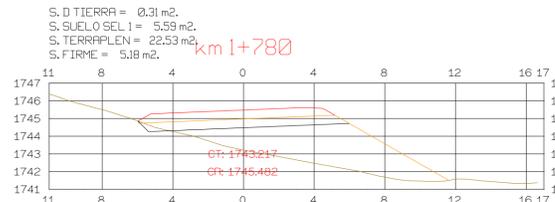
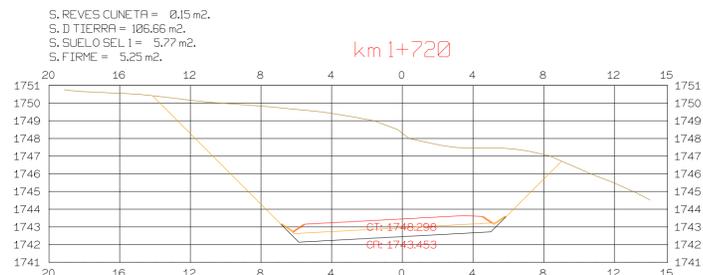
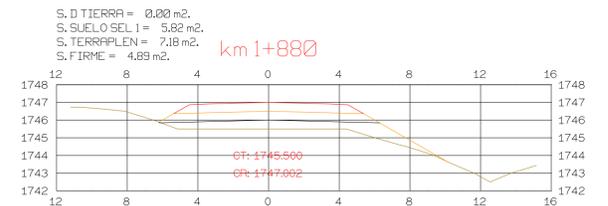
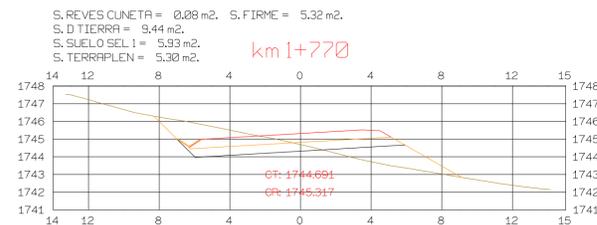
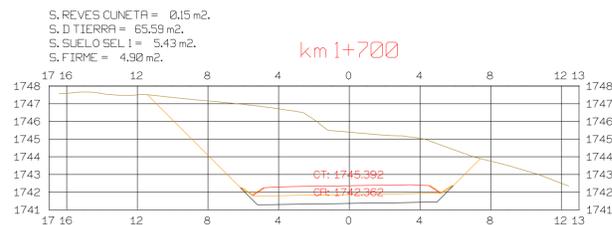
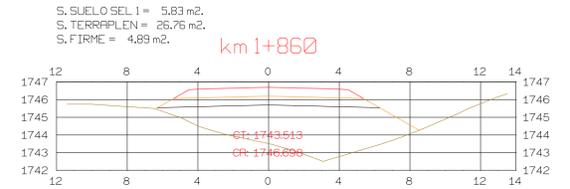
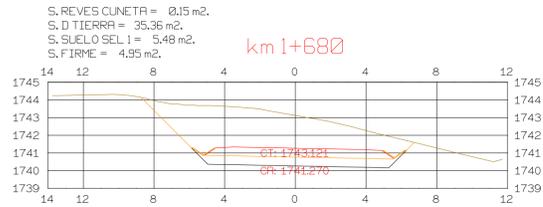
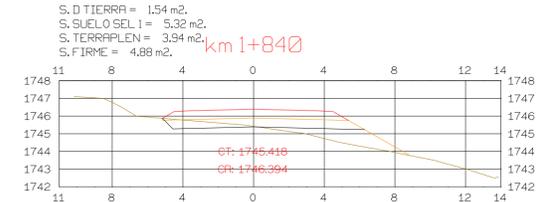
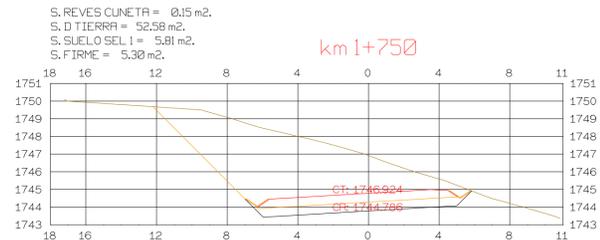
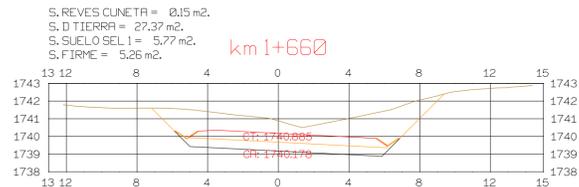


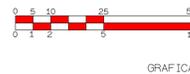
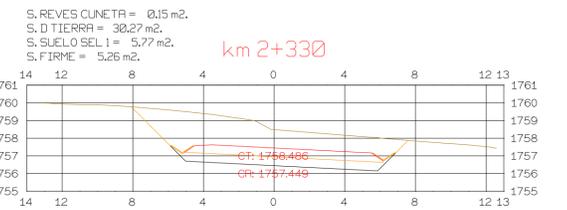
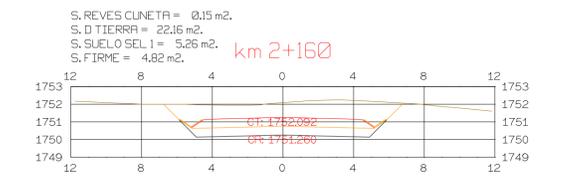
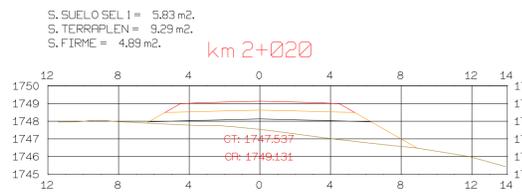
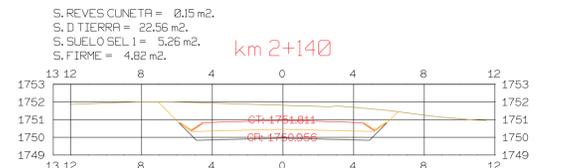
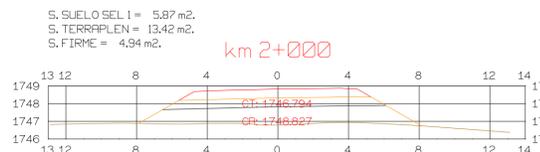
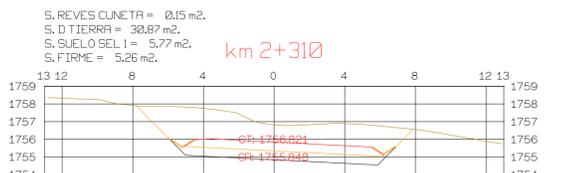
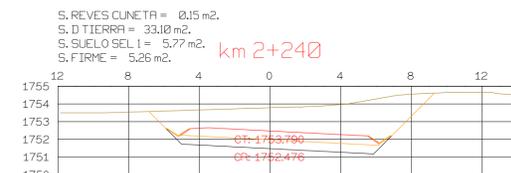
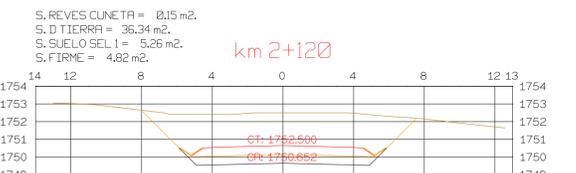
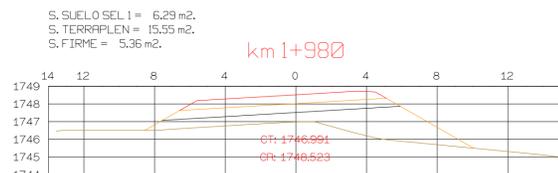
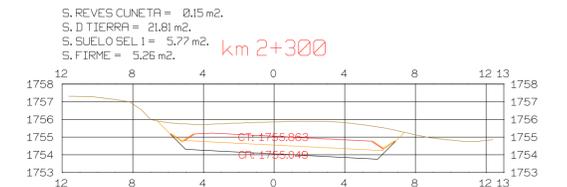
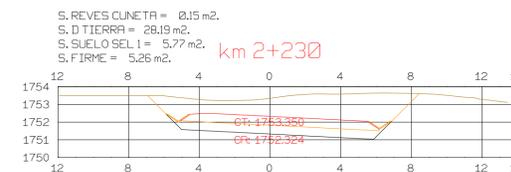
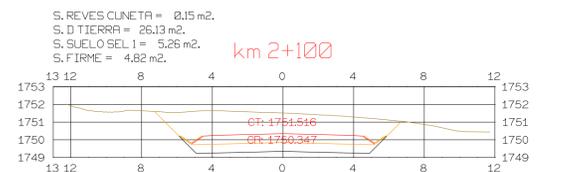
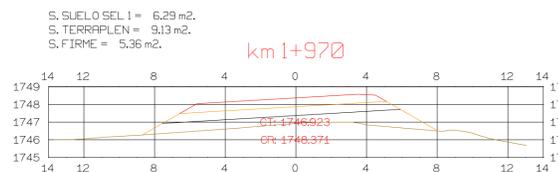
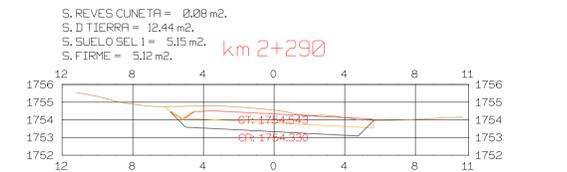
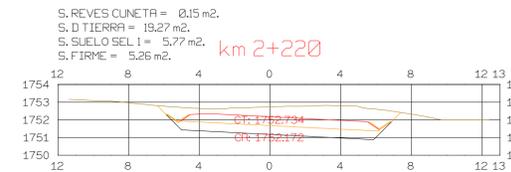
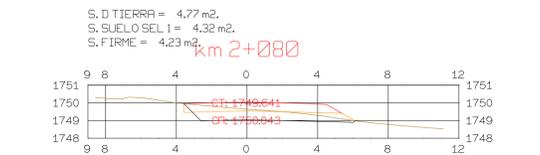
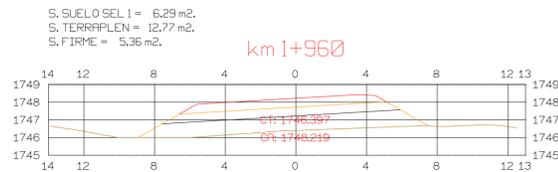
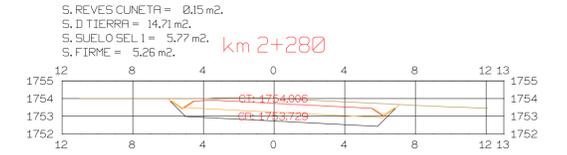
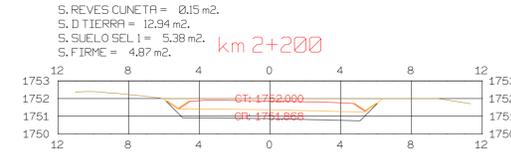
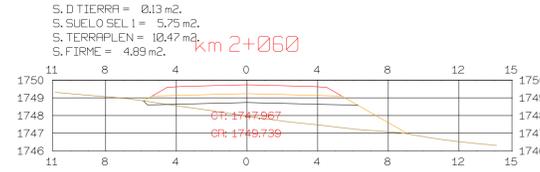
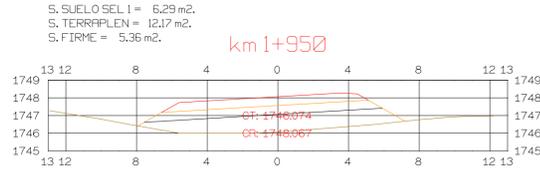
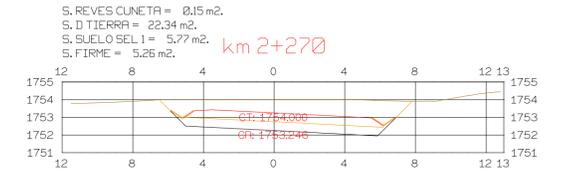
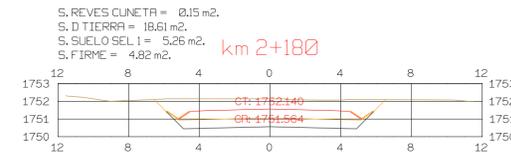
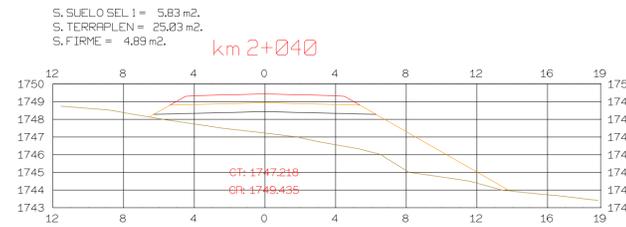
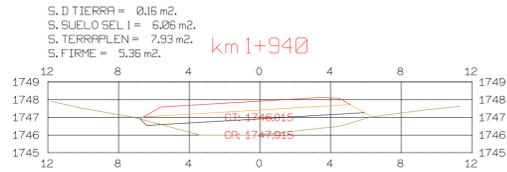
S. REVES CUNETAS = 0,15 m².
 S. D TIERRA = 61,47 m².
 S. SUELO SEL 1 = 6,33 m².
 S. FIRME = 5,79 m².

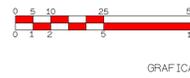
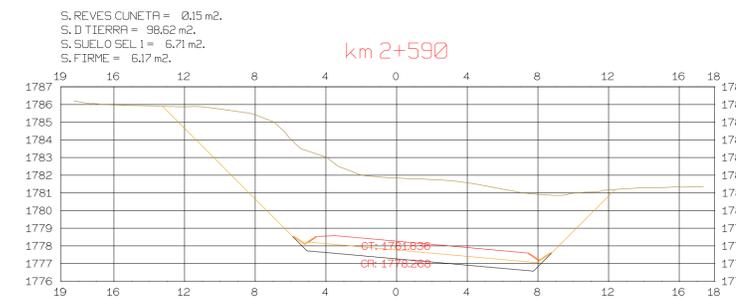
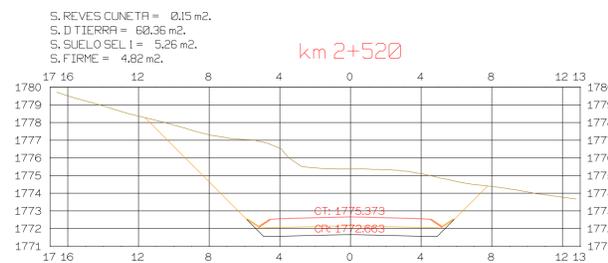
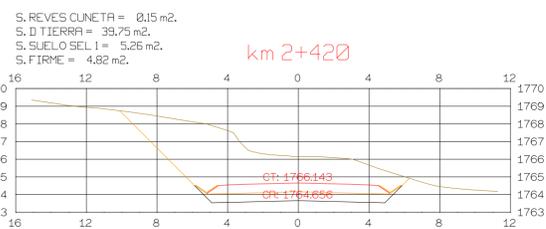
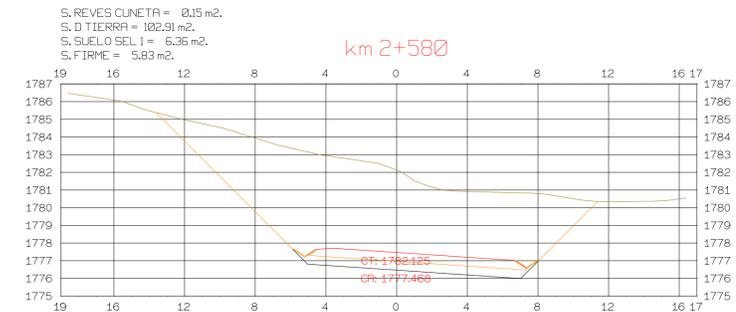
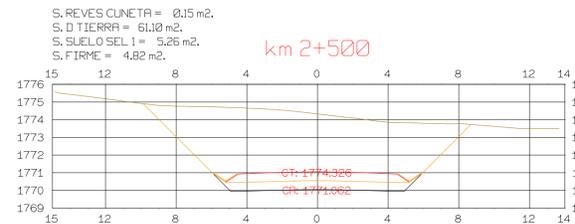
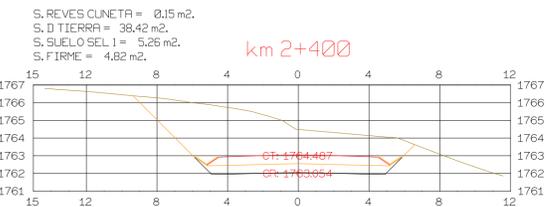
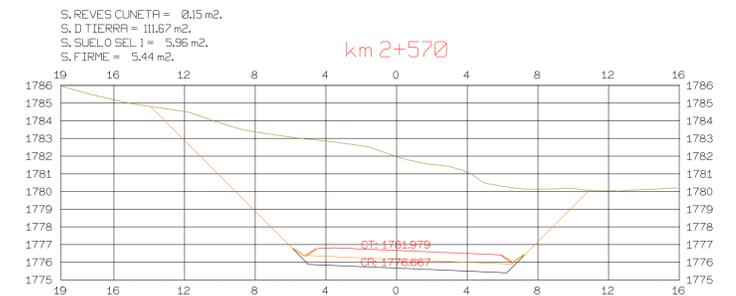
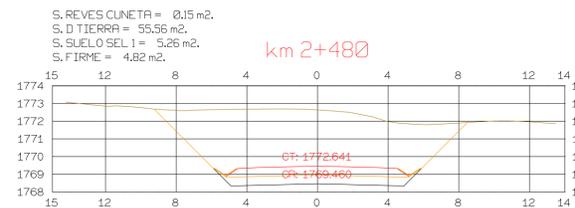
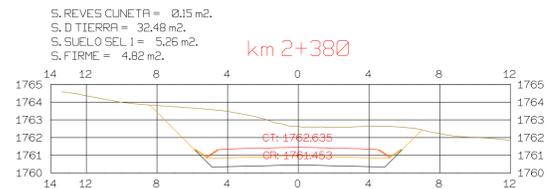
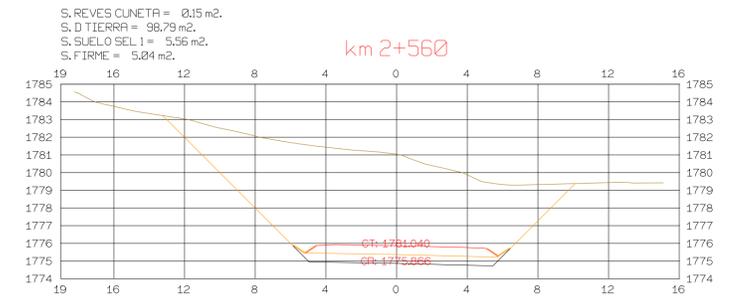
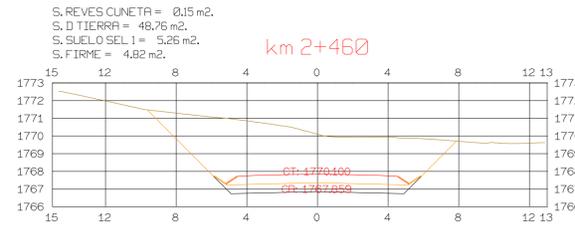
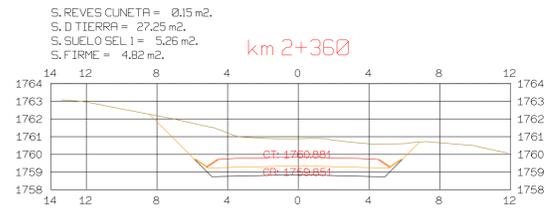
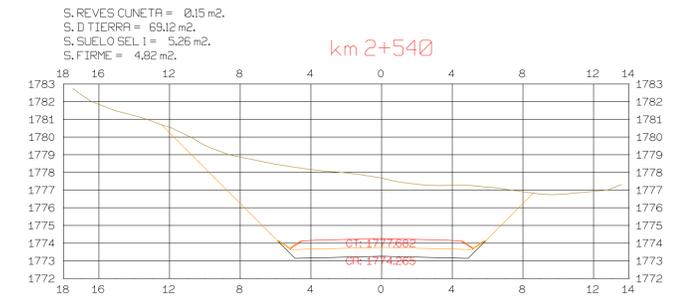
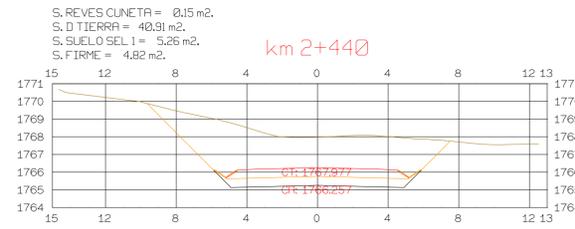
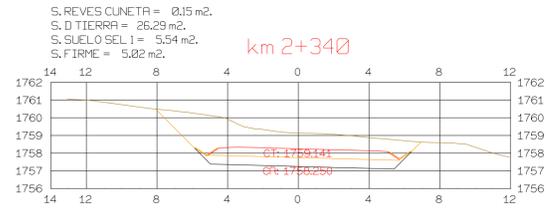


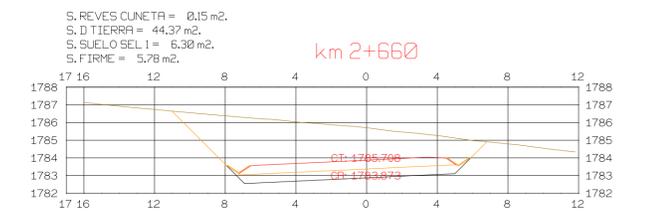
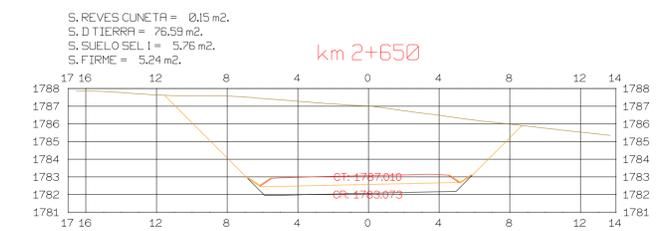
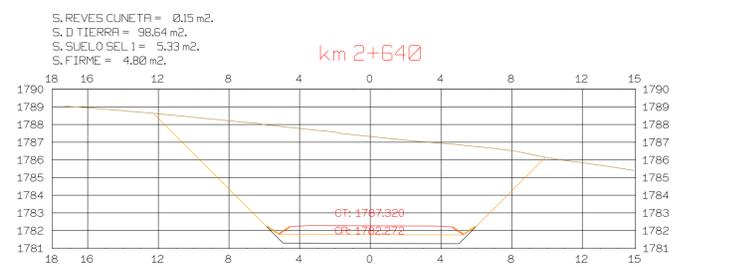
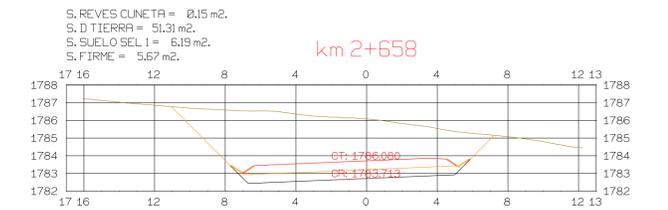
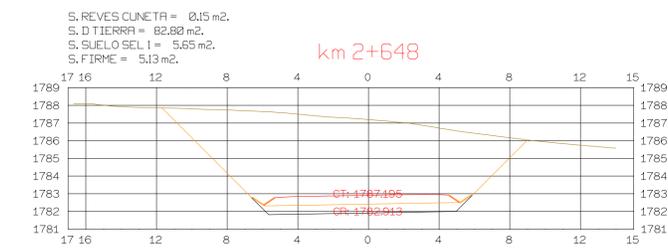
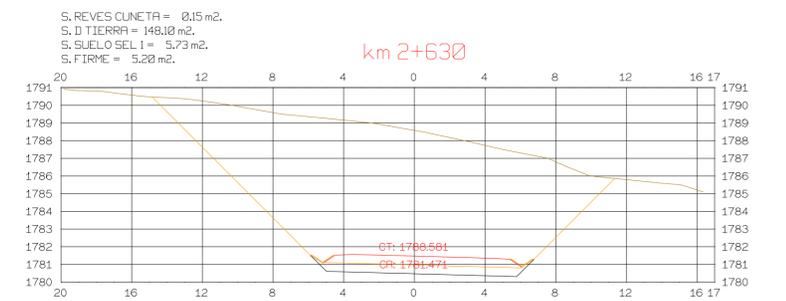
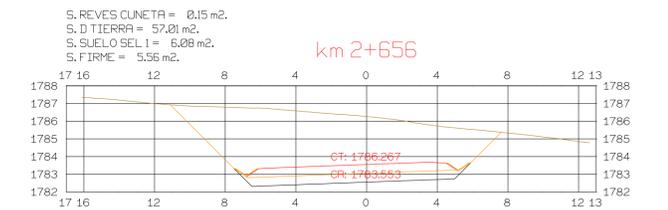
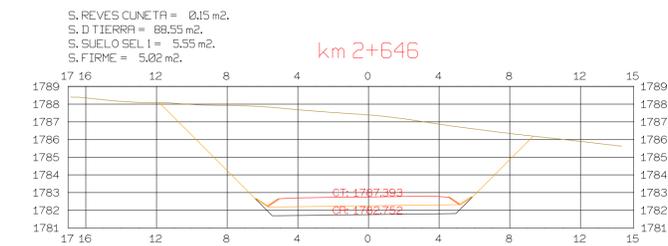
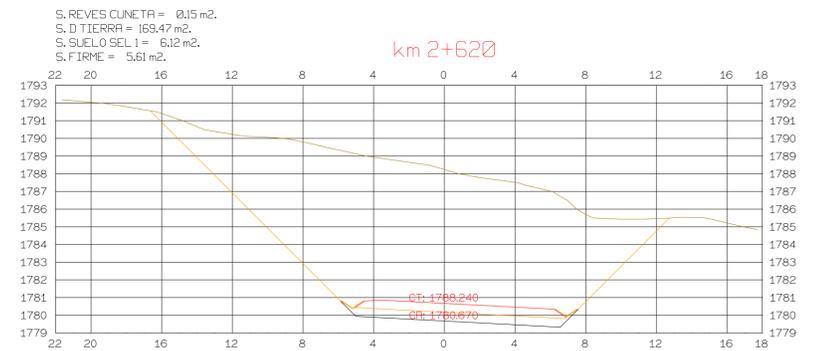
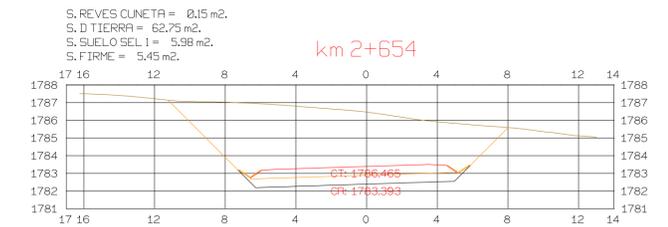
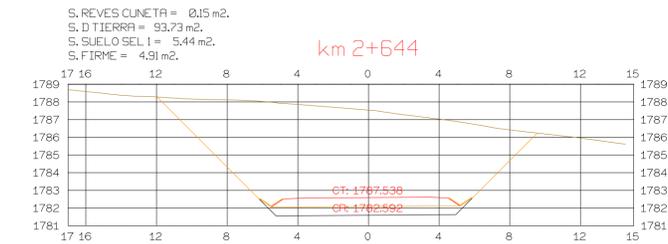
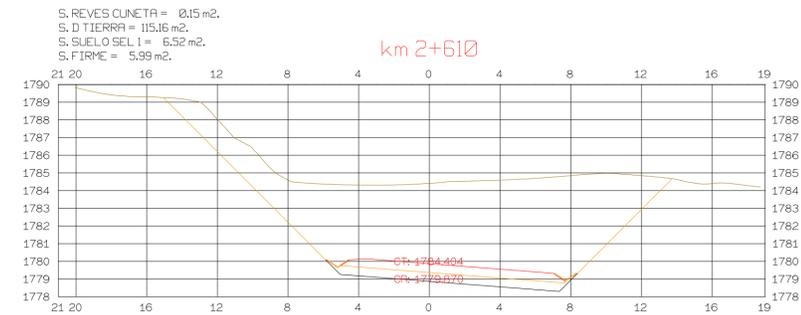
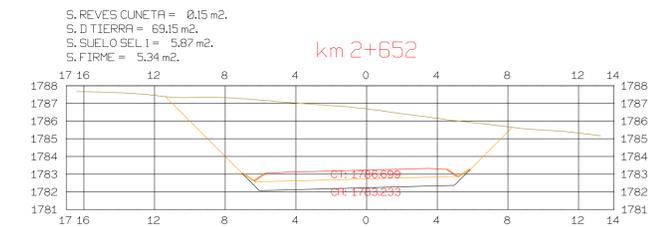
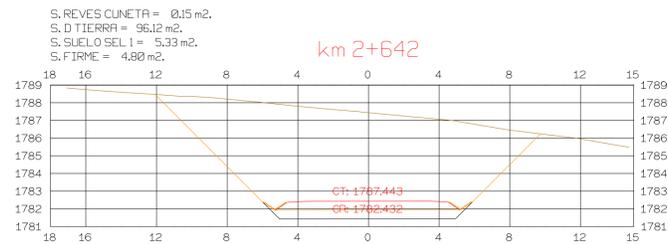
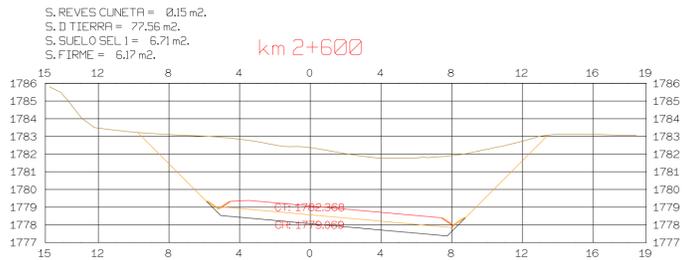


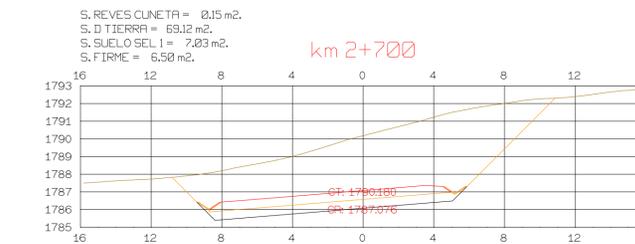
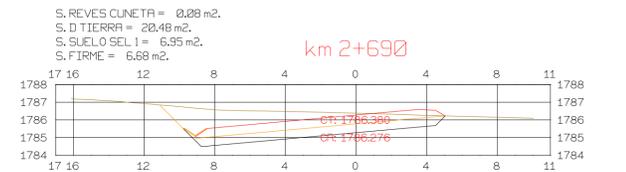
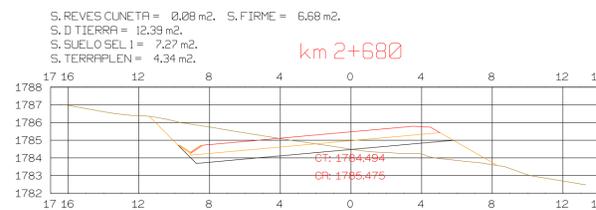
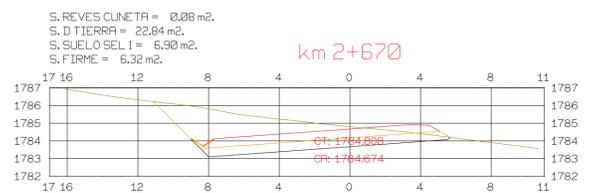
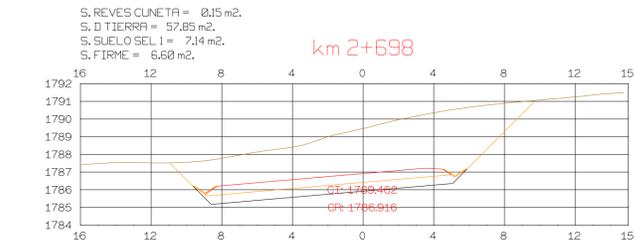
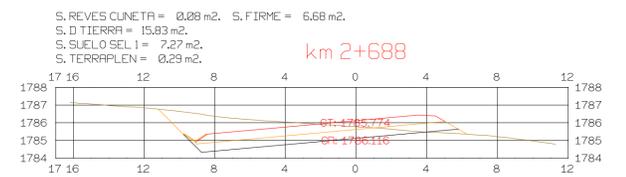
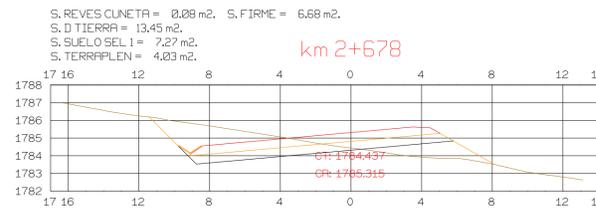
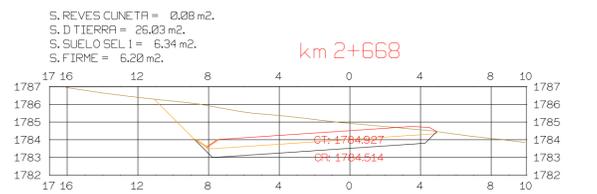
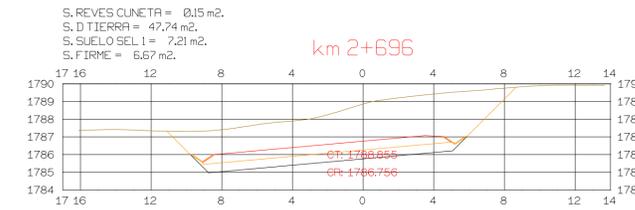
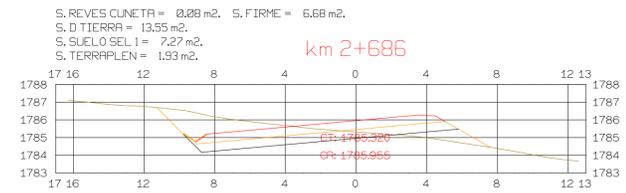
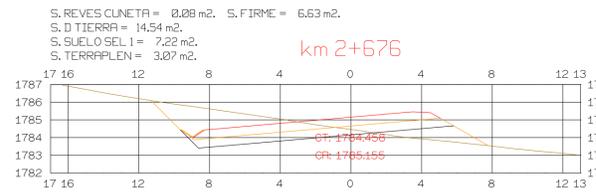
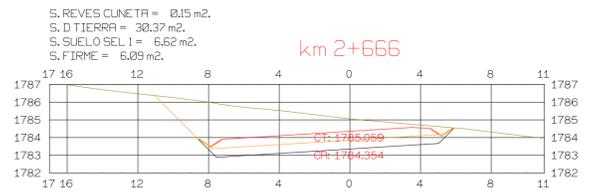
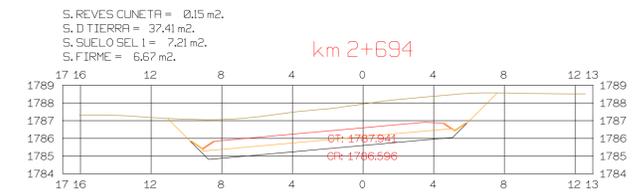
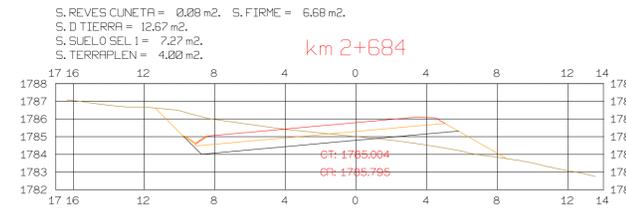
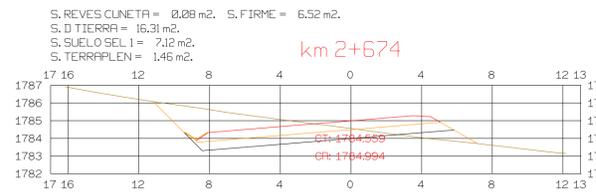
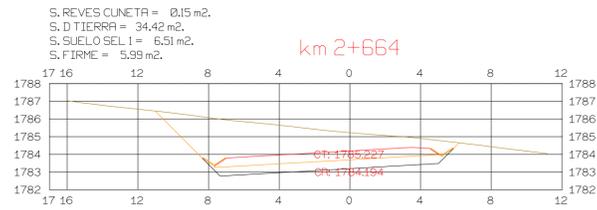
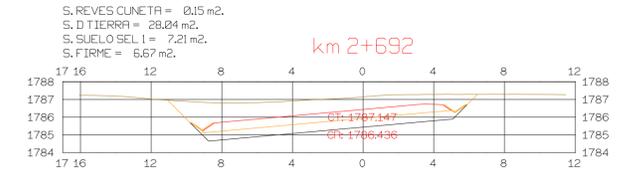
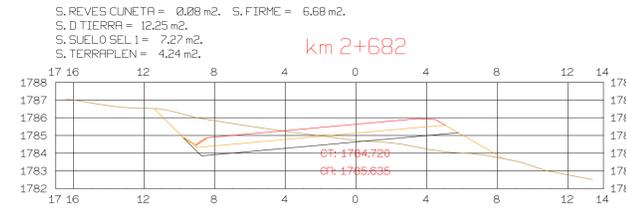
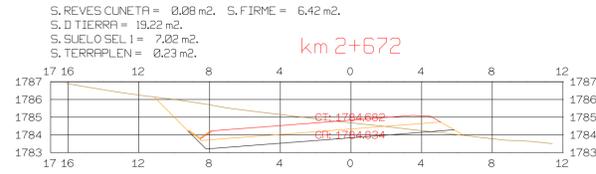
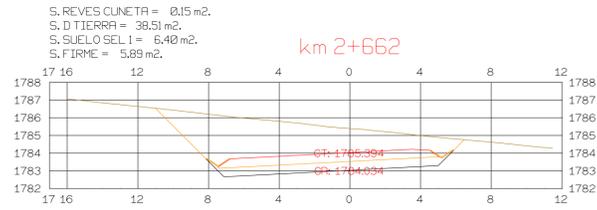


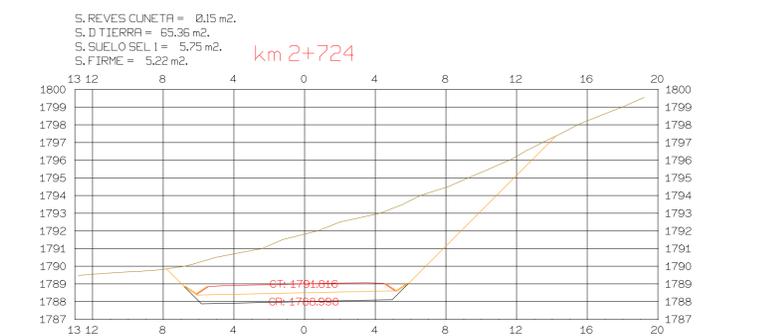
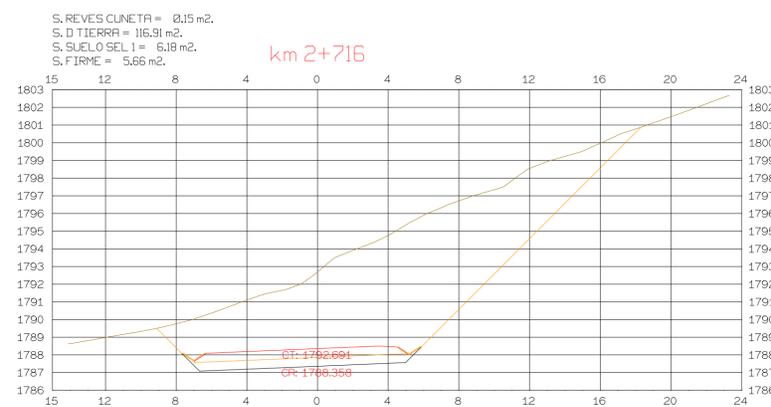
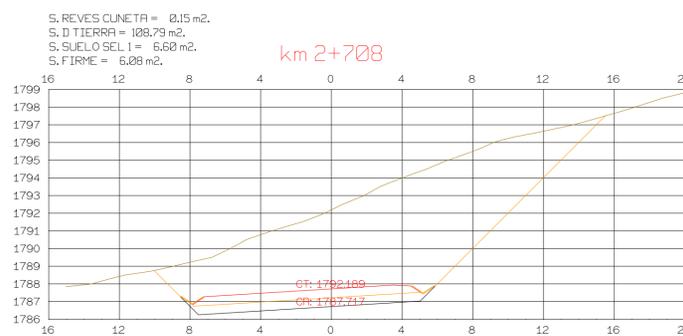
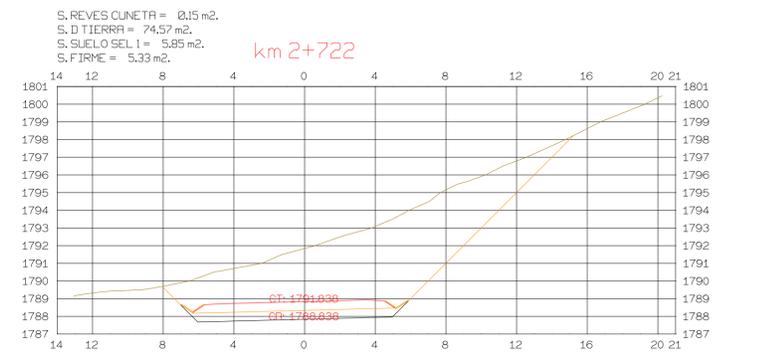
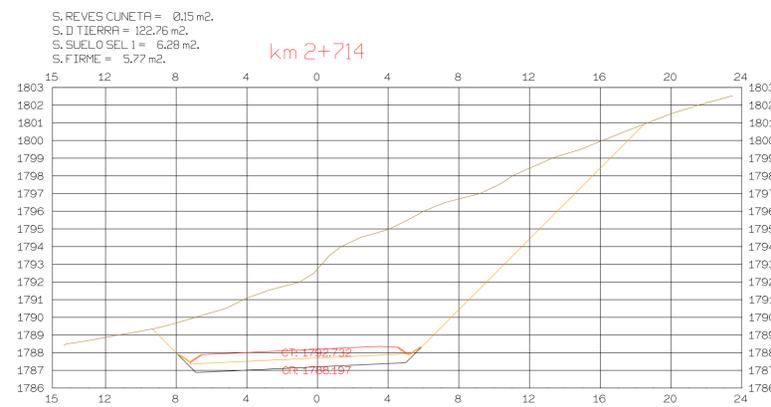
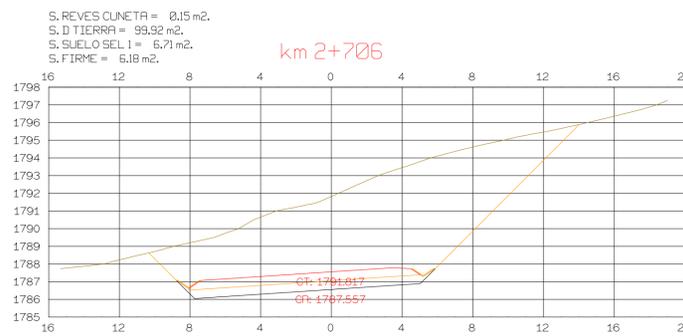
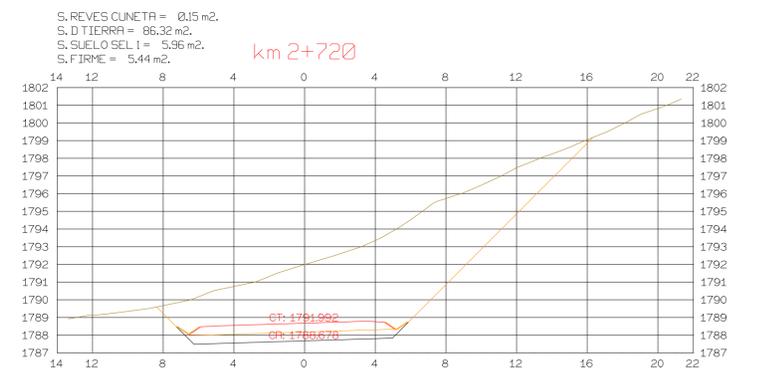
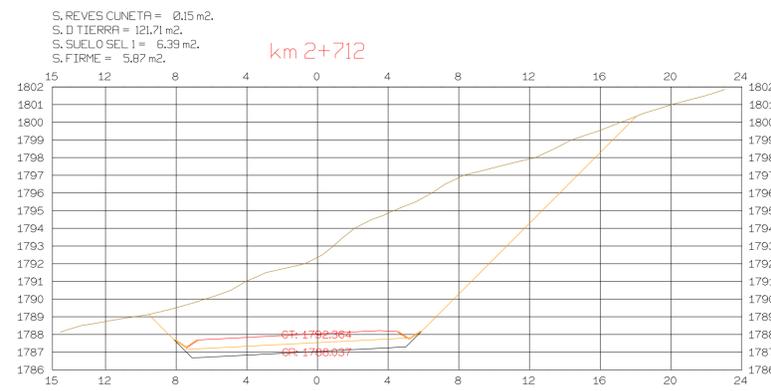
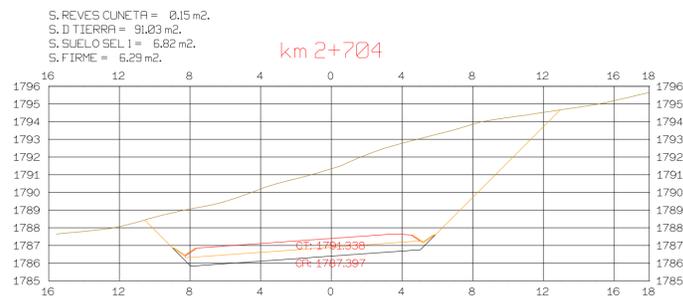
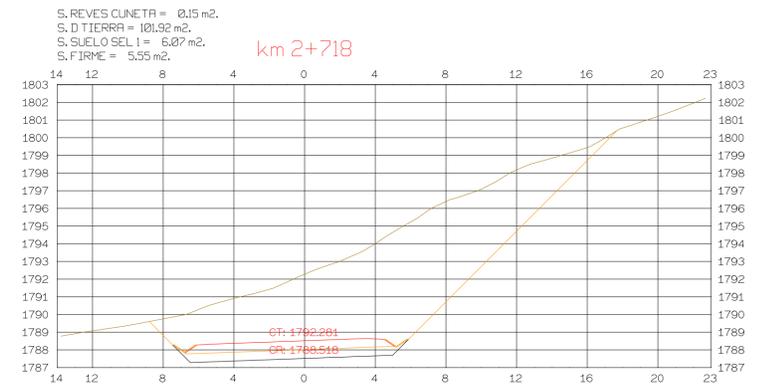
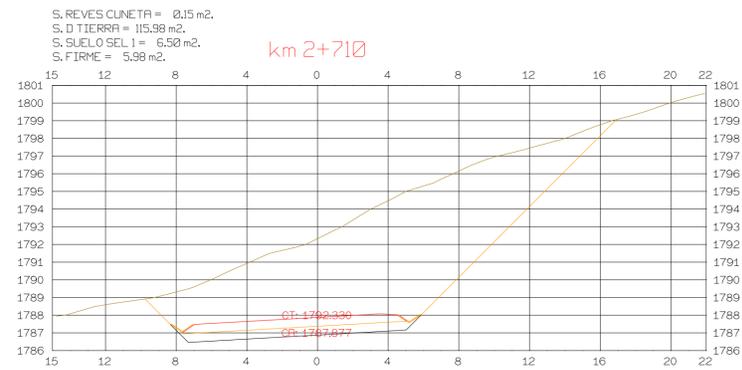
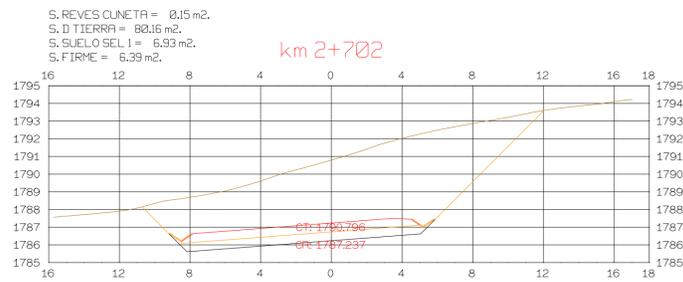


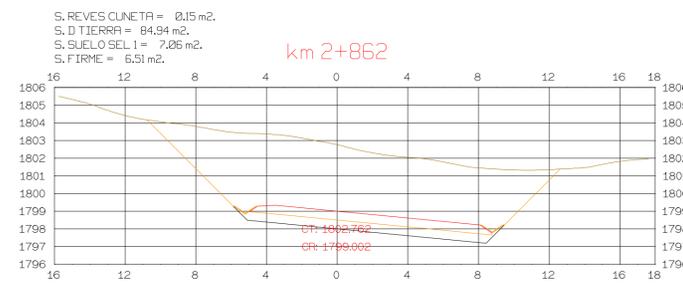
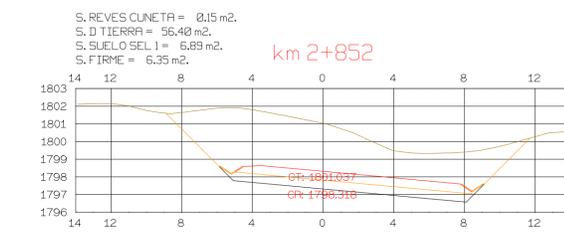
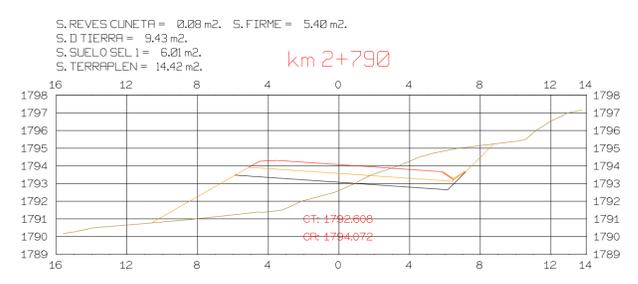
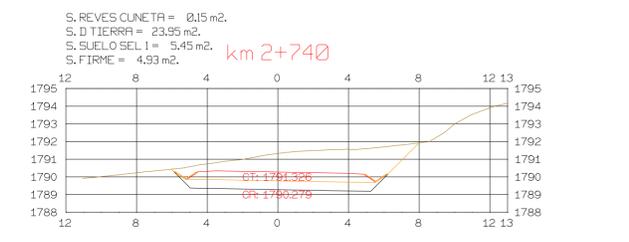
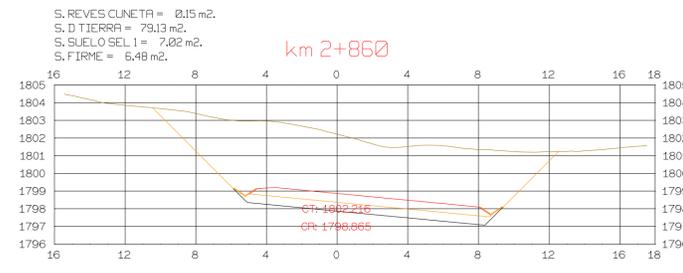
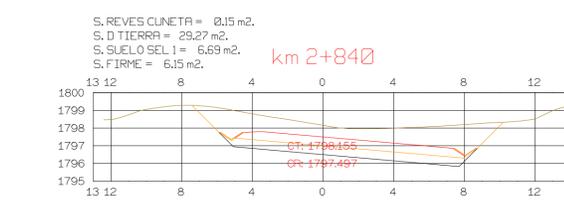
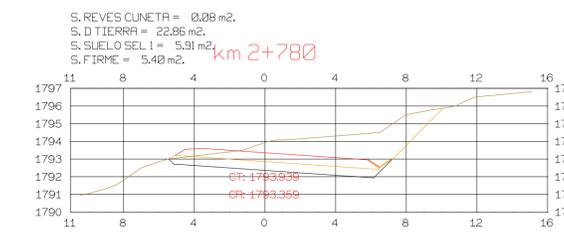
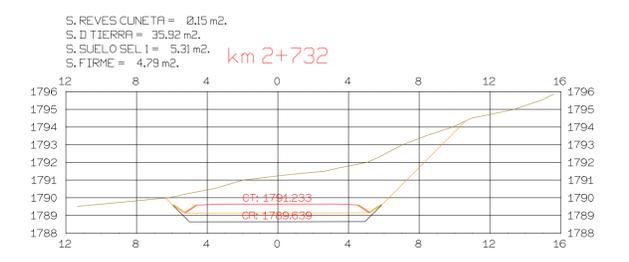
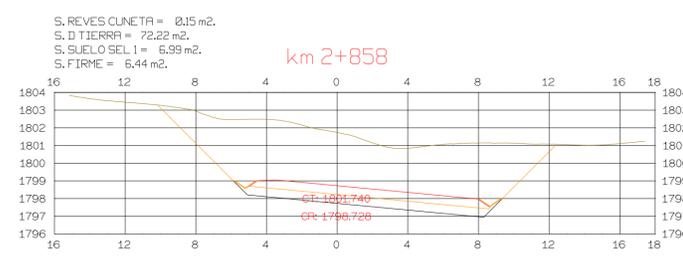
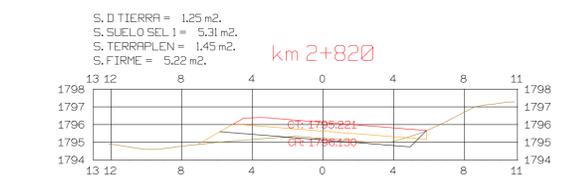
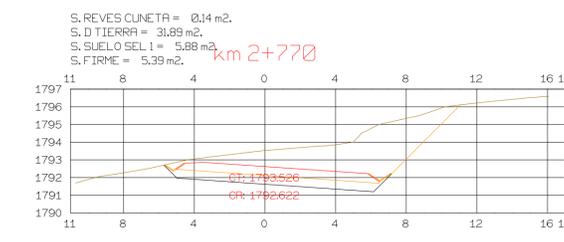
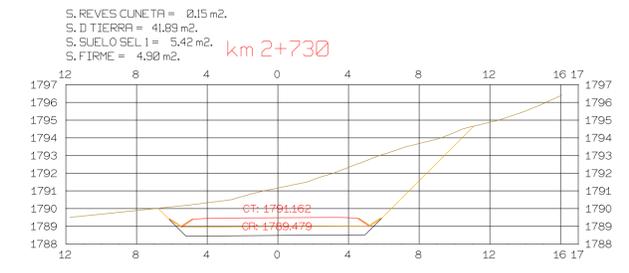
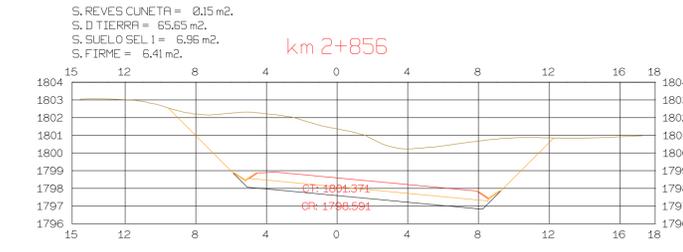
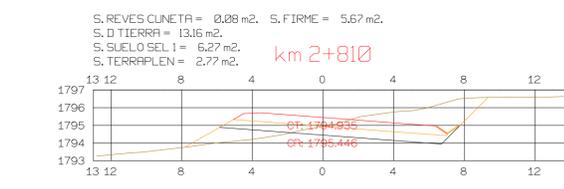
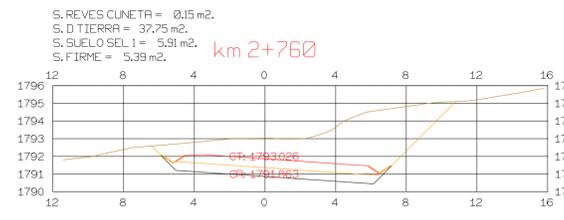
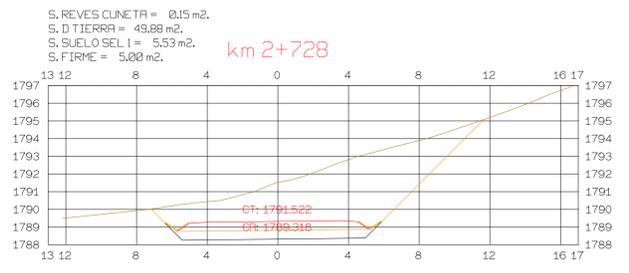
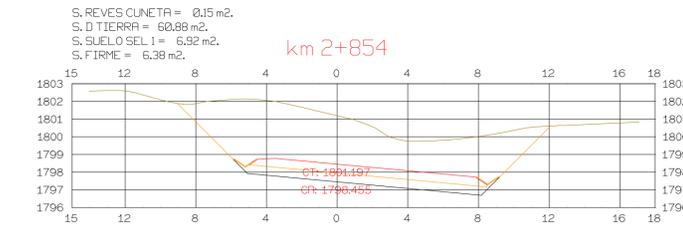
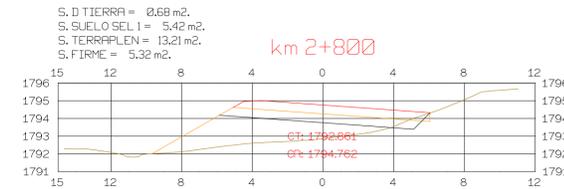
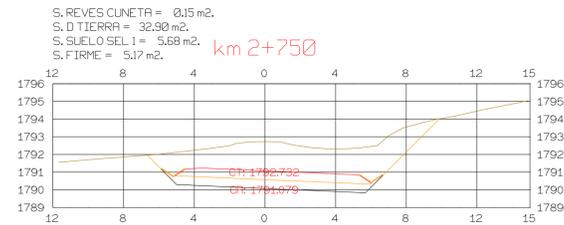
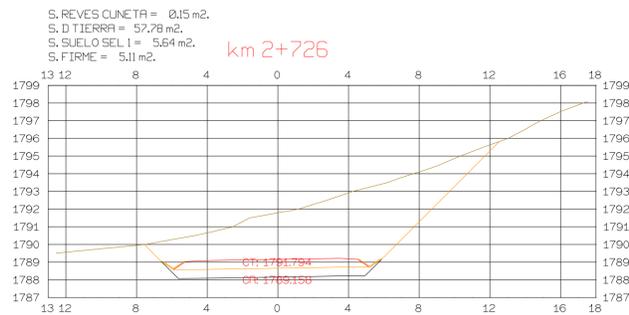


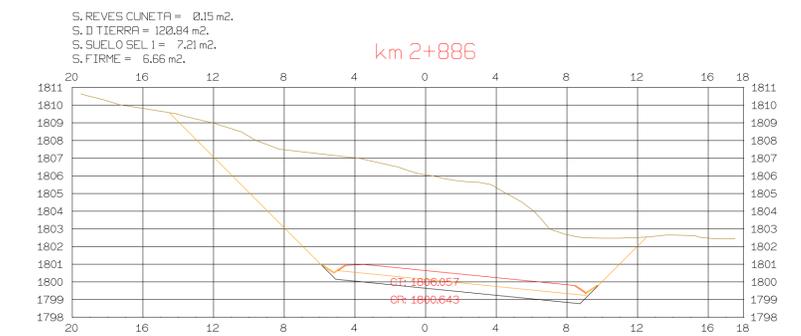
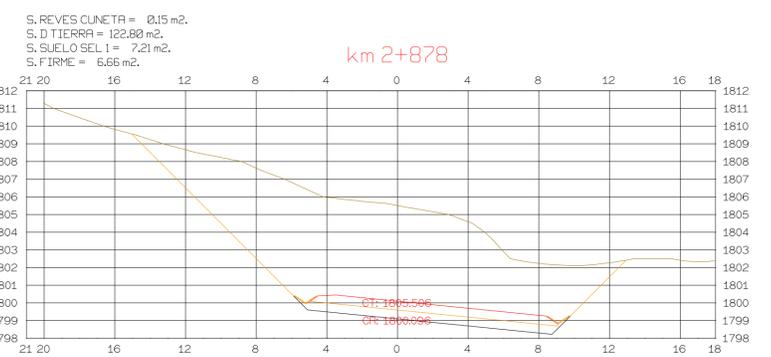
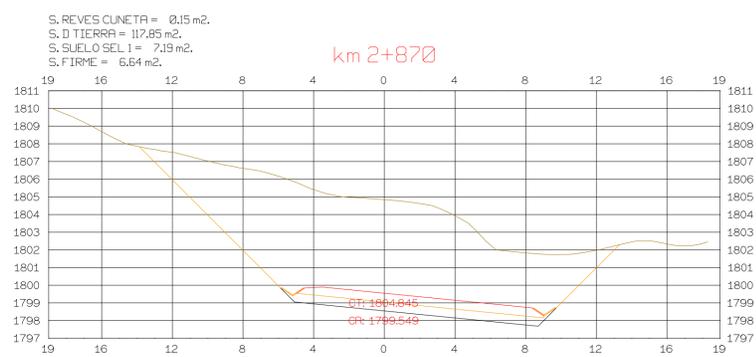
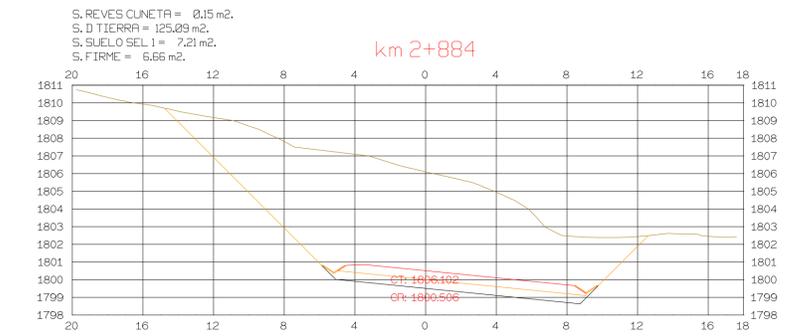
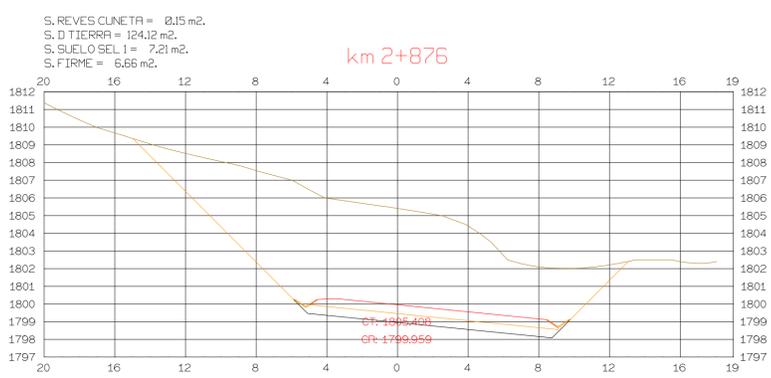
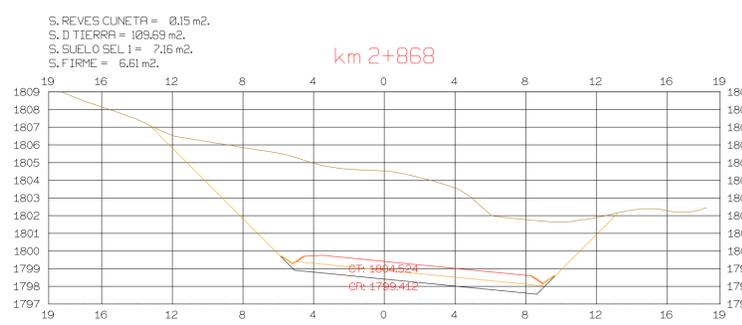
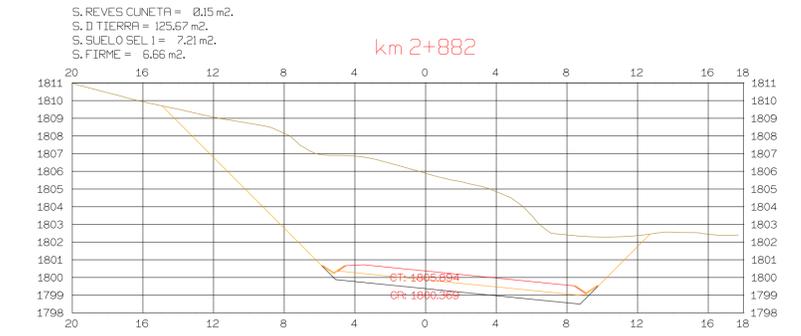
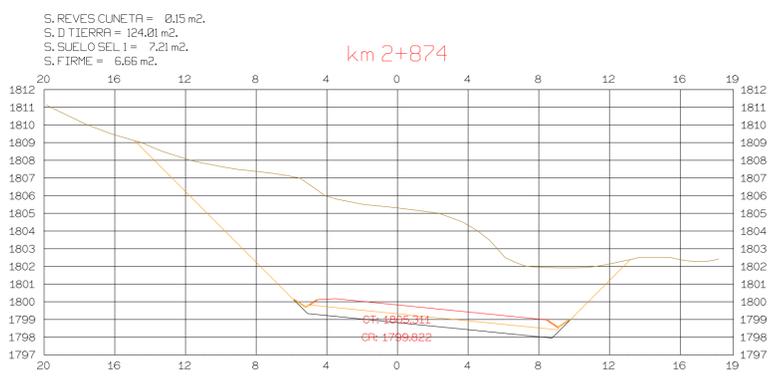
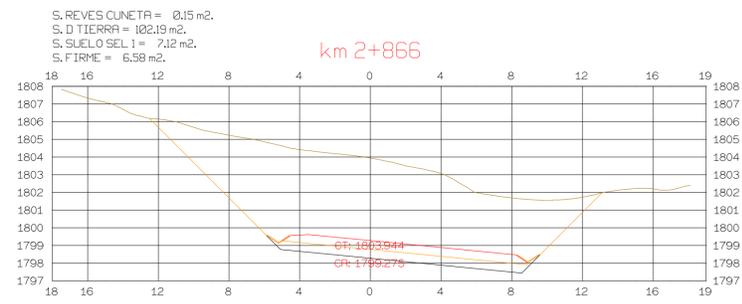
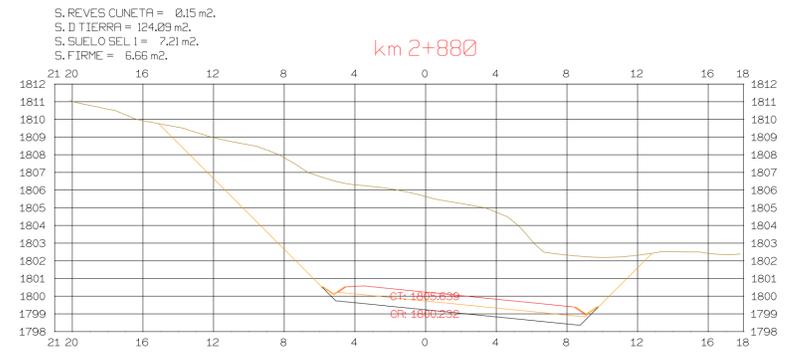
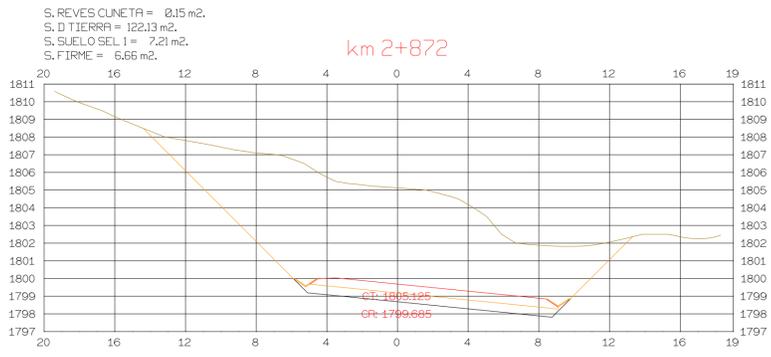
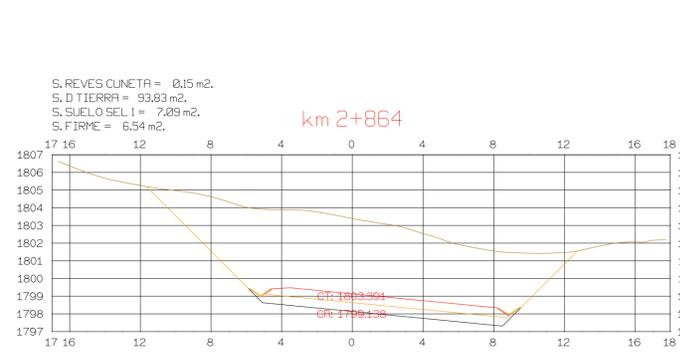












Istram V.22.11.11.03 EDUCACIONAL 2000



ASTURIAS

DIRECCION DE DESARROLLO

ISPOL

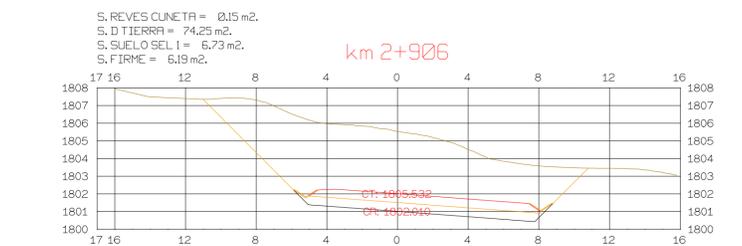
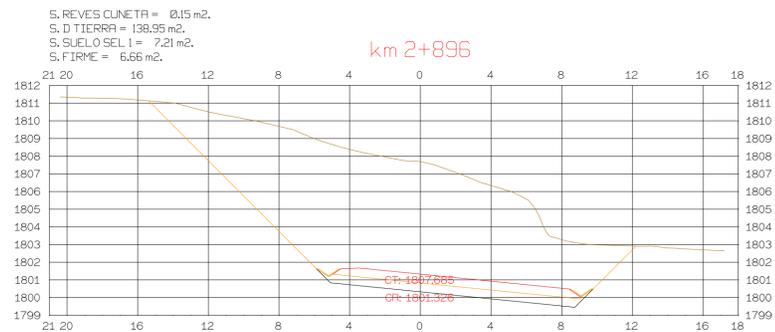
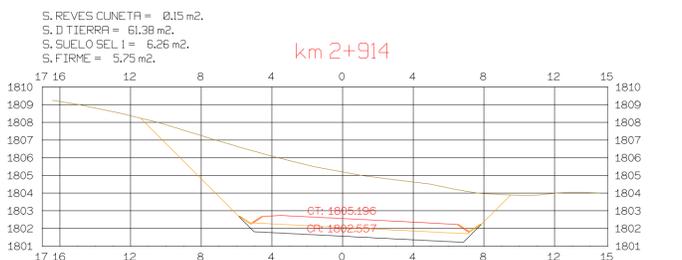
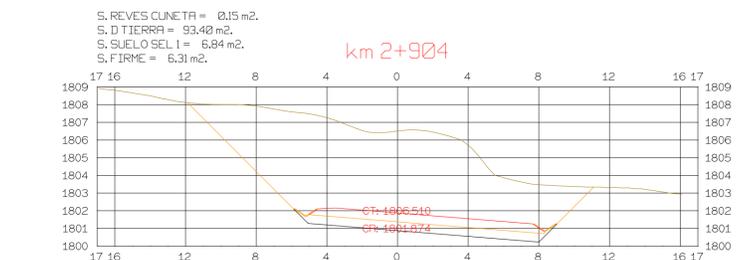
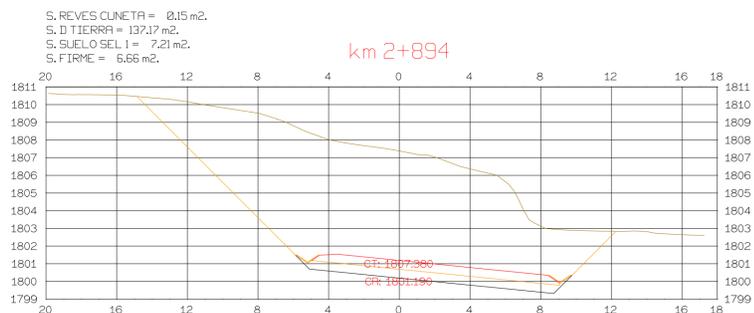
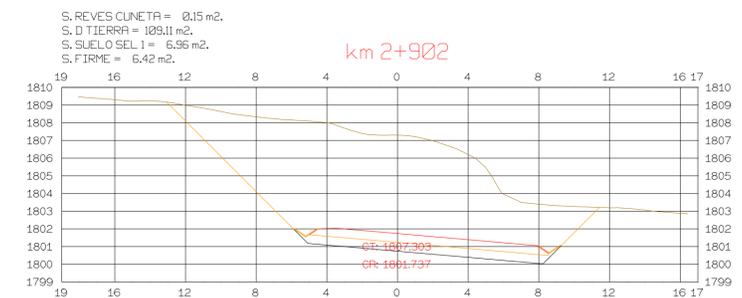
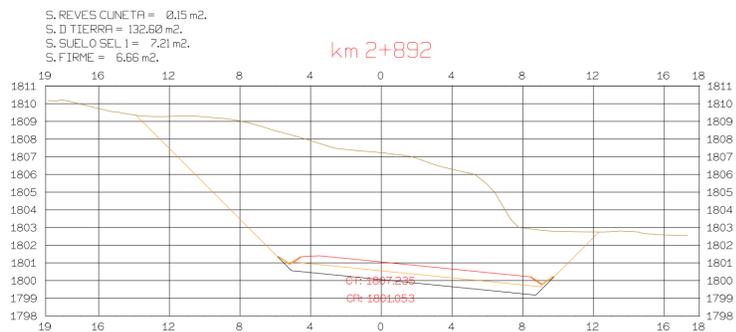
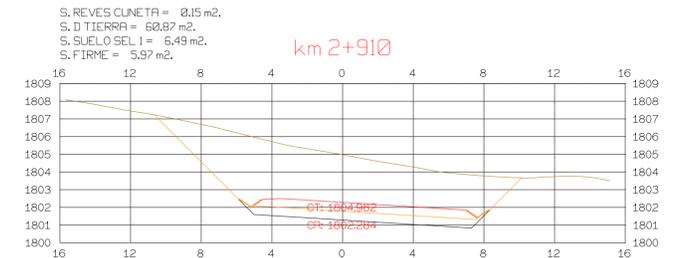
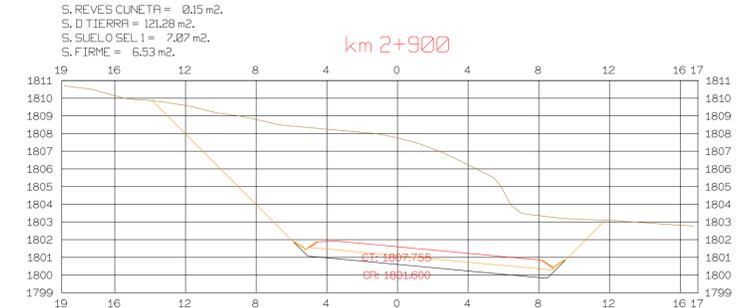
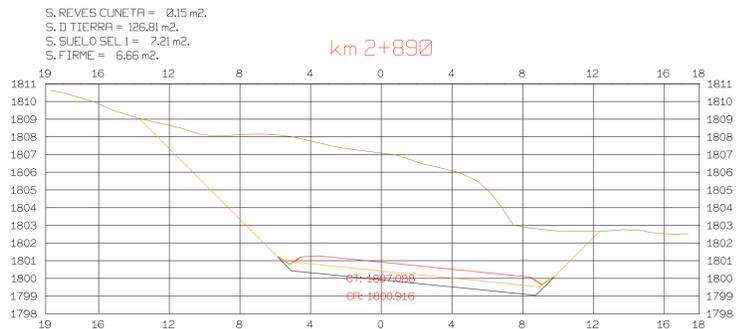
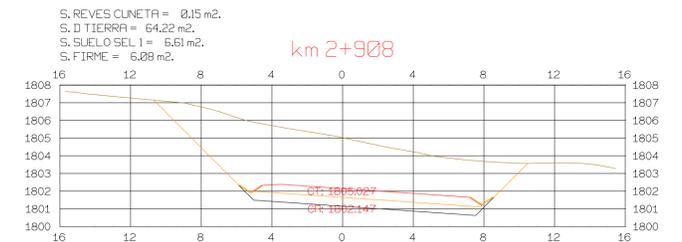
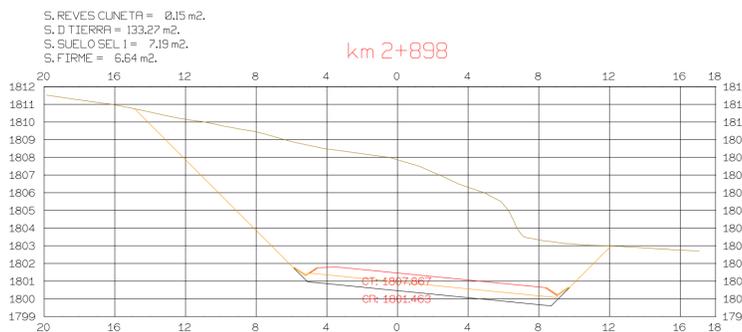
ESCALAS
HORIZONTAL 1 : 1000
VERTICAL 1 : 200
ORIGINAL GRAFICA

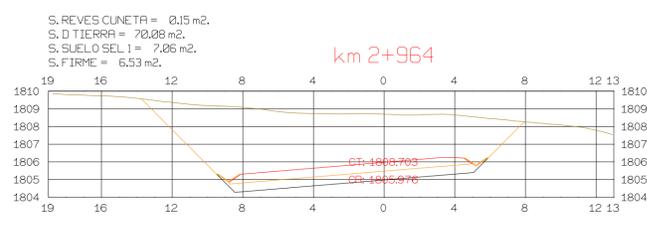
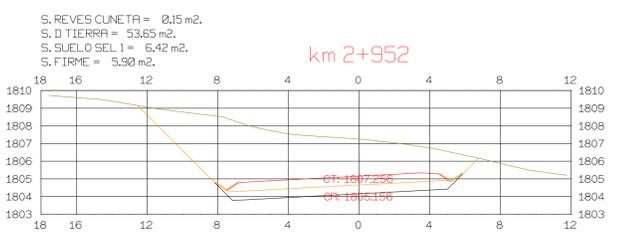
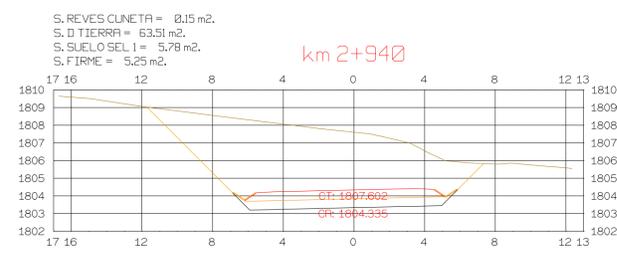
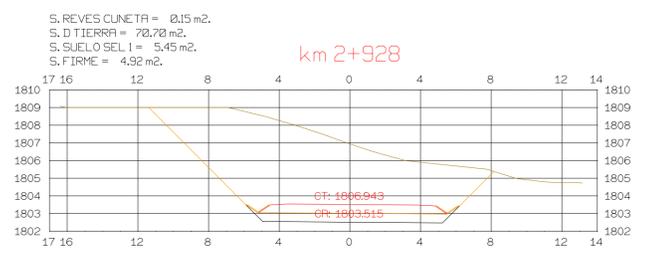
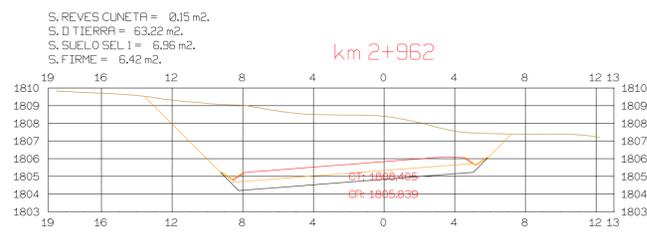
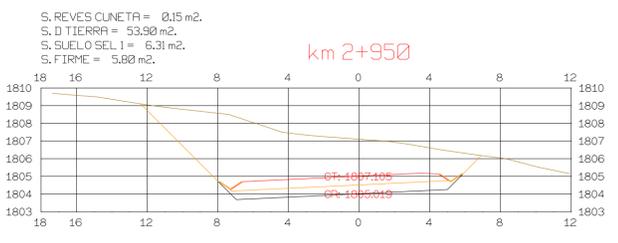
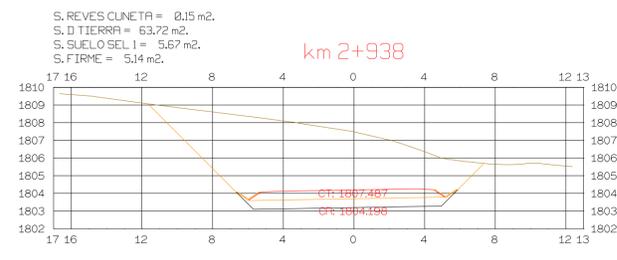
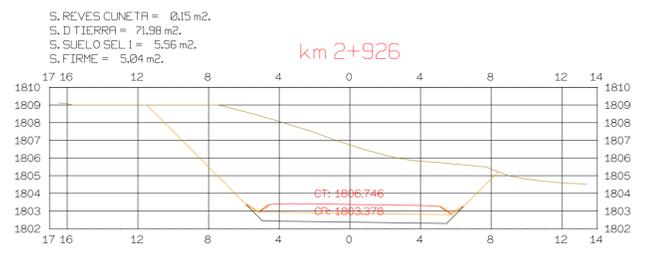
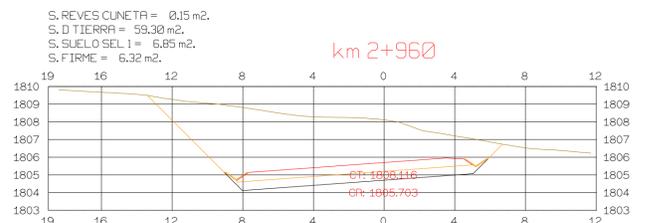
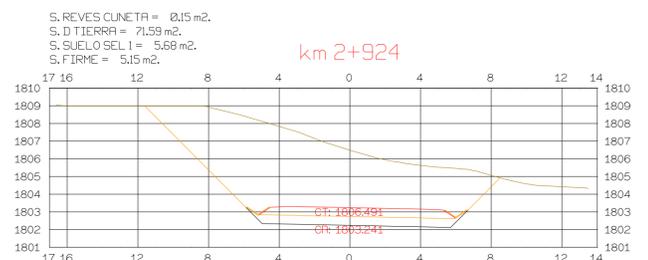
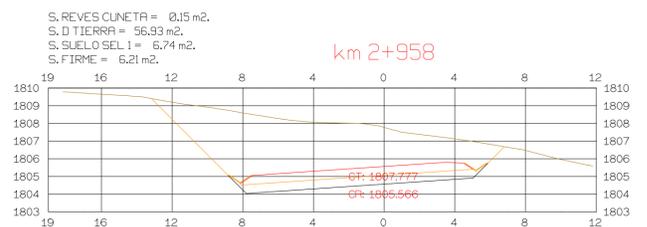
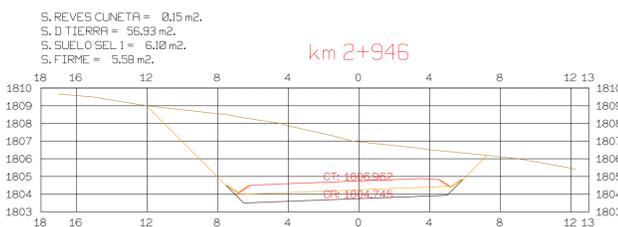
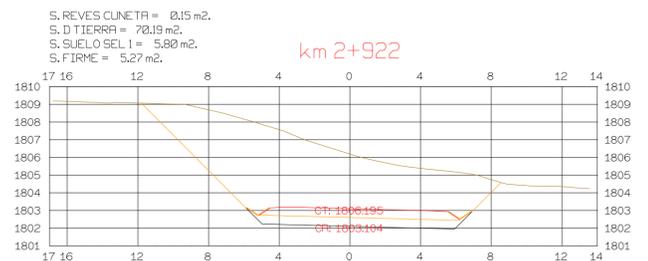
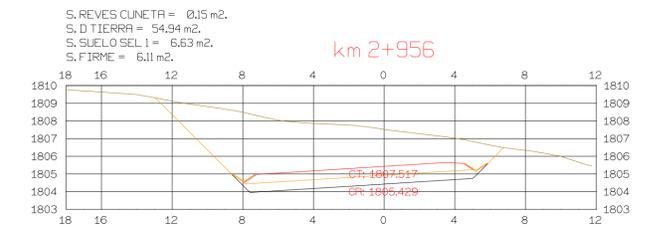
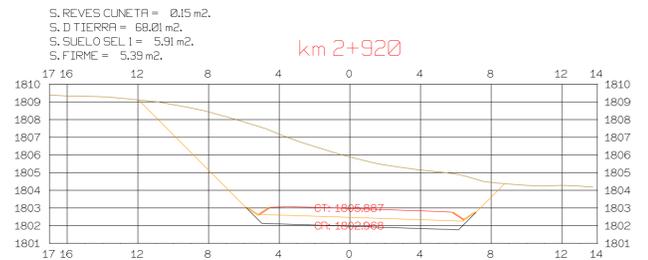
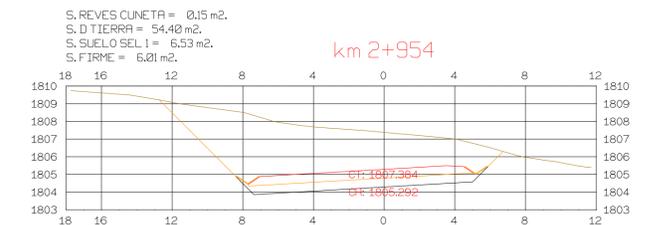
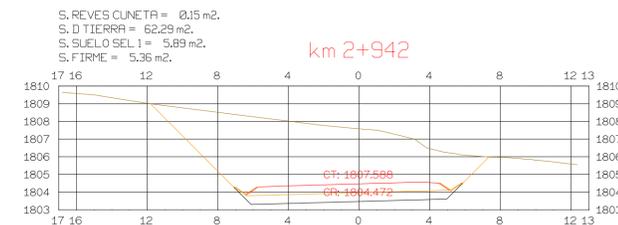
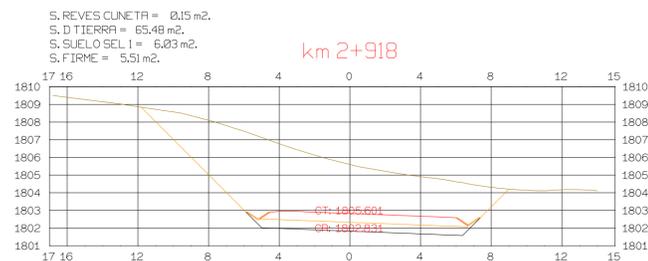
PROYECTO : AUTOPISTA DE AQUI A ALLI
TRAMO : PRIMERO

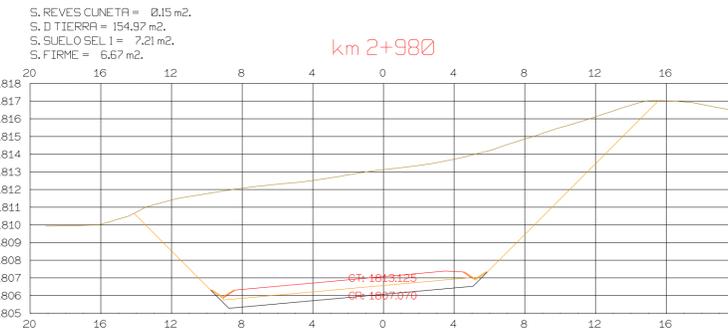
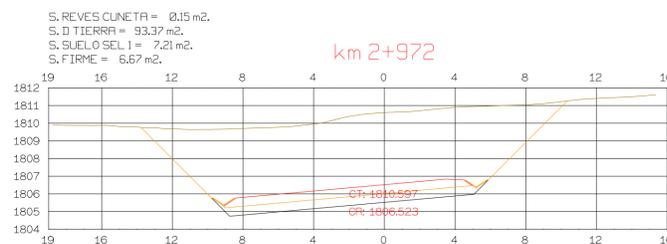
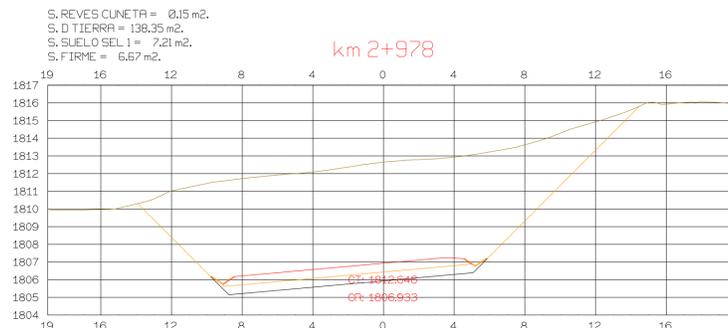
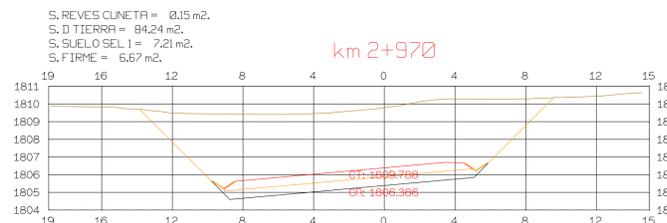
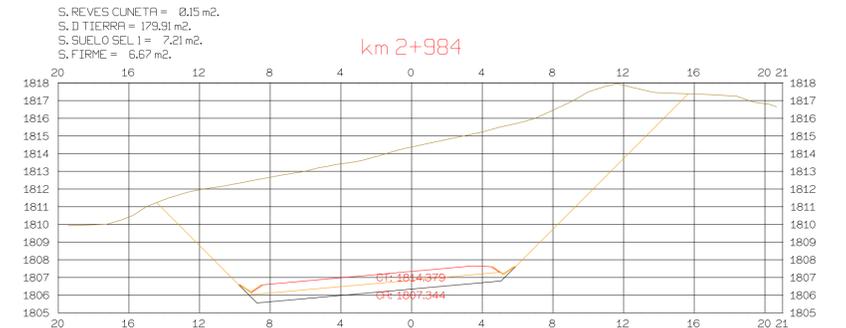
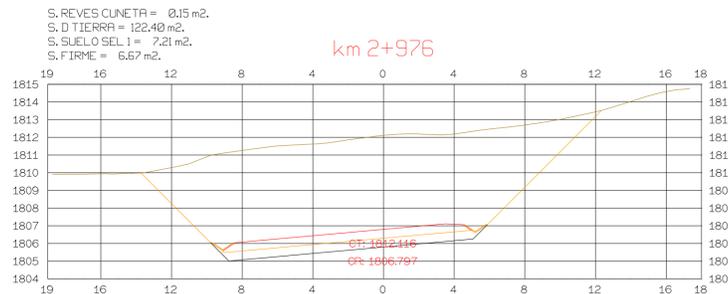
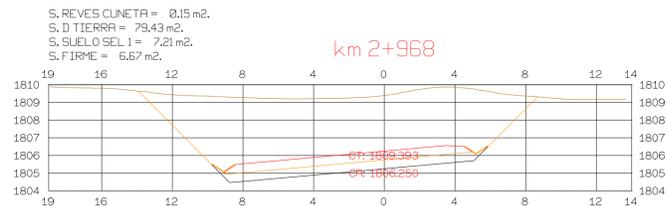
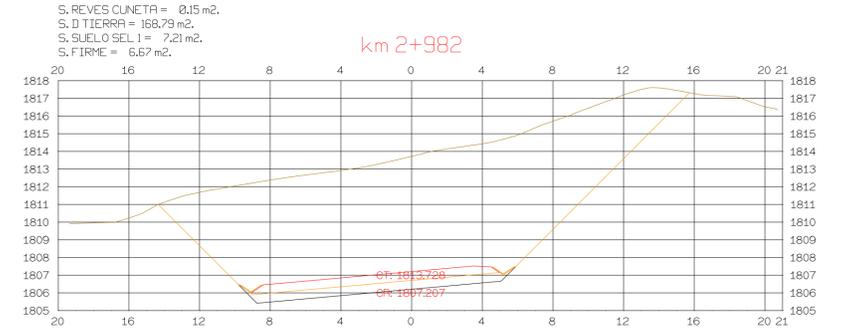
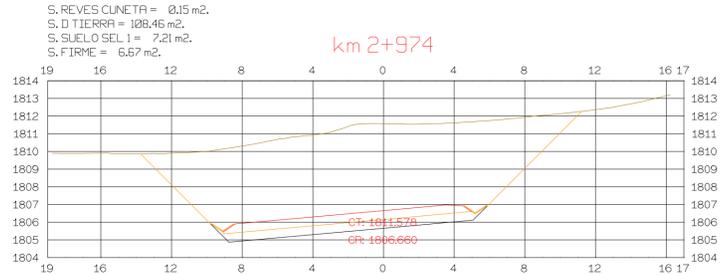
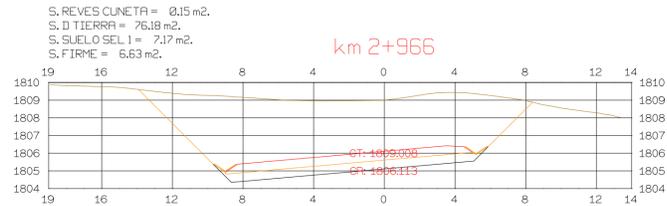
NOMBRE PLANO : **TESIS DE PREGRADO**
Autor: Manuel Fernandez
Asesor: Fernando Campos

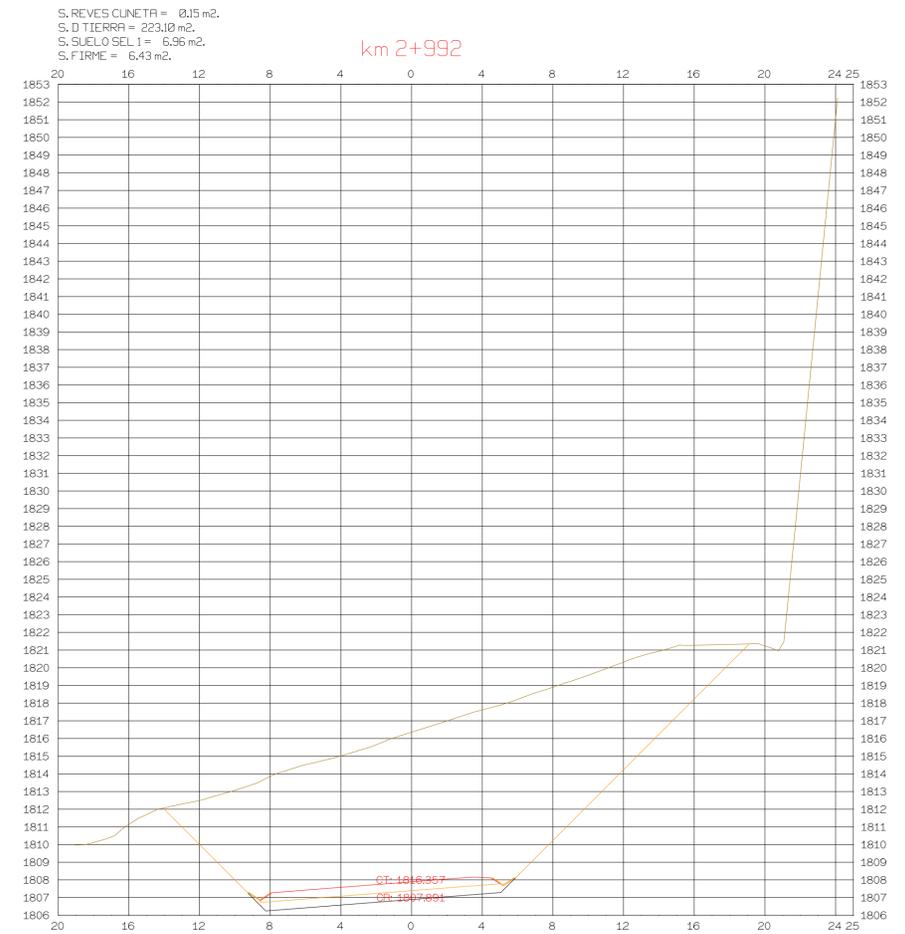
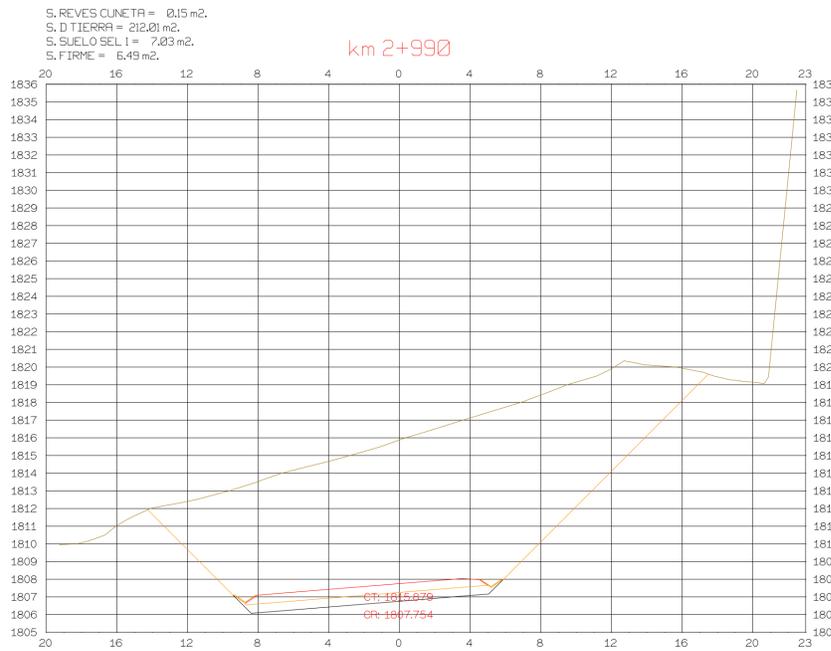
DIRECCION GENERAL DEL PROYECTO: EL UNO
DIRECCION TECNICA DEL PROYECTO: EL OTRO

FECHA: 13/04/2023
Número: 21
Hoja: 06









Istram V.22.11.11.03 EDUCACIONAL 2000



ASTURIAS

**DIRECCION
DE DESARROLLO**

ISPOL ®

ESCALAS
 HORIZONTAL 1 : 1000
 VERTICAL 1 : 200

ORIGINAL GRAFICA

**PROYECTO : AUTOPISTA
DE AQUI A ALLI
TRAMO : PRIMERO**

NOMBRE PLANO :
TESIS DE PREGRADO
 Autor: Manuel Fernandez
 Asesor: Fernando Campos

DIRECCION GENERAL
DEL PROYECTO
EL UNO

DIRECCION TECNICA
DEL PROYECTO
EL OTRO

FECHA
13/04/2023
 Número
25
 Hoja ___de___

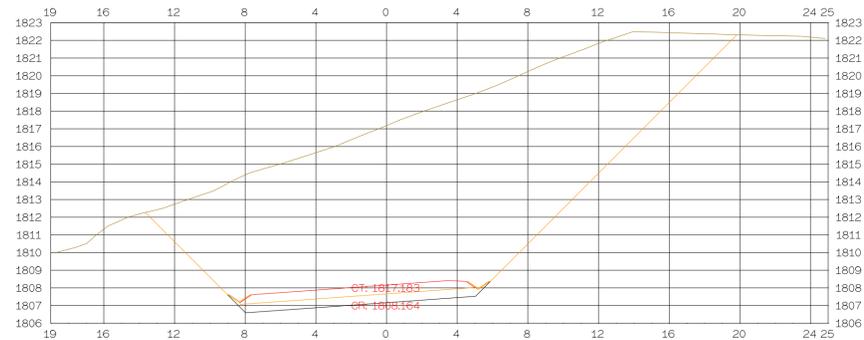
S. REVES CUNETTA = 0,15 m².
 S. D TIERRA = 234,59 m².
 S. SUELO SEL 1 = 6,50 m².
 S. FIRME = 6,36 m².

km 2+994



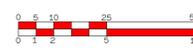
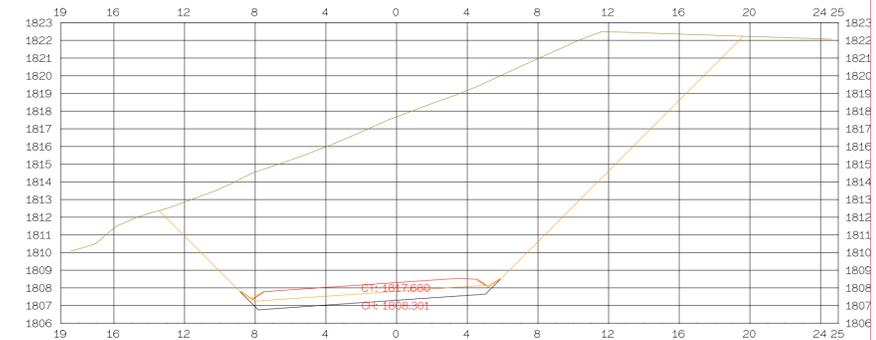
S. REVES CUNETTA = 0,15 m².
 S. D TIERRA = 242,64 m².
 S. SUELO SEL 1 = 6,83 m².
 S. FIRME = 6,30 m².

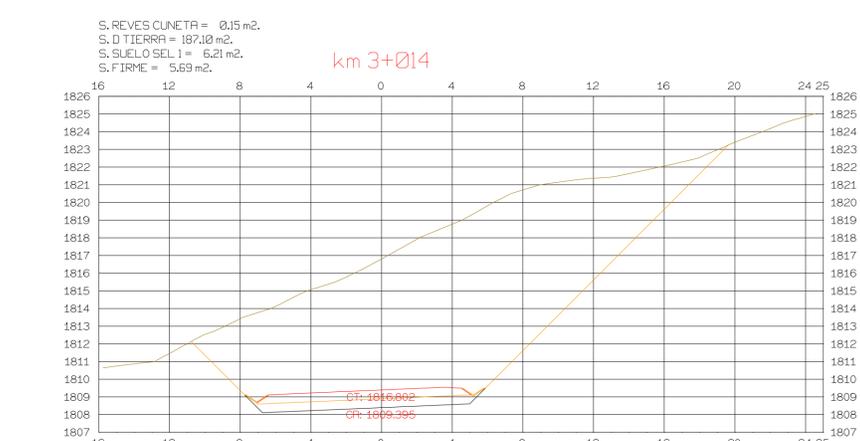
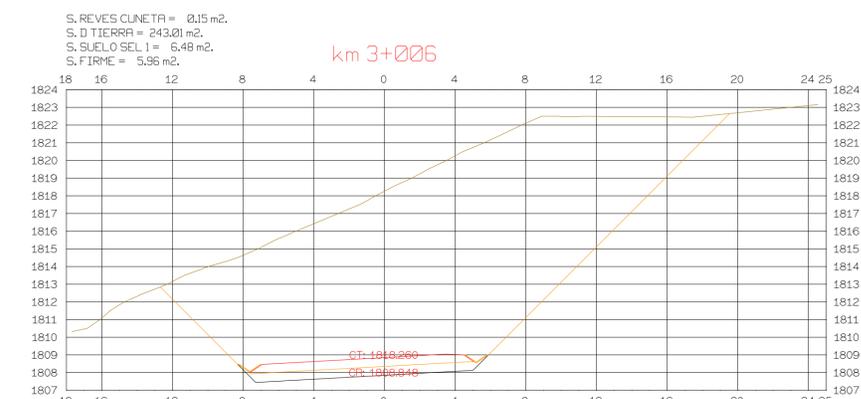
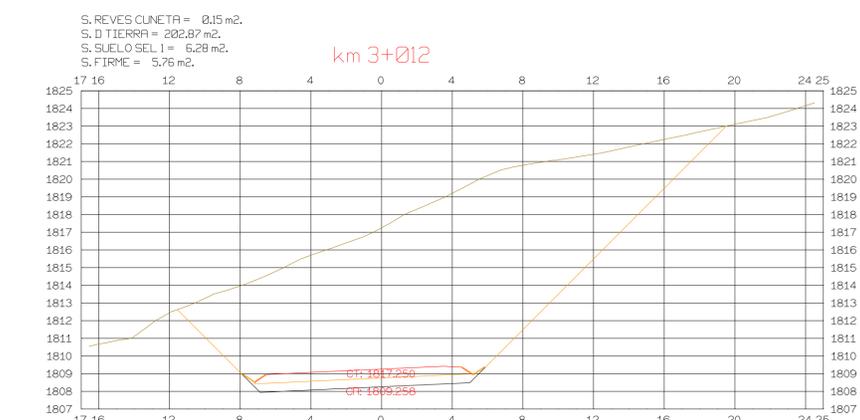
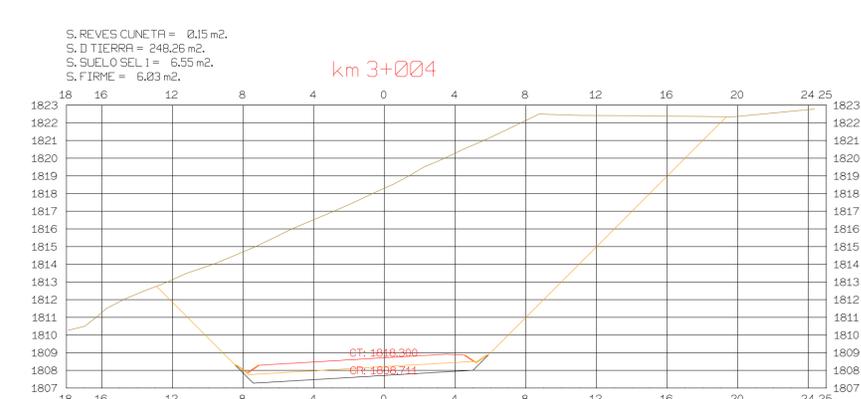
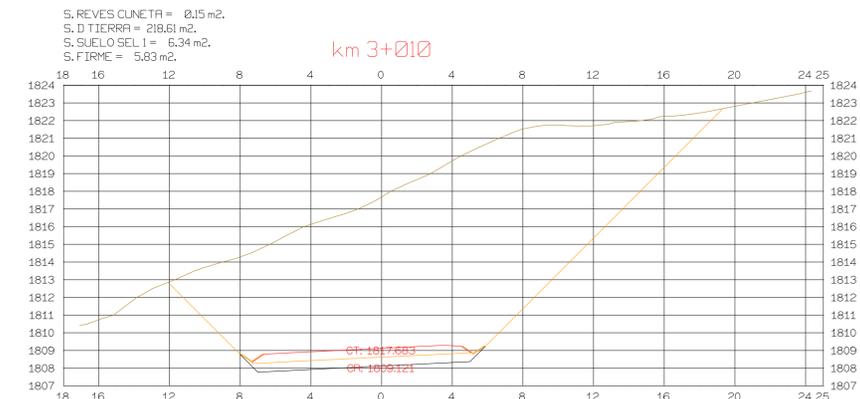
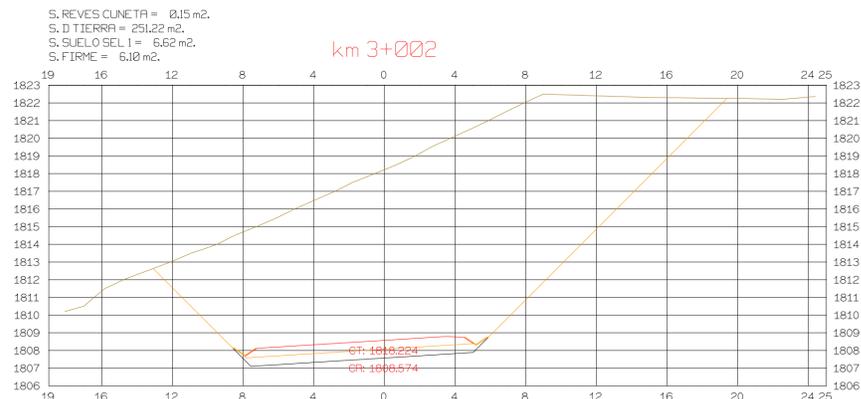
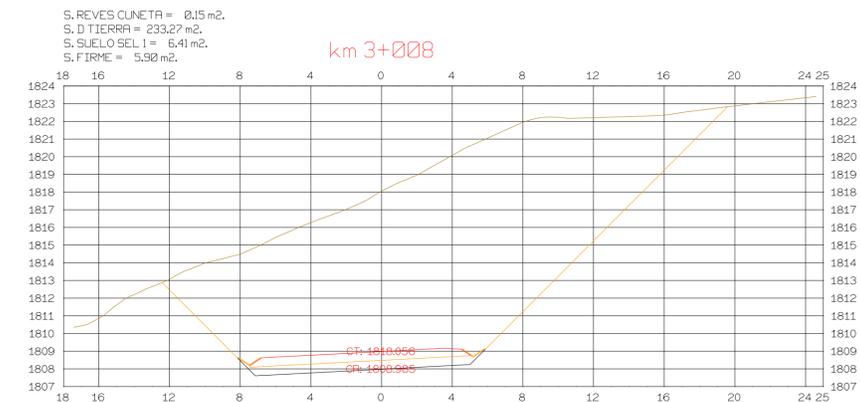
km 2+996

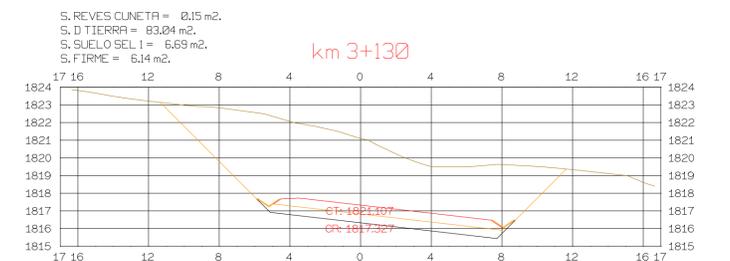
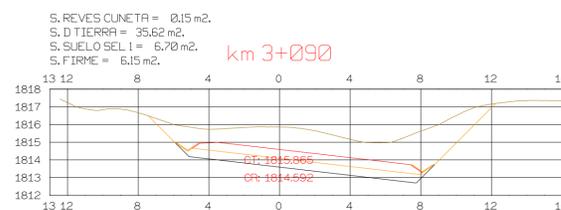
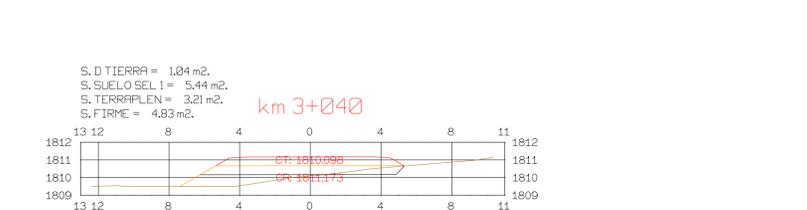
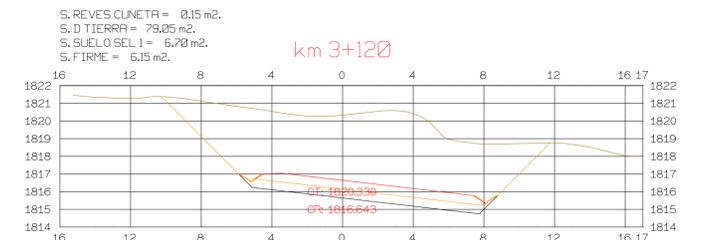
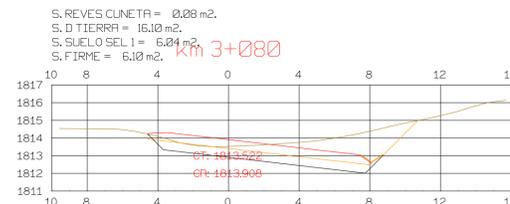
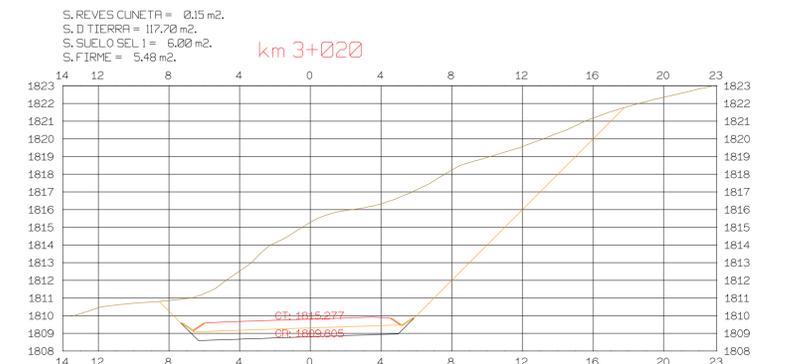
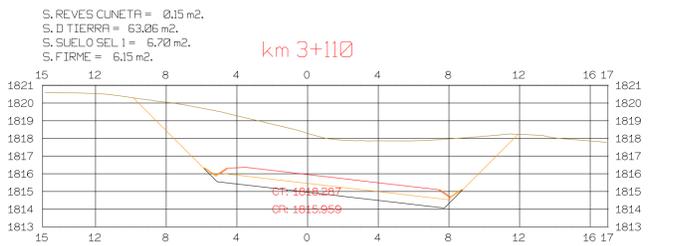
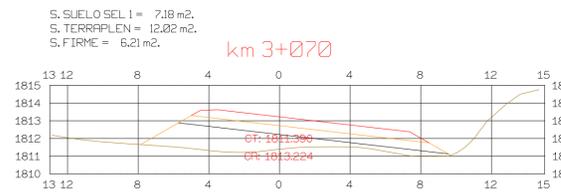
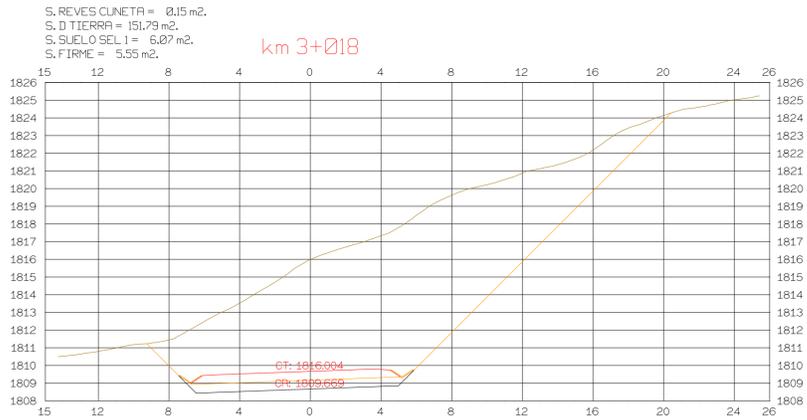
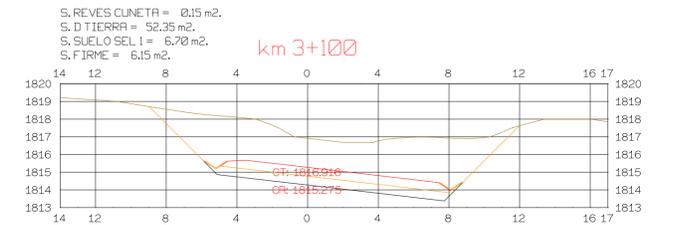
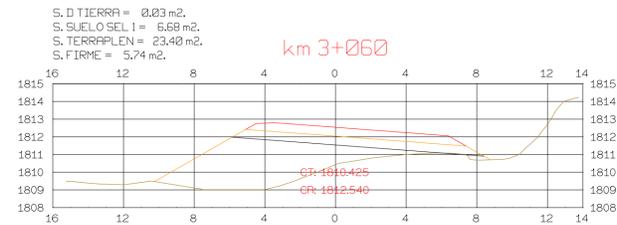
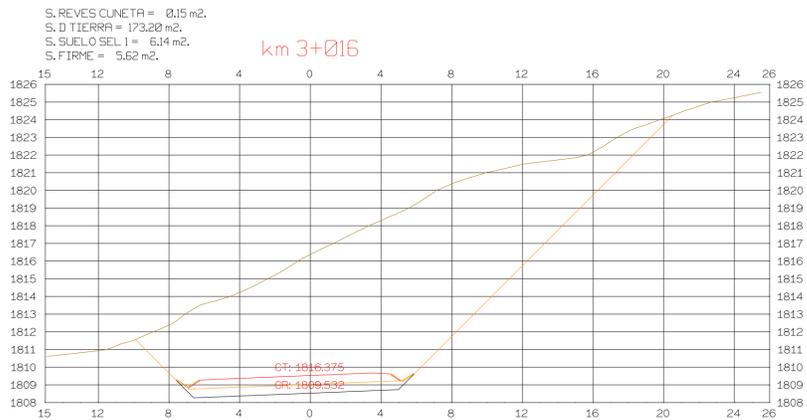


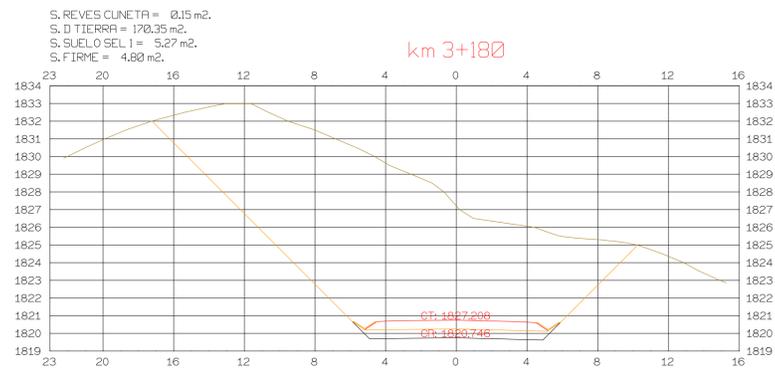
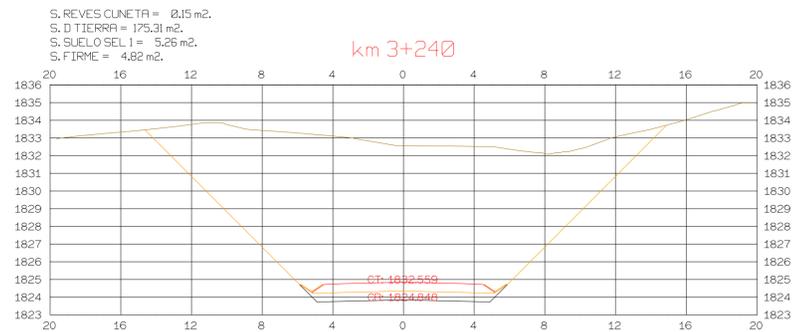
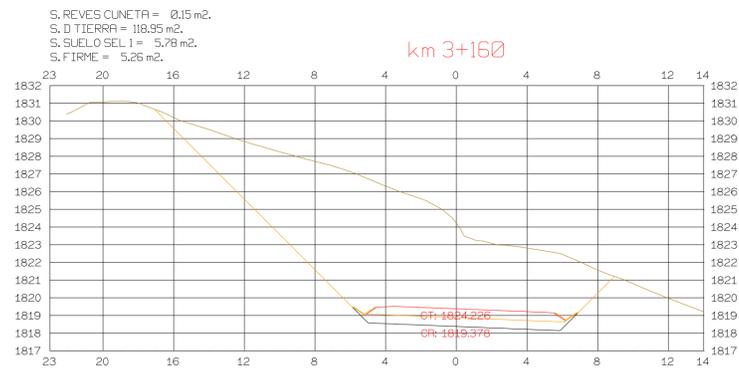
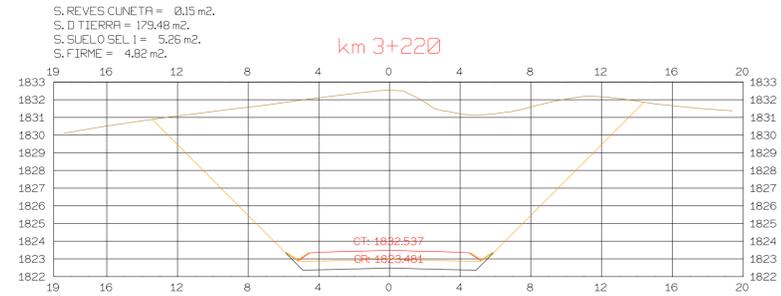
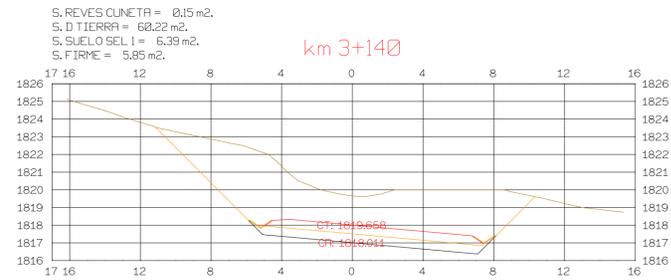
S. REVES CUNETTA = 0,15 m².
 S. D TIERRA = 248,50 m².
 S. SUELO SEL 1 = 6,76 m².
 S. FIRME = 6,23 m².

km 2+998









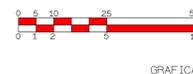
Istram V.22.11.11.03 EDUCACIONAL 2000



DIRECCION
DE DESARROLLO

ISPOL

ESCALAS
HORIZONTAL 1 : 1000
VERTICAL 1 : 200



PROYECTO : AUTOPISTA
DE AQUI A ALLI
TRAMO : PRIMERO

NOMBRE PLANO :
TESIS DE PREGRADO
Autor: Manuel Fernandez
Asesor: Fernando Campos

DIRECCION GENERAL
DEL PROYECTO
EL UNO

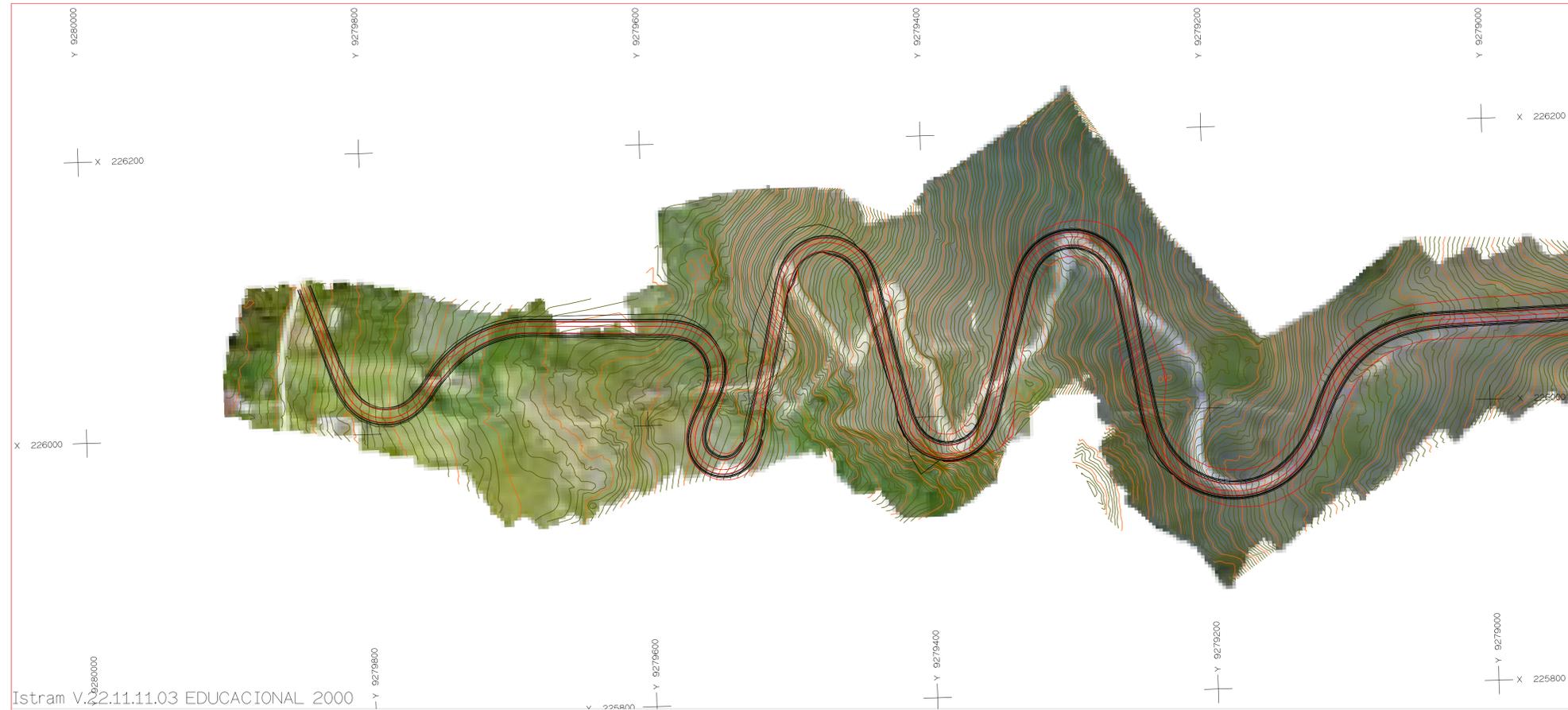
DIRECCION TECNICA
DEL PROYECTO
EL OTRO

FECHA
13/04/2023
Número
29
Hoja ___ de ___



ANEXO 0

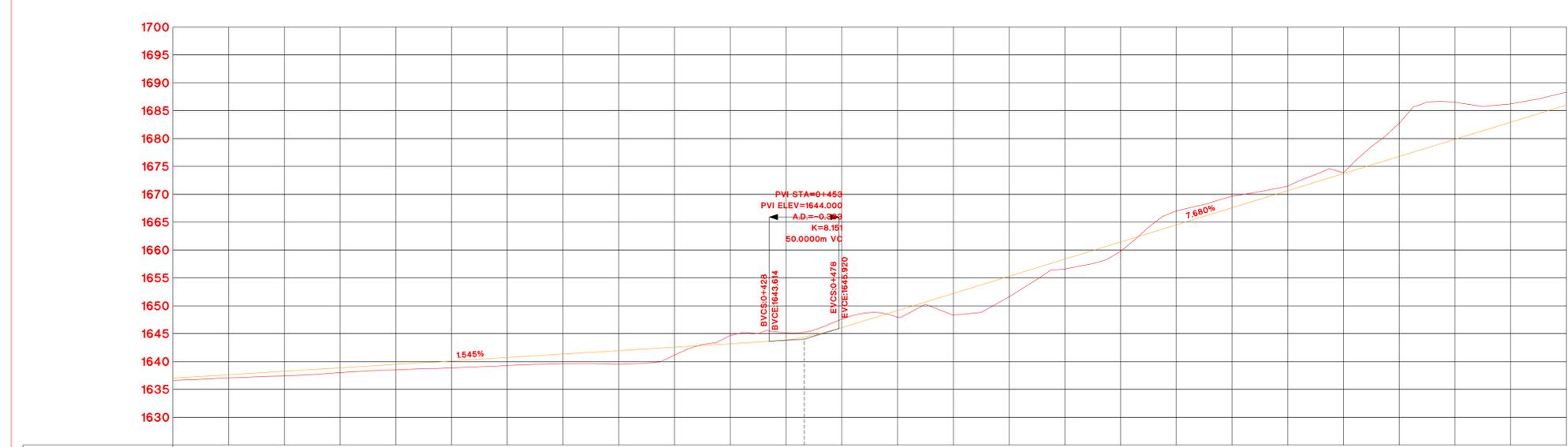
PLANOS DE DISEÑO DE LA PROPUESTA 2



CUADRO DE ELEMENTOS DE CURVA

Nº	SENTIDO	FUNC.	RHEO	PT	T	PC	Lc	PT	E _{cl}	COORDENADAS UTM		Pc	S _{cl}
										NORTE	ESTE		
1	I	-87°44'00"	30	0+113.15	78.572	0+113.150	36.890	0+113.150	40.844	9279784.237	225870.144	12%	2.900
2	D	87°39'30"	80	0+152.889	45.195	0+152.889	82.278	0+152.889	11.853	9279797.572	225870.170	7%	1.300
3	D	107°24'00"	30	0+182.889	66.255	0+182.889	31.471	0+182.889	18.384	9279808.440	225868.478	12%	2.900
4	I	-107°37'00"	20	0+448.488	127.556	0+448.488	38.924	0+448.488	6.872	9279848.840	225870.800	10%	3.500
5	D	88°08'30"	30	0+472.842	163.970	0+472.842	51.856	0+472.842	122.331	9279870.205	225868.708	12%	2.900
6	I	-88°47'48"	30	0+482.392	148.748	0+482.392	50.493	0+482.392	107.468	9279888.542	225868.850	12%	2.900
7	D	107°30'00"	35	0+527.280	189.066	0+527.280	65.862	0+527.280	142.853	9279908.624	225870.200	12%	2.900
8	I	-107°30'00"	60	0+588.810	238.158	0+588.810	126.666	0+588.810	171.256	9279927.403	225870.400	6%	1.700

Istram V.22.11.11.03 EDUCACIONAL 2000



PENDIENTE	1.545%		7.680%	
COTA SUBRASANTE	1636.620	1637.000	1637.000	1637.000
COTA TERRENO	1637.048	1637.918	1638.236	1638.554
ALTURA CORTE	0.380	0.260	0.222	0.244
ALTURA RELLENO	0.380	0.260	0.222	0.244
ALINEAMIENTO	RECTA A=30 PI-N 1 R=30 A=30 R=80 PI-N 2 RECTA A=30 R=30 PI-N 3 A=30 PI-N 4 R=20 A=24 RECTA A=30 R=30 PI-N 5 A=30 RECTA A=30 R=30 PI-N 6 A=30 RECTA A=32			
KILOMETRAJE	0+000	0+010	0+020	0+030
	0+040	0+050	0+060	0+070
	0+080	0+090	0+100	0+110
	0+120	0+130	0+140	0+150
	0+160	0+170	0+180	0+190
	0+200	0+210	0+220	0+230
	0+240	0+250	0+260	0+270
	0+280	0+290	0+300	0+310
	0+320	0+330	0+340	0+350
	0+360	0+370	0+380	0+390
	0+400	0+410	0+420	0+430
	0+440	0+450	0+460	0+470
	0+480	0+490	0+500	0+510
	0+520	0+530	0+540	0+550
	0+560	0+570	0+580	0+590
	0+600	0+610	0+620	0+630
	0+640	0+650	0+660	0+670
	0+680	0+690	0+700	0+710
	0+720	0+730	0+740	0+750
	0+760	0+770	0+780	0+790
	0+800	0+810	0+820	0+830
	0+840	0+850	0+860	0+870
	0+880	0+890	0+900	0+910
	0+920	0+930	0+940	0+950
	0+960	0+970	0+980	0+990
	1+000			

Istram V.22.11.11.03 EDUCACIONAL 2000



DIRECCION DE DESARROLLO

ISPOL

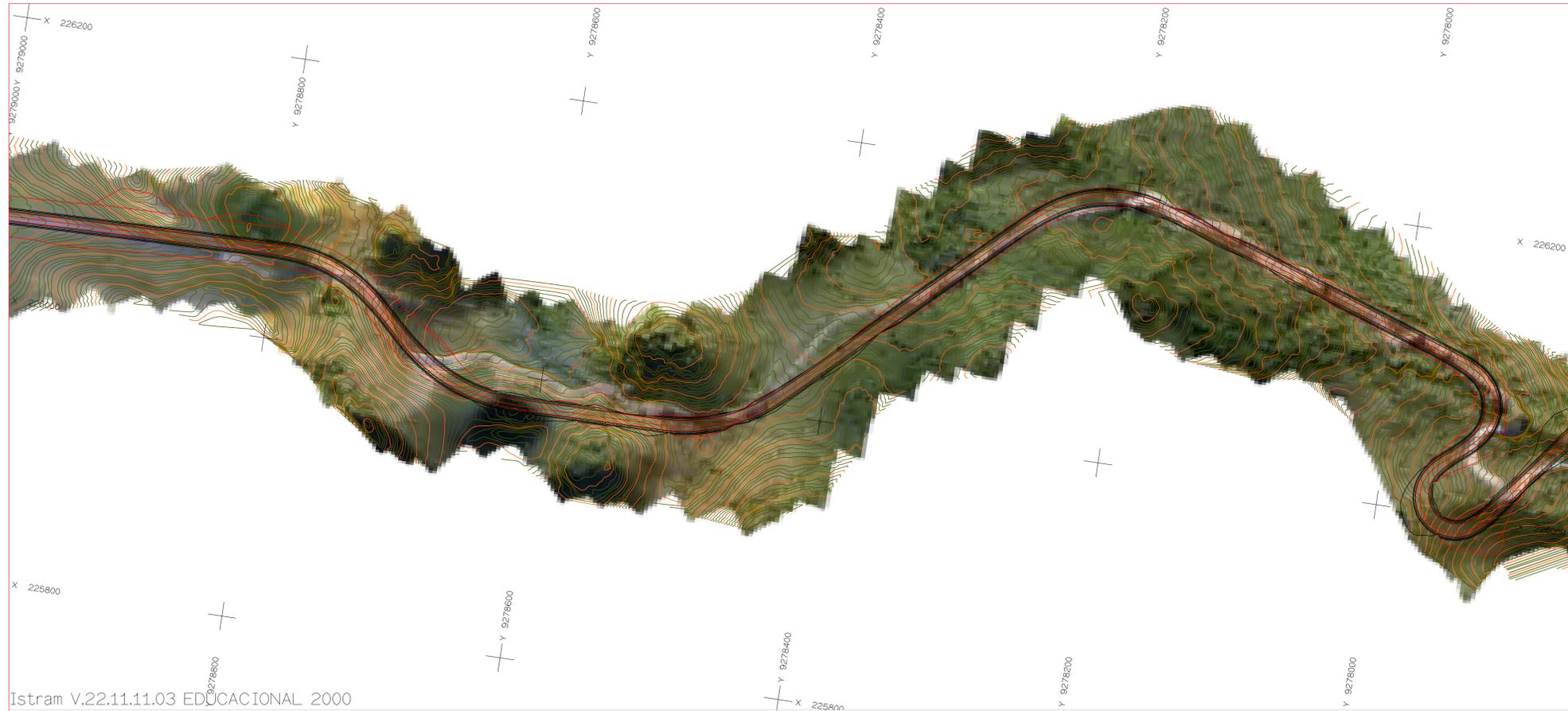
ESCALAS
HORIZONTAL 1 : 1000
VERTICAL 1 : 200

PROYECTO : AUTOPISTA DE AQUI A ALLI
TRAMO : PRIMERO

NOMBRE PLANO : TESIS DE PREGRADO
Autor: Manuel Fernandez
Asesor: Fernando Campos

DIRECCION GENERAL DEL PROYECTO : EL UNO
DIRECCION TECNICA DEL PROYECTO : EL OTRO

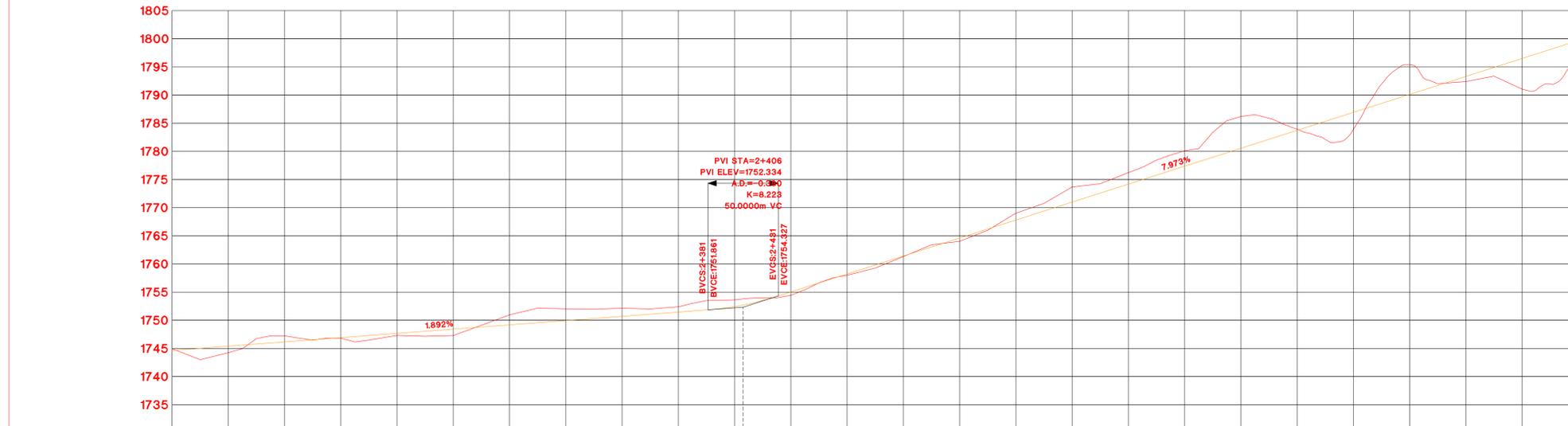
FECHA : 13/04/2023
Número : 1
Hoja : 06



Istram V.22.11.11.03 EDUCACIONAL 2000

CUADRO DE ELEMENTOS DE CURVA

Nº	SENTIDO	FUNC.	RHEO	PT	T	PC	Lc	PT	Ect	COORDENADAS LIT.L		Pc	S-R
										NORTE	ESTE		
5	D	90°30'30"	30	0+473.826	163.970	0+473.826	51.856	0+770.261	123.331	0+770.261	22044.378	12%	2.900
6	I	-90°30'30"	30	0+482.282	148.748	0+482.282	50.493	0+817.826	107.468	0+817.826	22045.800	12%	2.900
7	D	90°30'30"	35	1+087.280	189.066	1+087.280	65.662	1+303.091	142.853	1+303.091	22049.209	11%	2.600
8	I	-90°30'30"	60	1+388.833	238.138	1+388.833	126.666	1+684.848	171.256	1+684.848	22057.409	8%	1.700
9	D	90°30'30"	80	1+444.382	68.506	1+444.382	63.912	1+608.888	16.643	1+608.888	22056.607	7%	1.300
10	D	90°30'30"	100	1+778.201	57.097	1+778.201	65.323	1+834.223	8.849	1+834.223	22064.407	6%	1.100
11	I	-90°30'30"	120	1+888.285	65.319	1+888.285	65.085	1+994.307	10.414	1+994.307	22078.409	5%	1.000
12	I	-90°30'30"	50	2+048.282	48.854	2+048.282	38.356	2+077.091	8.926	2+077.091	22081.307	5%	1.000
13	D	90°30'30"	90	2+148.800	69.373	2+148.800	67.476	2+415.288	15.513	2+415.288	22082.300	6%	1.200
14	D	90°30'30"	30	2+470.880	73.074	2+470.880	34.690	2+470.880	28.722	2+470.880	22098.308	12%	2.900
15	I	-90°30'30"	25	2+503.374	181.056	2+503.374	55.259	2+646.307	74.283	2+646.307	22094.308	11%	3.400
16	D	90°30'30"	25	2+588.288	487.626	2+588.288	45.742	2+673.888	436.427	2+673.888	22094.308	12%	3.400
17	I	-90°30'30"	25	2+688.288	256.378	2+688.288	43.080	2+673.888	174.193	2+673.888	22094.308	12%	3.400
18	D	90°30'30"	30	2+808.282	139.083	2+808.282	49.464	2+846.416	98.075	2+846.416	22097.409	12%	2.900



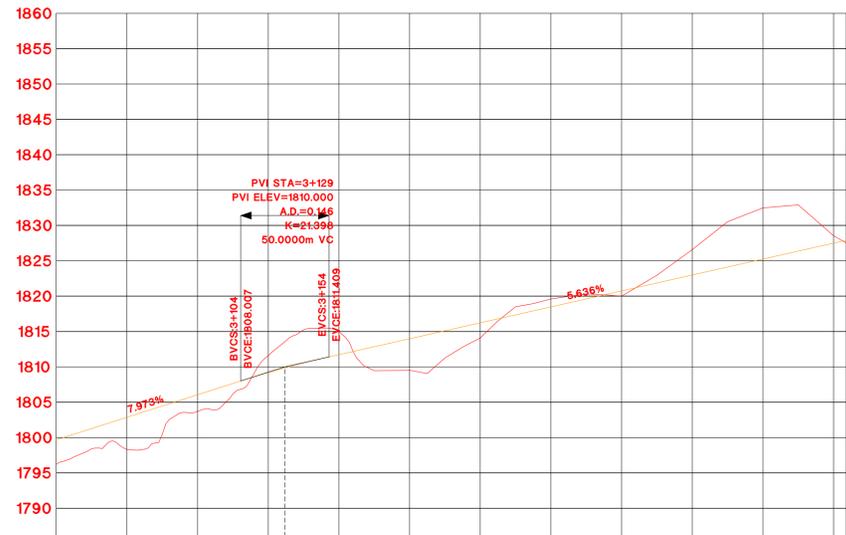
PENDIENTE	1.892% 443 m.		7.973% 673 m.																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
COTA SUBRASANTE	1744.534	1745.008	1746.863	1748.434	1749.981	1751.461	1752.934	1754.408	1755.888	1757.365	1758.842	1760.319	1761.796	1763.273	1764.750	1766.227	1767.704	1769.181	1770.658	1772.135	1773.612	1775.089	1776.566	1778.043	1779.520	1780.997	1782.474	1783.951	1785.428	1786.905	1788.382	1789.859	1791.336	1792.813	1794.290	1795.767	1797.244	1798.721	1800.198	1801.675	1803.152	1804.629	1806.106	1807.583	1809.060	1810.537	1812.014	1813.491	1814.968	1816.445	1817.922	1819.399	1820.876	1822.353	1823.830	1825.307	1826.784	1828.261	1829.738	1831.215	1832.692	1834.169	1835.646	1837.123	1838.600	1840.077	1841.554	1843.031	1844.508	1845.985	1847.462	1848.939	1850.416	1851.893	1853.370	1854.847	1856.324	1857.801	1859.278	1860.755	1862.232	1863.709	1865.186	1866.663	1868.140	1869.617	1871.094	1872.571	1874.048	1875.525	1877.002	1878.479	1879.956	1881.433	1882.910	1884.387	1885.864	1887.341	1888.818	1890.295	1891.772	1893.249	1894.726	1896.203	1897.680	1899.157	1900.634	1902.111	1903.588	1905.065	1906.542	1908.019	1909.496	1910.973	1912.450	1913.927	1915.404	1916.881	1918.358	1919.835	1921.312	1922.789	1924.266	1925.743	1927.220	1928.697	1930.174	1931.651	1933.128	1934.605	1936.082	1937.559	1939.036	1940.513	1941.990	1943.467	1944.944	1946.421	1947.898	1949.375	1950.852	1952.329	1953.806	1955.283	1956.760	1958.237	1959.714	1961.191	1962.668	1964.145	1965.622	1967.099	1968.576	1970.053	1971.530	1973.007	1974.484	1975.961	1977.438	1978.915	1980.392	1981.869	1983.346	1984.823	1986.300	1987.777	1989.254	1990.731	1992.208	1993.685	1995.162	1996.639	1998.116	1999.593	2001.070	2002.547	2004.024	2005.501	2006.978	2008.455	2009.932	2011.409	2012.886	2014.363	2015.840	2017.317	2018.794	2020.271	2021.748	2023.225	2024.702	2026.179	2027.656	2029.133	2030.610	2032.087	2033.564	2035.041	2036.518	2037.995	2039.472	2040.949	2042.426	2043.903	2045.380	2046.857	2048.334	2049.811	2051.288	2052.765	2054.242	2055.719	2057.196	2058.673	2060.150	2061.627	2063.104	2064.581	2066.058	2067.535	2069.012	2070.489	2071.966	2073.443	2074.920	2076.397	2077.874	2079.351	2080.828	2082.305	2083.782	2085.259	2086.736	2088.213	2089.690	2091.167	2092.644	2094.121	2095.598	2097.075	2098.552	2099.999	2101.476	2102.953	2104.430	2105.907	2107.384	2108.861	2110.338	2111.815	2113.292	2114.769	2116.246	2117.723	2119.200	2120.677	2122.154	2123.631	2125.108	2126.585	2128.062	2129.539	2131.016	2132.493	2133.970	2135.447	2136.924	2138.401	2139.878	2141.355	2142.832	2144.309	2145.786	2147.263	2148.740	2150.217	2151.694	2153.171	2154.648	2156.125	2157.602	2159.079	2160.556	2162.033	2163.510	2164.987	2166.464	2167.941	2169.418	2170.895	2172.372	2173.849	2175.326	2176.803	2178.280	2179.757	2181.234	2182.711	2184.188	2185.665	2187.142	2188.619	2190.096	2191.573	2193.050	2194.527	2196.004	2197.481	2198.958	2200.435	2201.912	2203.389	2204.866	2206.343	2207.820	2209.297	2210.774	2212.251	2213.728	2215.205	2216.682	2218.159	2219.636	2221.113	2222.590	2224.067	2225.544	2227.021	2228.498	2229.975	2231.452	2232.929	2234.406	2235.883	2237.360	2238.837	2240.314	2241.791	2243.268	2244.745	2246.222	2247.699	2249.176	2250.653	2252.130	2253.607	2255.084	2256.561	2258.038	2259.515	2260.992	2262.469	2263.946	2265.423	2266.900	2268.377	2269.854	2271.331	2272.808	2274.285	2275.762	2277.239	2278.716	2280.193	2281.670	2283.147	2284.624	2286.101	2287.578	2289.055	2290.532	2292.009	2293.486	2294.963	2296.440	2297.917	2299.394	2300.871	2302.348	2303.825	2305.302	2306.779	2308.256	2309.733	2311.210	2312.687	2314.164	2315.641	2317.118	2318.595	2320.072	2321.549	2323.026	2324.503	2325.980	2327.457	2328.934	2330.411	2331.888	2333.365	2334.842	2336.319	2337.796	2339.273	2340.750	2342.227	2343.704	2345.181	2346.658	2348.135	2349.612	2351.089	2352.566	2354.043	2355.520	2356.997	2358.474	2359.951	2361.428	2362.905	2364.382	2365.859	2367.336	2368.813	2370.290	2371.767	2373.244	2374.721	2376.198	2377.675	2379.152	2380.629	2382.106	2383.583	2385.060	2386.537	2388.014	2389.491	2390.968	2392.445	2393.922	2395.399	2396.876	2398.353	2399.830	2401.307	2402.784	2404.261	2405.738	2407.215	2408.692	2410.169	2411.646	2413.123	2414.600	2416.077	2417.554	2419.031	2420.508	2421.985	2423.462	2424.939	2426.416	2427.893	2429.370	2430.847	2432.324	2433.801	2435.278	2436.755	2438.232	2439.709	2441.186	2442.663	2444.140	2445.617	2447.094	2448.571	2450.048	2451.525	2452.999	2454.476	2455.953	2457.430	2458.907	2460.384	2461.861	2463.338	2464.815	2466.292	2467.769	2469.246	2470.723	2472.200	2473.677	2475.154	2476.631	2478.108	2479.585	2481.062	2482.539	2484.016	2485.493	2486.970	2488.447	2489.924	2491.401	2492.878	2494.355	2495.832	2497.309	2498.786	2500.263	2501.740	2503.217	2504.694	2506.171	2507.648	2509.125	2510.602	2512.079	2513.556	2515.033	2516.510	2517.987	2519.464	2520.941	2522.418	2523.895	2525.372	2526.849	2528.326	2529.803	2531.280	2532.757	2534.234	2535.711	2537.188	2538.665	2540.142	2541.619	2543.096	2544.573	2546.050	2547.527	2549.004	2550.481	2551.958	2553.435	2554.912	2556.389	2557.866	2559.343	2560.820	2562.297	2563.774	2565.251	2566.728	2568.205	2569.682	2571.159	2572.636	2574.113	2575.590	2577.067	2578.544	2580.021	2581.498	2582.975	2584.452	2585.929	2587.406	2588.883	2590.360	2591.837	2593.314	2594.791	2596.268	2597.745	2599.222	2600.699	2602.176	2603.653	2605.130	2606.607	2608.084	2609.561	2611.038	2612.515	2613.992	2615.469	2616.946	2618.423	2619.900	2621.377	2622.854	2624.331	2625.808	2627.285	2628.762	2630.239	2631.716	2633.193	2634.670	2636.147	2637.624	2639.101	2640.578	2642.055	2643.532	2645.009	2646.486	2647.963	2649.440	2650.917	2652.394	2653.871	2655.348	2656.825	2658.302	2659.779	2661.256	2662.733	2664.210	2665.687	2667.164	2668.641	2670.118	2671.595	2673.072	2674.549	2676.026	2677.503	2678.980	2680.457	2681.934	2683.411	2684.888	2686.365	2687.842	2689.319	2690.796	2692.273	2693.750	2695.227	2696.704	2698.181	2699.658	2701.135	2702.612	2704.089	2705.566	2707.043	2708.520	2709.997	2711.474	2712.951	2714.428	2715.905	2717.382	2718.859	2720.336	2721.813	2723.290	2724.767	2726.244	2727.721	2729.198	2730.675



CUADRO DE ELEMENTOS DE CURVA

Nº	SENTIDO	FUNC.	R(M)	PT	T	PC	Lc	PT	E _{al}	COORDENADAS UTM		P%	S-PI
										NORTE	ESTE		
10	D	AV	100	1778.000	57.097	1778.000	65.323	1784.233	8.849	927800.234	226844.447	6%	1.000
11	I	AV	120	1808.760	65.319	1808.760	65.085	1808.307	10.414	927869.046	226974.428	5%	1.000
12	I	AV	120	2143.300	46.864	2143.300	69.356	2147.041	8.826	927844.084	226981.187	5%	1.000
13	D	AV	90	2140.800	69.373	2140.800	67.476	2147.041	15.513	927839.800	226982.300	6%	1.200
14	D	AV	30	2171.600	73.074	2171.600	34.690	2171.600	28.722	927781.972	226984.286	12%	2.900
15	I	AV	25	2103.374	181.056	2103.374	55.259	2103.374	74.283	927704.692	226954.522	11%	3.400
16	D	AV	25	2103.308	487.626	2103.308	45.742	2103.308	436.427	927700.576	226949.830	12%	3.400
17	I	AV	25	2103.308	256.376	2103.308	43.090	2103.308	174.193	927704.692	226949.830	12%	3.400
18	D	AV	90	2103.308	139.083	2103.308	49.454	2103.308	98.075	927704.692	226949.830	12%	2.900

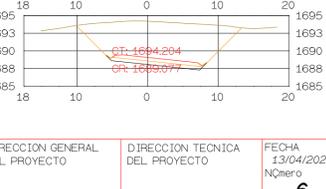
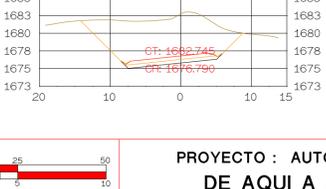
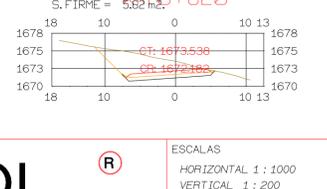
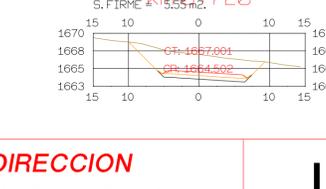
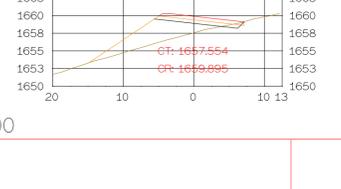
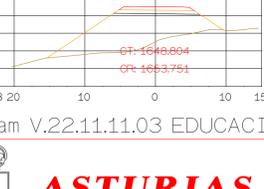
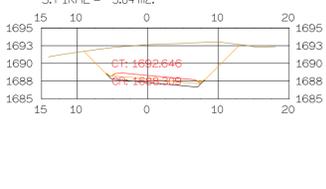
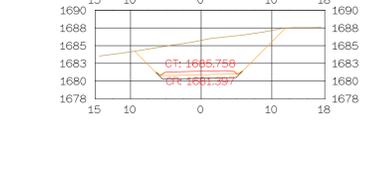
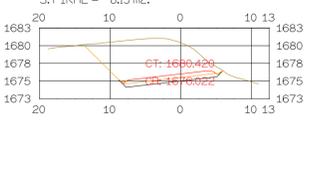
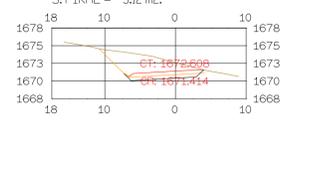
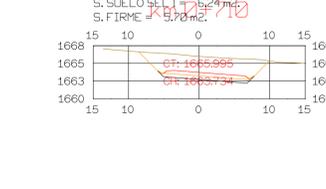
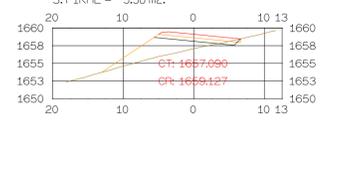
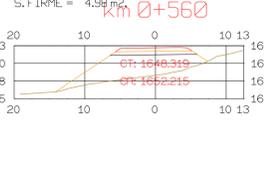
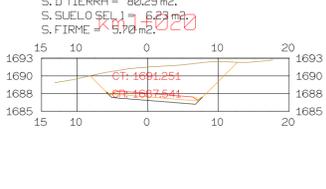
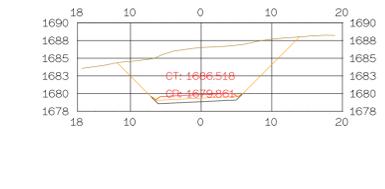
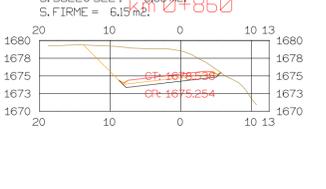
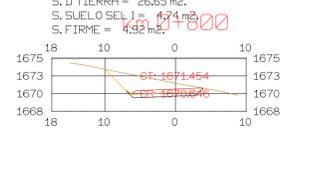
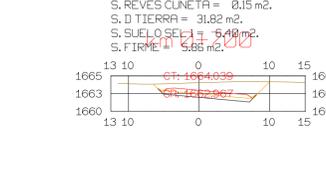
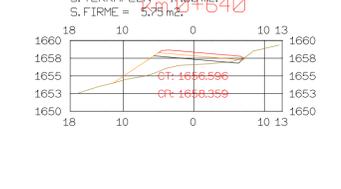
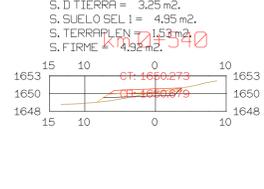
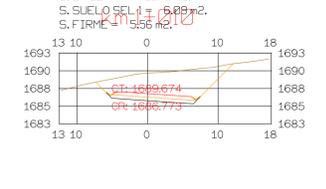
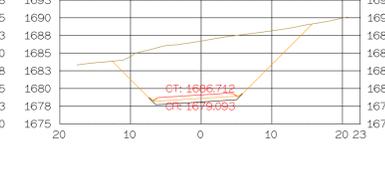
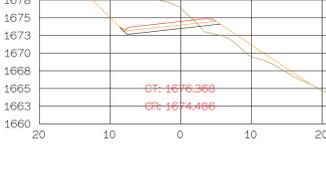
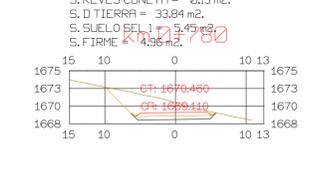
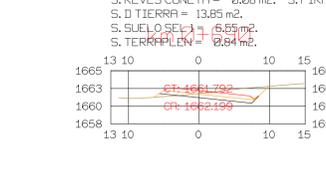
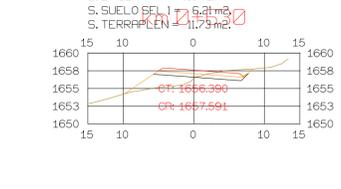
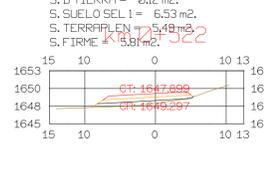
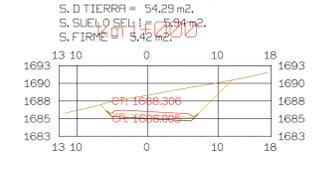
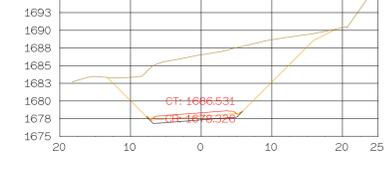
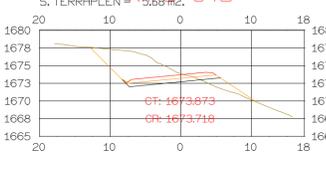
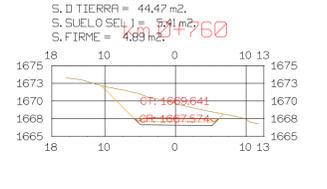
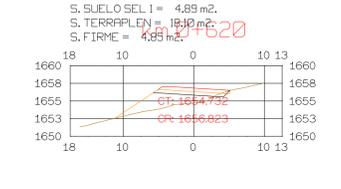
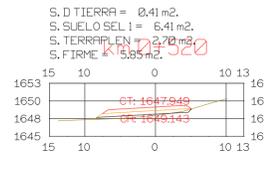
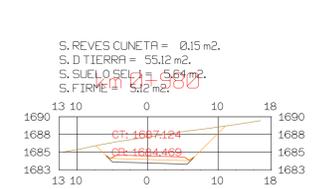
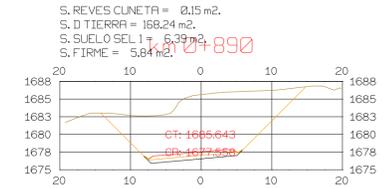
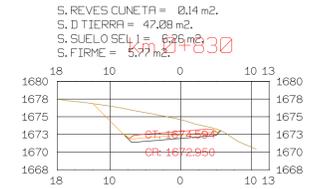
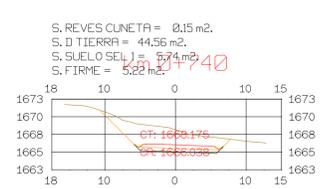
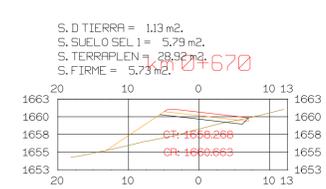
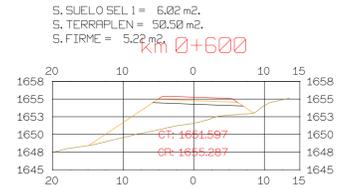
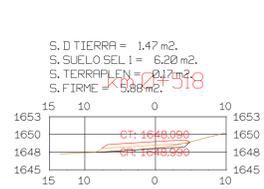
Istram V.22.11.11.03 EDUCACIONAL 2000



PENDIENTE	5.636%																																												
COTA SUBRASANTE	1796.216	1799.690	1802.669	1806.058	1809.990	1811.722	1813.976	1816.231	1818.485	1820.740	1822.994	1825.248	1827.503	1827.503																															
COTA TERRENO	1796.216	1798.315	1802.669	1803.730	1811.586	1809.990	1814.940	1813.976	1814.095	1818.485	1826.579	1825.248	1826.508	1827.503																															
ALTURA CORTE					2.399																																								
ALTURA RELLENO	3.483	4.564	2.328			3.218	4.459	2.106	1.118	0.740	3.886	7.230	1.035	0.394																															
ALINEAMIENTO																																													
KILOMETRAJE	3+000	3+010	3+020	3+030	3+040	3+050	3+060	3+070	3+080	3+090	3+100	3+110	3+120	3+130	3+140	3+150	3+160	3+170	3+180	3+190	3+200	3+210	3+220	3+230	3+240	3+250	3+260	3+270	3+280	3+290	3+300	3+310	3+320	3+330	3+340	3+350	3+360	3+370	3+380	3+390	3+400	3+410	3+420	3+430	3+440

Istram V.22.11.11.03 EDUCACIONAL 2000





Istram V.22.11.11.03 EDUCACIONAL 2000



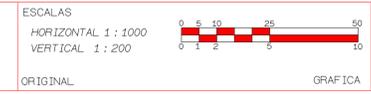
DIRECCION DE DESARROLLO

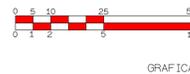
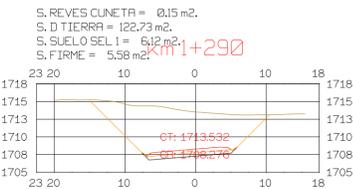
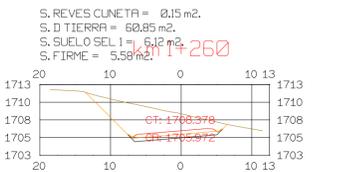
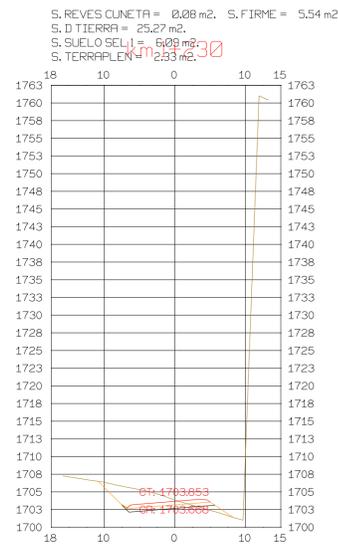
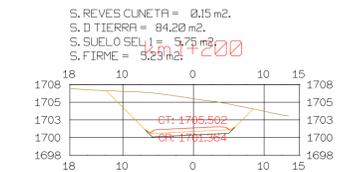
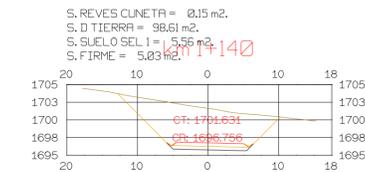
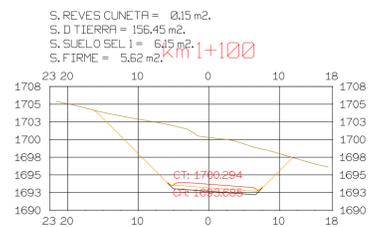
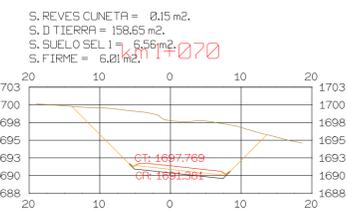
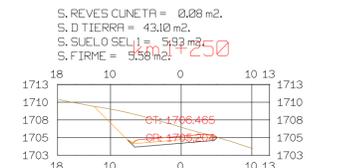
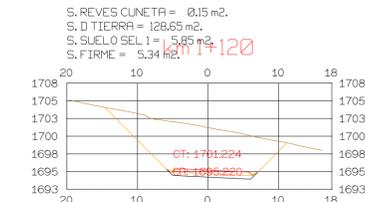
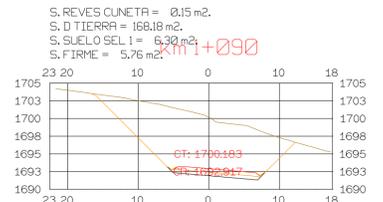
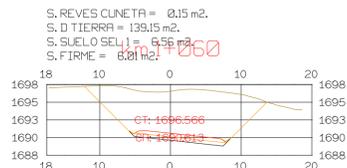
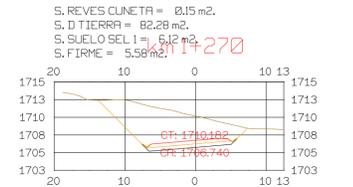
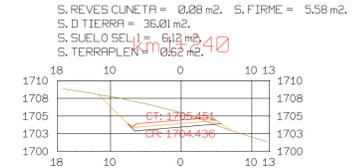
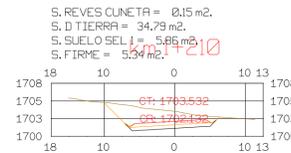
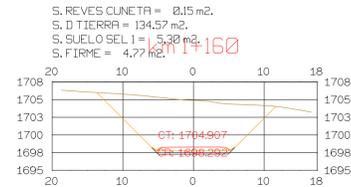
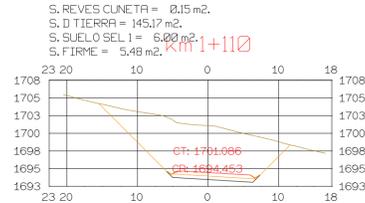
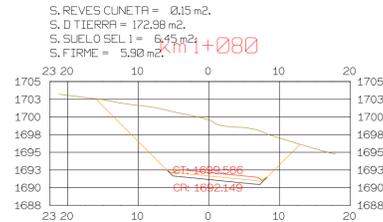
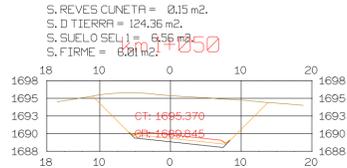
ISPOL

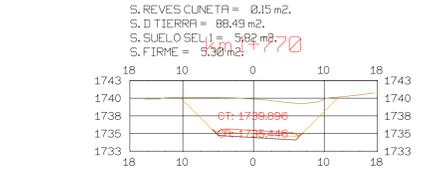
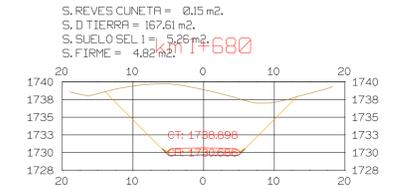
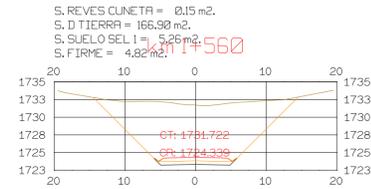
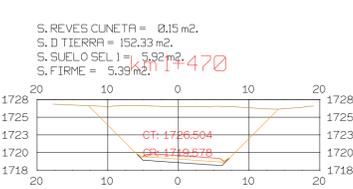
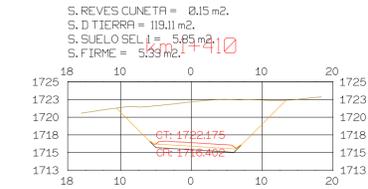
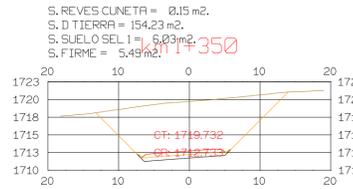
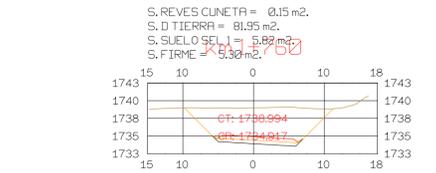
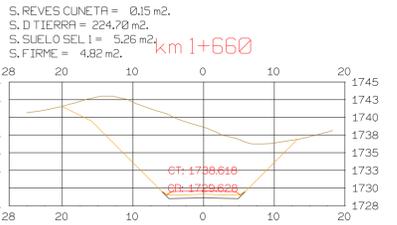
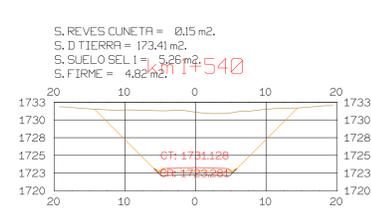
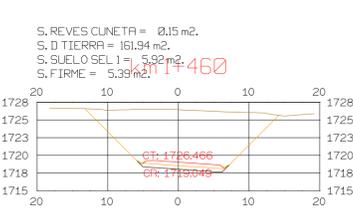
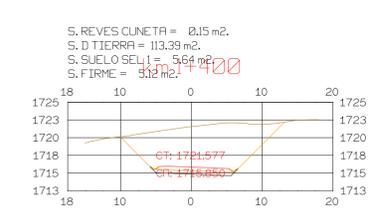
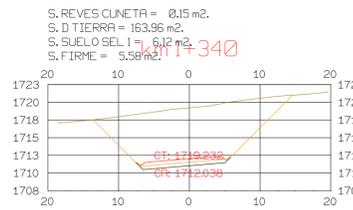
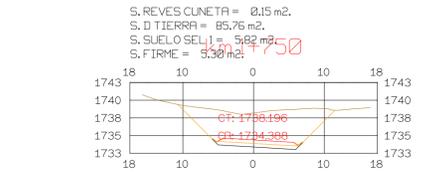
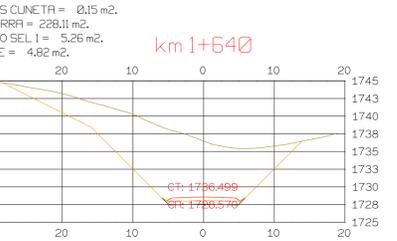
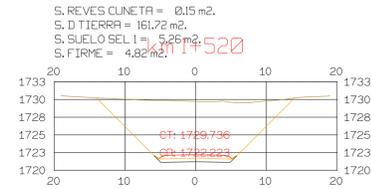
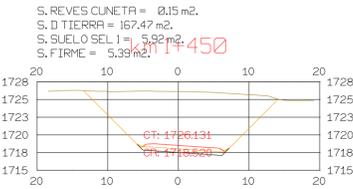
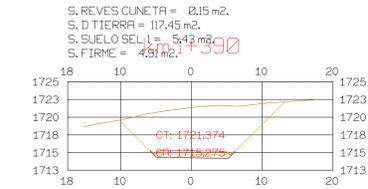
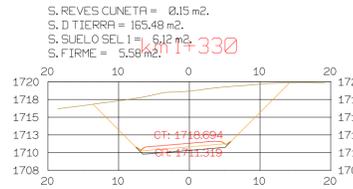
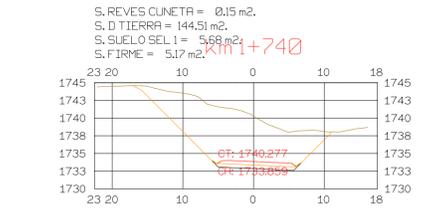
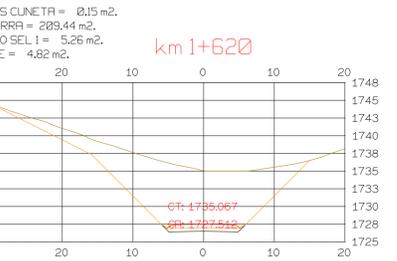
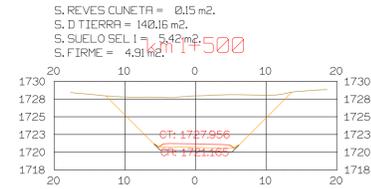
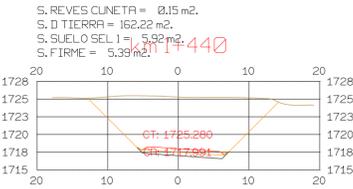
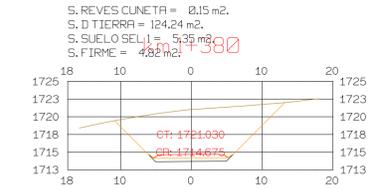
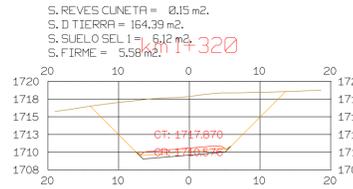
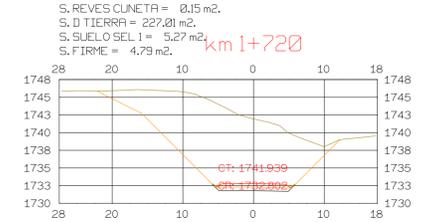
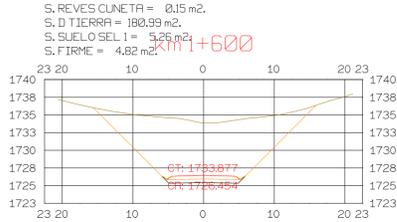
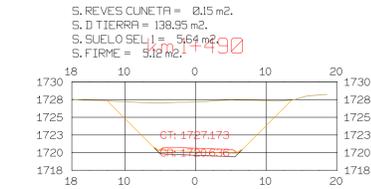
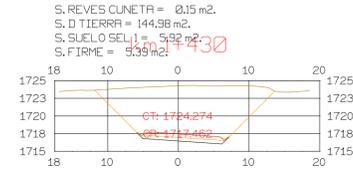
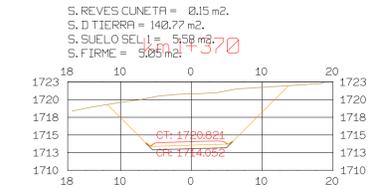
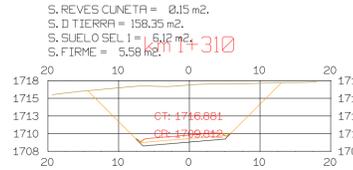
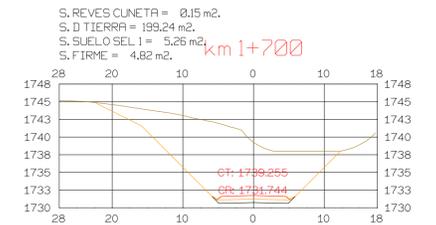
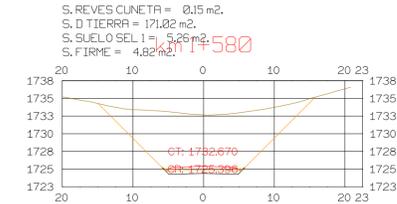
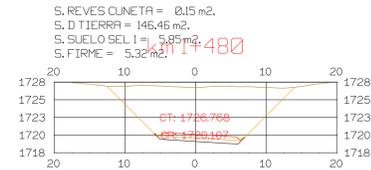
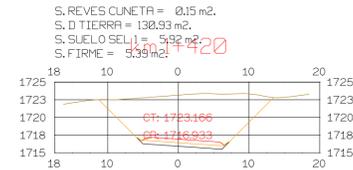
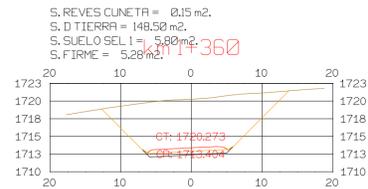
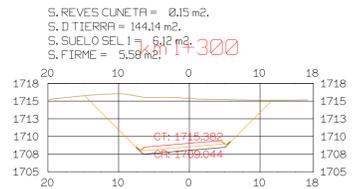
PROYECTO : AUTOPISTA DE AQUI A ALLI TRAMO : PRIMERO

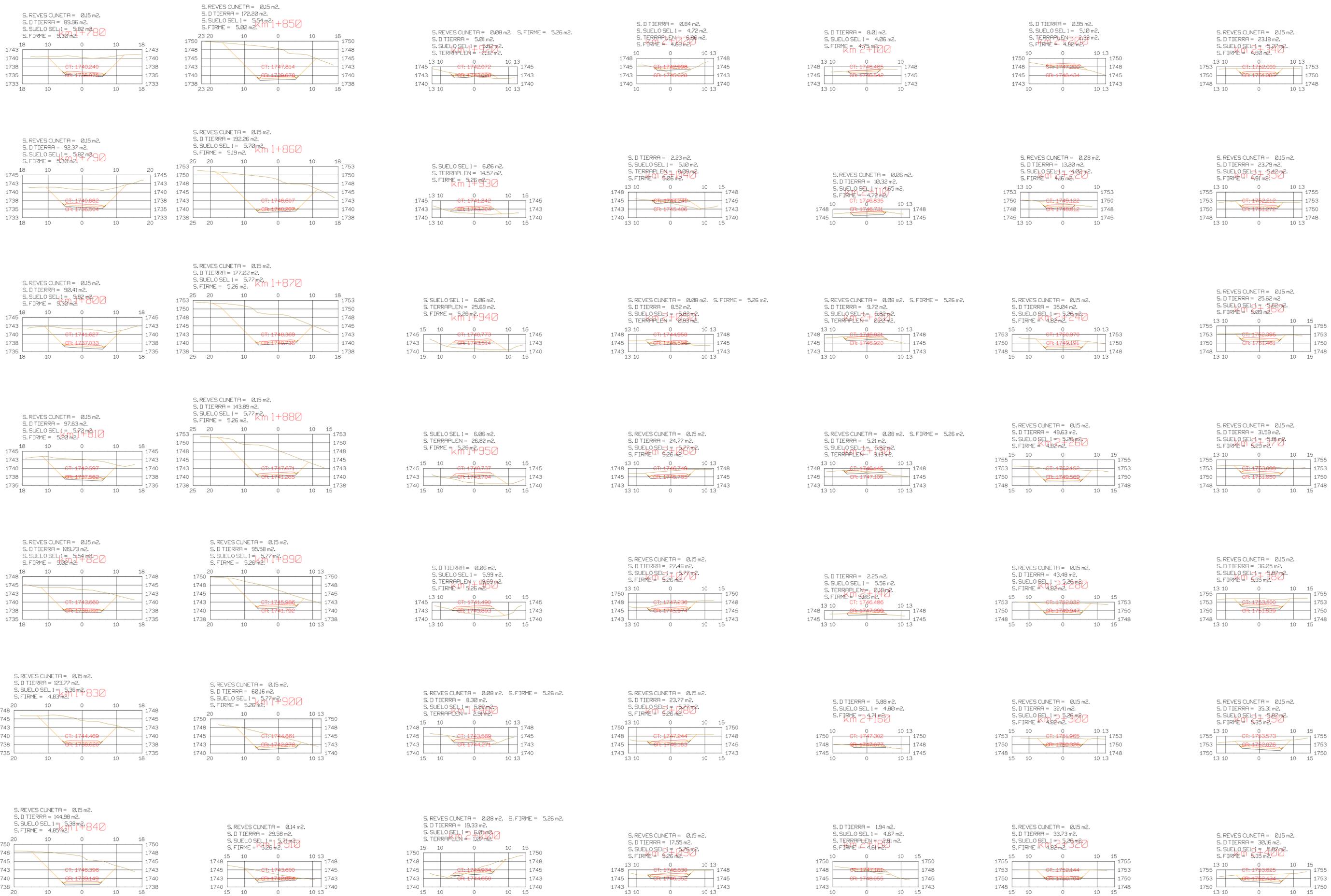
NOMBRE PLANO : TESIS DE PREGRADO Autor: Manuel Fernandez Asesor: Fernando Campos

DIRECCION GENERAL DEL PROYECTO : EL UNO DIRECCION TECNICA DEL PROYECTO : EL OTRO FECHA 13/04/2023 NÚMERO 6 Hoja ___de___









Istram V.22.11.11.03 EDUCACIONAL 2000



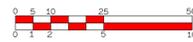
ASTURIAS

**DIRECCION
DE DESARROLLO**

ISPOL



ESCALAS
HORIZONTAL 1 : 1000
VERTICAL 1 : 200
ORIGINAL



GRAFICA

**PROYECTO : AUTOPISTA
DE AQUI A ALLI
TRAMO : PRIMERO**

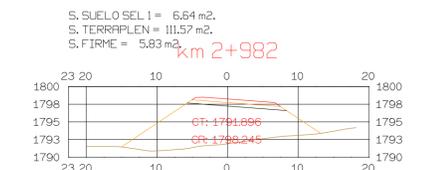
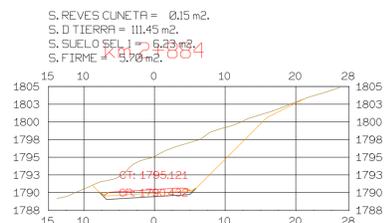
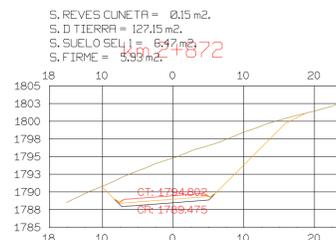
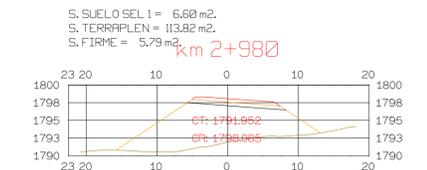
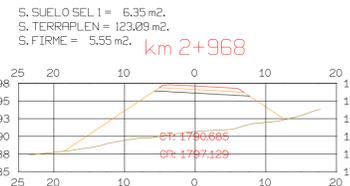
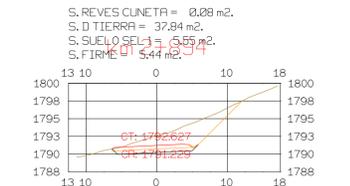
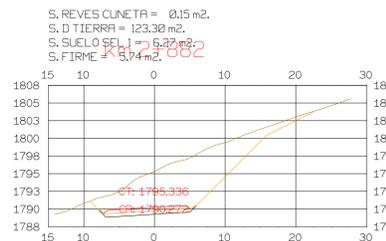
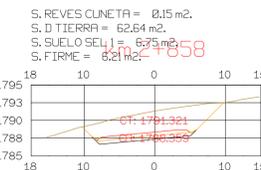
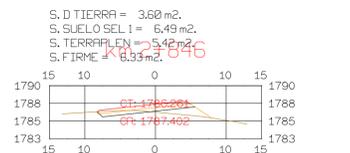
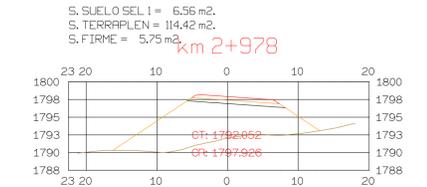
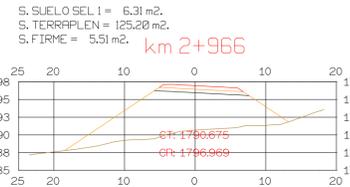
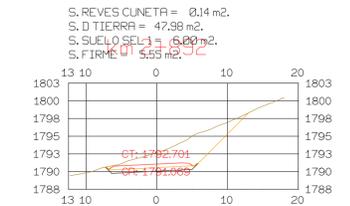
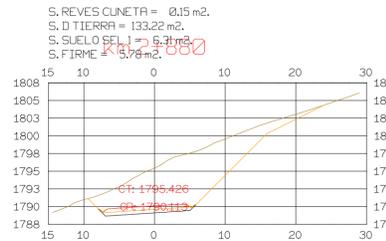
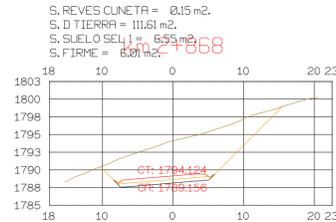
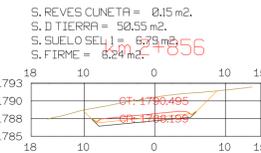
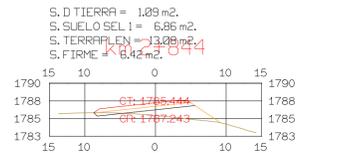
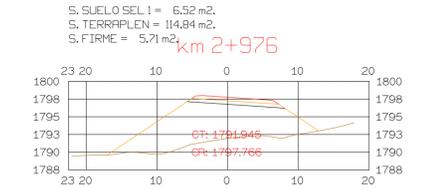
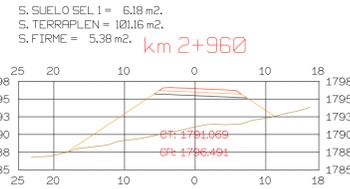
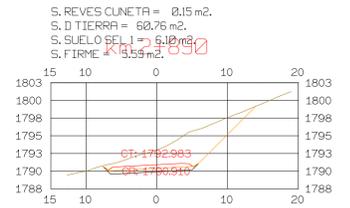
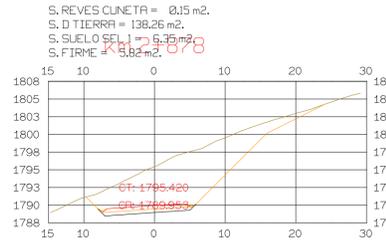
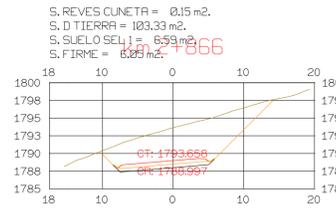
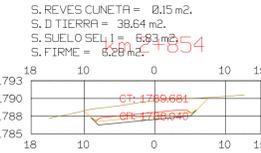
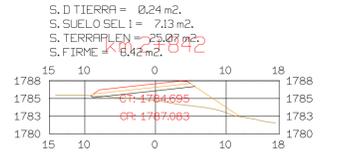
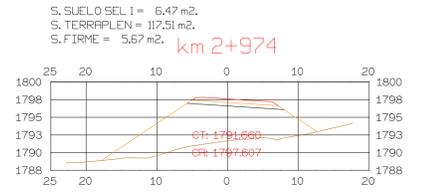
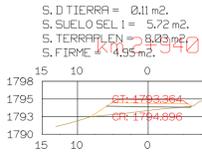
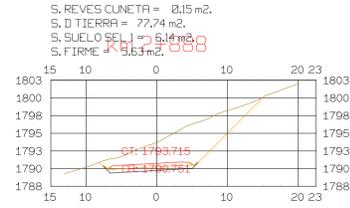
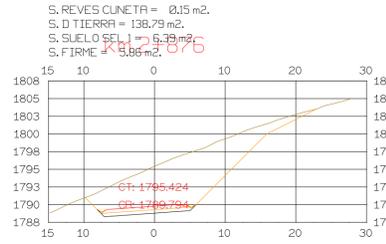
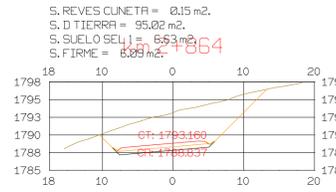
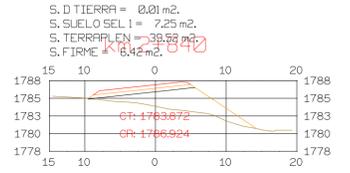
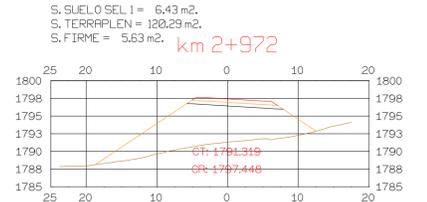
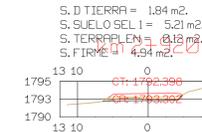
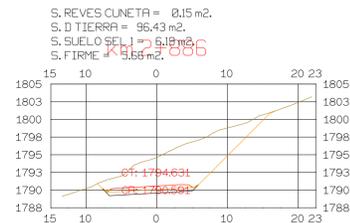
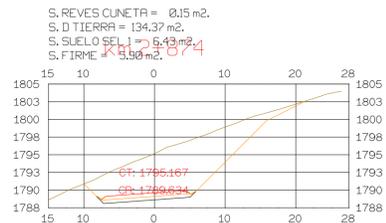
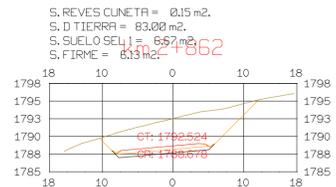
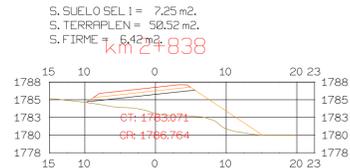
NOMBRE PLANO :
TESIS DE PREGRADO
Autor: Manuel Fernandez
Asesor: Fernando Campos

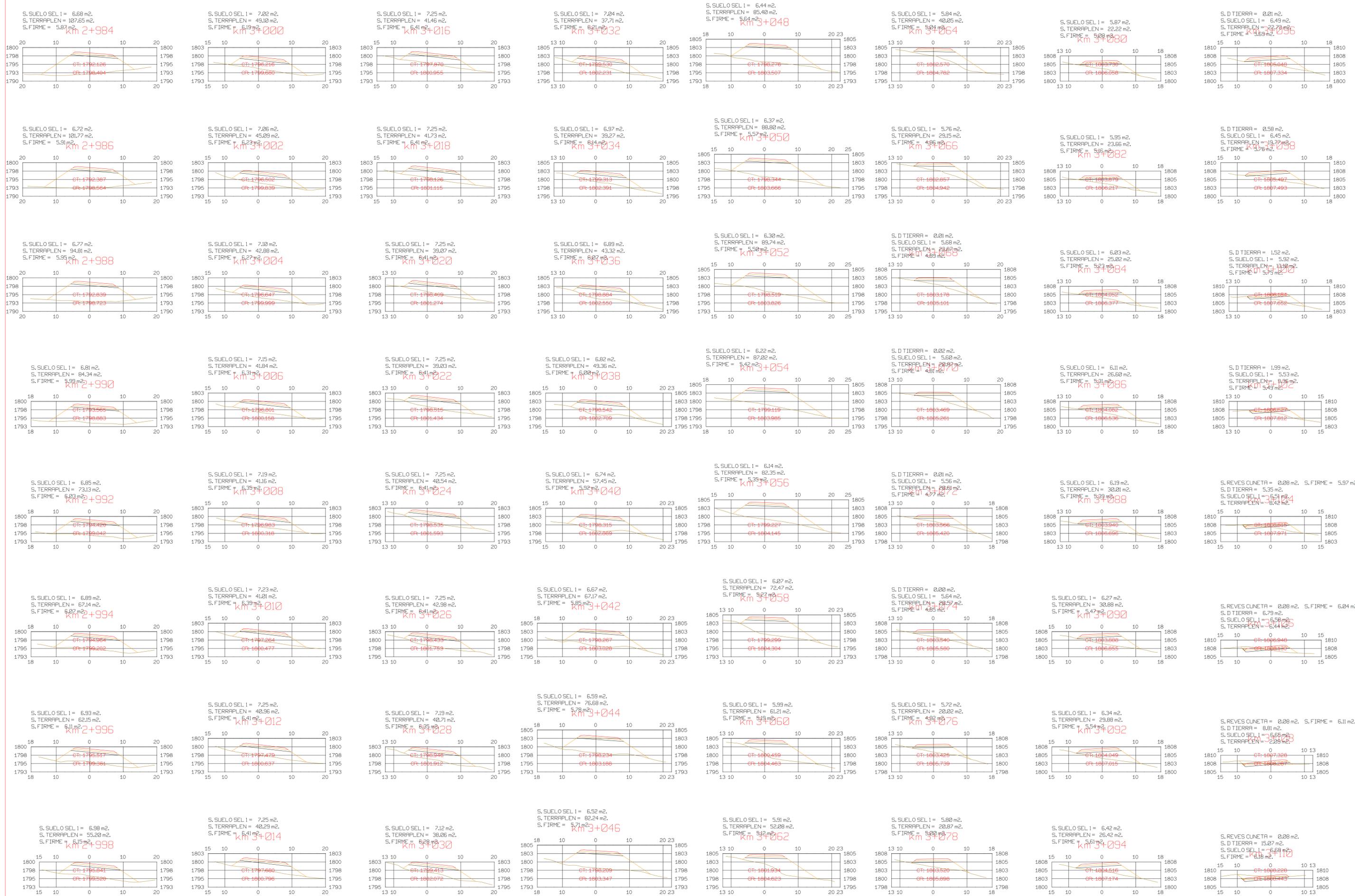
DIRECCION GENERAL
DEL PROYECTO
EL UNO

DIRECCION TECNICA
DEL PROYECTO
EL OTRO

FECHA
13/04/2023
Número
9
Hoja...de...







Istram V.22.11.11.03 EDUCACIONAL 2000



ASTURIAS

**DIRECCION
DE DESARROLLO**

ISPOL

ESCALAS
HORIZONTAL 1 : 1000
VERTICAL 1 : 200
ORIGINAL GRAFICA

**PROYECTO : AUTOPISTA
DE AQUI A ALLI
TRAMO : PRIMERO**

NOMBRE PLANO :
TESIS DE PREGRADO
Autor: Manuel Fernandez
Asesor: Fernando Campos

DIRECCION GENERAL
DEL PROYECTO
EL UNO

DIRECCION TECNICA
DEL PROYECTO
EL OTRO

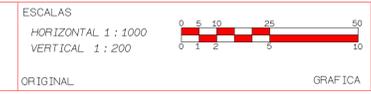
FECHA
13/04/2023
Número
12
Hoja ___ de ___



Istram V.22.11.11.03 EDUCACIONAL 2000



DIRECCION DE DESARROLLO



PROYECTO : AUTOPISTA DE AQUI A ALLI TRAMO : PRIMERO

NOMBRE PLANO : **TESIS DE PREGRADO**
 Autor: Manuel Fernandez
 Asesor: Fernando Campos

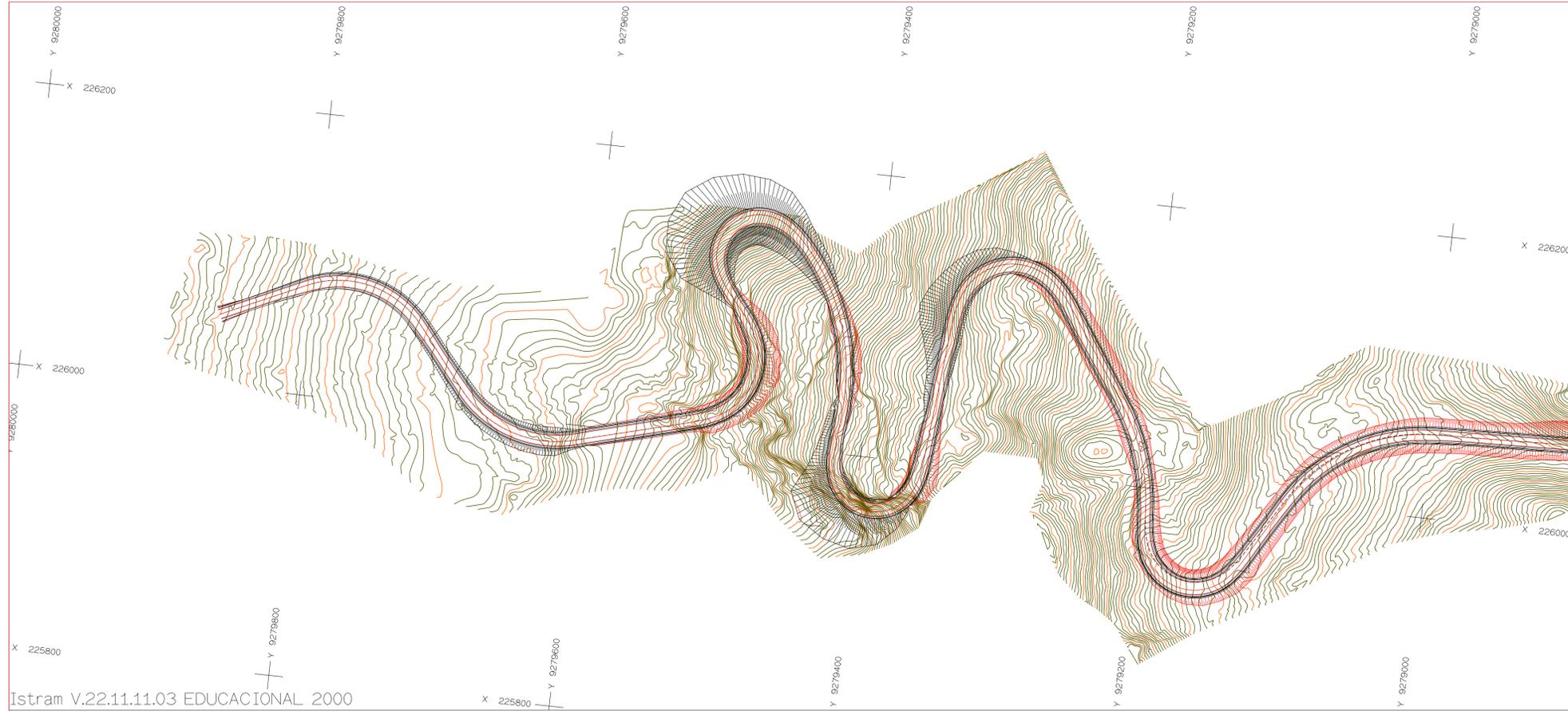
DIRECCION GENERAL DEL PROYECTO : **EL UNO**
 DIRECCION TECNICA DEL PROYECTO : **EL OTRO**

FECHA : 13/04/2023
 N.º plano : **13**
 Hoja : 09

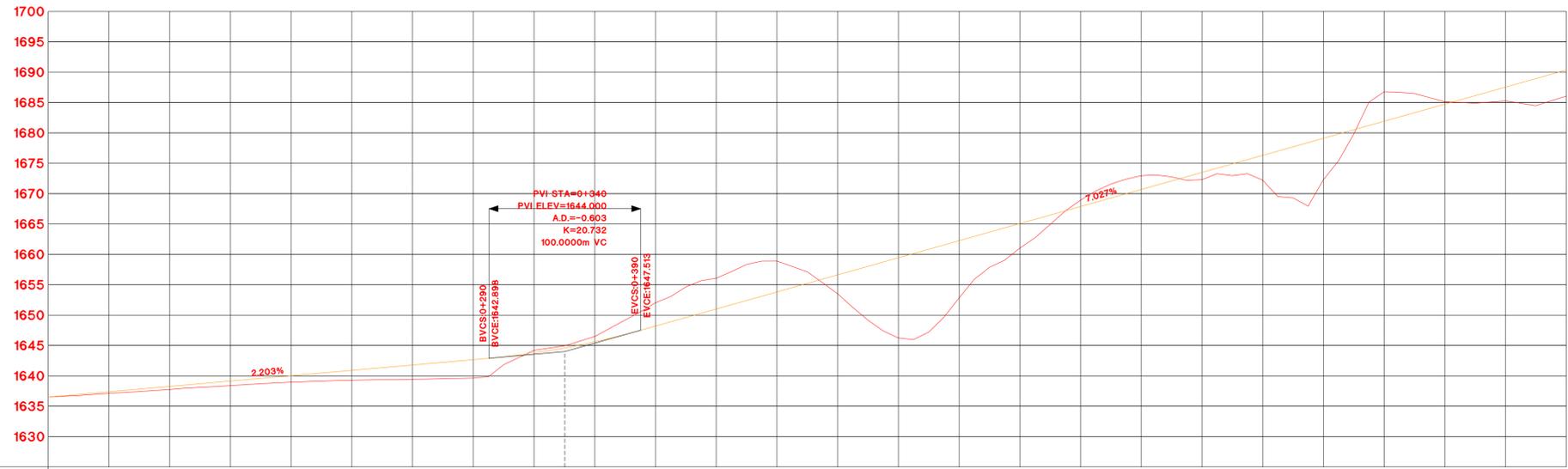
ANEXO P

PLANOS DE DISEÑO DE LA PROPUESTA 3





Istram V.22.11.11.03 EDUCACIONAL 2000



PENDIENTE	2.203% 290 m.		7.027% 822 m.																																																																																																		
COTA SUBRASANTE	1636.501	1636.501	1637.263	1637.363	1637.555	1638.264	1638.397	1639.145	1639.961	1640.027	1639.292	1640.808	1639.431	1641.769	1639.643	1642.671	1644.203	1643.764	1646.479	1645.004	1652.043	1648.92	1656.086	1651.003	1658.902	1653.614	1653.520	1656.625	1646.238	1659.435	1652.816	1662.246	1661.030	1665.057	1668.913	1667.867	1672.953	1670.878	1672.303	1673.489	1672.229	1676.299	1672.278	1679.110	1668.771	1681.921	1685.445	1684.732	1665.294	1667.542	1686.051	1690.353																																																	
COTA TERRENO	1636.501	1636.501	1637.263	1637.363	1637.555	1638.264	1638.397	1639.145	1639.961	1640.027	1639.292	1640.808	1639.431	1641.769	1639.643	1642.671	1644.203	1643.764	1646.479	1645.004	1652.043	1648.92	1656.086	1651.003	1658.902	1653.614	1653.520	1656.625	1646.238	1659.435	1652.816	1662.246	1661.030	1665.057	1668.913	1667.867	1672.953	1670.878	1672.303	1673.489	1672.229	1676.299	1672.278	1679.110	1668.771	1681.921	1685.445	1684.732	1665.294	1667.542	1686.051	1690.353																																																	
ALTURA CORTE	0.000	0.000	0.269	0.269	0.099	0.099	0.748	0.748	1.066	1.066	1.618	1.618	2.339	2.339	3.028	3.028	0.438	0.438	0.875	0.875	3.851	3.851	5.083	5.083	5.088	5.088	1.048	1.048	2.275	2.275	1.186	1.186	4.071	4.071	6.832	6.832	4.850	4.850	0.414	0.414	2.248	2.248	4.302	4.302																																																									
ALTURA RELLENO	0.000	0.000	0.269	0.269	0.099	0.099	0.748	0.748	1.066	1.066	1.618	1.618	2.339	2.339	3.028	3.028	0.438	0.438	0.875	0.875	3.851	3.851	5.083	5.083	5.088	5.088	1.048	1.048	2.275	2.275	1.186	1.186	4.071	4.071	6.832	6.832	4.850	4.850	0.414	0.414	2.248	2.248	4.302	4.302																																																									
ALINEAMIENTO	RECTA		R=70		PI-N 1		RECTA		R=80		PI-N 2		RECTA		R=45		PI-N 3		A=37		R=30		PI-N 4		A=36		R=150		PI-N 5		A=72		R=30		PI-N 6		A=32		RECTA		A=37																																																												
KILOMETRAJE	0+000	0+010	0+020	0+030	0+040	0+050	0+060	0+070	0+080	0+090	0+100	0+110	0+120	0+130	0+140	0+150	0+160	0+170	0+180	0+190	0+200	0+210	0+220	0+230	0+240	0+250	0+260	0+270	0+280	0+290	0+300	0+310	0+320	0+330	0+340	0+350	0+360	0+370	0+380	0+390	0+400	0+410	0+420	0+430	0+440	0+450	0+460	0+470	0+480	0+490	0+500	0+510	0+520	0+530	0+540	0+550	0+560	0+570	0+580	0+590	0+600	0+610	0+620	0+630	0+640	0+650	0+660	0+670	0+680	0+690	0+700	0+710	0+720	0+730	0+740	0+750	0+760	0+770	0+780	0+790	0+800	0+810	0+820	0+830	0+840	0+850	0+860	0+870	0+880	0+890	0+900	0+910	0+920	0+930	0+940	0+950	0+960	0+970	0+980	0+990	1+000

CUADRO DE ELEMENTOS DE CURVA

Nº	SENTIDO	FNG.	RADIO	PI	T	PC	Lc	PT	Ext	COORDENADAS UTM		PS	S-R
										NORTE	ESTE		
1	D	75°50'30"	70	0+103.276	54.625	0+164.891	92.771	0+107.762	18.791	9279252.579	226000.545	8%	1.500
2	I	-60°18'30"	80	0+257.148	52.211	0+210.890	92.516	0+200.406	15.530	9279063.068	226000.689	7%	1.300
3	I	-10°14'30"	45	0+752.789	97.932	0+781.984	60.909	0+782.093	26.106	9279443.207	226000.100	10%	2.100
4	D	10°28'30"	50	0+908.000	346.032	0+908.000	55.220	0+908.000	346.032	9279777.198	226000.376	12%	2.300
5	D	47°58'30"	150	0+980.027	82.638	0+980.027	105.940	0+980.027	13.848	9279406.809	226000.544	4%	0.800
6	I	-10°28'30"	30	0+988.491	58336.156	0+988.491	59.215	0+988.491	58280.609	9279388.041	226000.383	12%	2.300
7	D	10°28'30"	40	0+988.055	131.692	0+988.055	62.991	0+988.055	81.713	9279393.541	226000.383	10%	2.300
8	D	87°58'30"	150	0+988.007	43.000	0+988.007	83.754	0+988.007	6.042	9279393.166	226000.377	4%	0.800
9	I	-147°57'30"	35	0+988.408	140.482	0+988.408	60.380	0+988.408	95.659	9279393.298	226000.406	11%	2.800

Istram V.22.11.11.03 EDUCACIONAL 2000



ASTURIAS

DIRECCION DE DESARROLLO



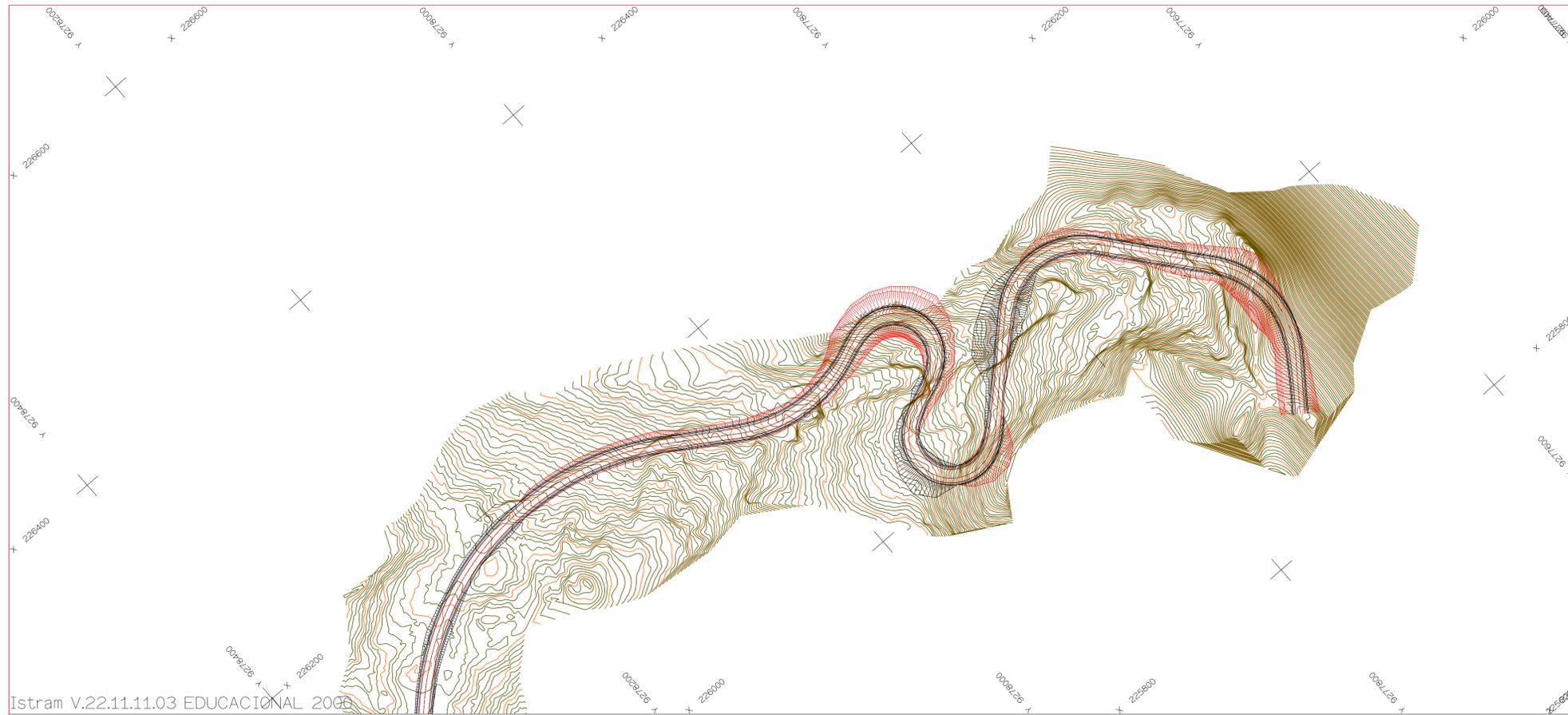
ESCALAS
HORIZONTAL 1 : 1000
VERTICAL 1 : 200
ORIGINAL GRAFICA

PROYECTO : AUTOPISTA DE AQUI A ALLI
TRAMO : PRIMERO

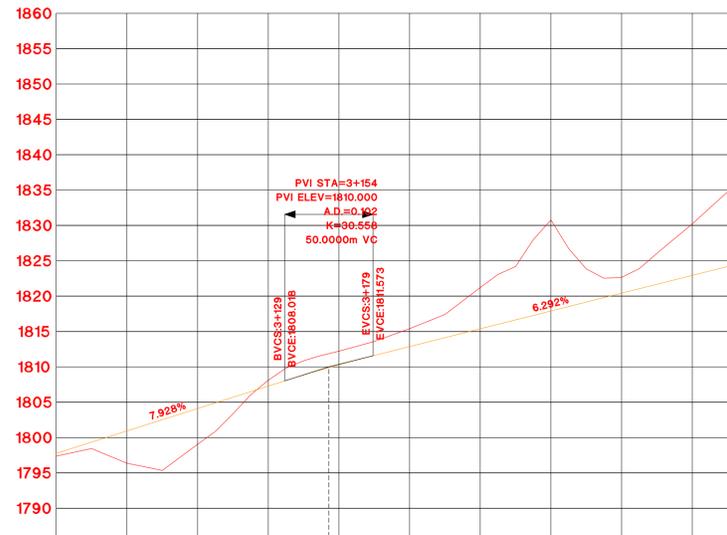
NOMBRE PLANO : **TESIS DE PREGRADO**
Autor: Manuel Fernandez
Asesor: Fernando Campos

DIRECCION GENERAL DEL PROYECTO: **EL UNO**
DIRECCION TECNICA DEL PROYECTO: **EL OTRO**

FECHA: 13/04/2023
Nº: 1
Hoja ___ de ___



Istram V.22.11.11.03 EDUCACIONAL 2000



PENDIENTE		6.292% 233 m.																																					
COTA SUBRASANTE	797.384	797.764	1796.371	1800.935	799.045	1804.106	0.629	1808.107	1807.278	1810.295	1815.400	1812.873	1821.221	1816.390	12.875	1830.782	1817.906	1822.661	1820.423	7.275	1830.215	1822.340	10.388	1834.770	1824.385														
COTA TERRENO																																							
ALTURA CORTE																																							
ALTURA RELLENO	0.880		4.564		5.062																																		
ALINEAMIENTO	RECTA		R=55										PI-N 18		RECTA										R=70		PI-N 18		RECTA										
KILOMETRAJE	3+000	3+010	3+020	3+030	3+040	3+050	3+060	3+070	3+080	3+090	3+100	3+110	3+120	3+130	3+140	3+150	3+160	3+170	3+180	3+190	3+200	3+210	3+220	3+230	3+240	3+250	3+260	3+270	3+280	3+290	3+300	3+310	3+320	3+330	3+340	3+350	3+360	3+370	3+380

CUADRO DE ELEMENTOS DE CURVA

Nº	SENTIDO	ANG.	RAPOSO	PI	T	PC	Lc	PT	Ext.	COORDENADAS UTM		PS	S-R
										NORTE	ESTE		
11	D	54°02'0"	100	1495.533	51.051	1474.201	94.404	1495.725	12.277	827574.454	2200724.0	6%	1.100
12	I	-53°04'0"	100	1495.533	50.037	1495.725	92.788	1495.533	11.820	827574.454	2200724.0	6%	1.100
13	I	-45°48'0"	120	2+182.368	48.271	2+076.271	91.789	2+182.368	9.345	827406.486	2200619.0	5%	1.000
14	D	77°39'0"	200	2+447.864	181.564	2+311.665	271.797	2+447.864	57.105	827406.486	2200619.0	3%	0.700
15	I	-68°42'0"	100	2+484.170	53.441	2+485.090	98.158	2+484.170	13.384	827406.486	2200619.0	6%	1.100
16	D	62°48'0"	30	1497.291	922.961	1473.244	66.246	1497.291	267.847	827574.454	2200724.0	12%	2.900
17	I	-110°00'0"	50	1495.533	125.024	1495.533	77.429	1495.533	20.085	827574.454	2200724.0	12%	2.900
18	D	47°00'0"	55	2+182.368	60.139	2+182.368	91.291	2+182.368	26.490	827406.486	2200619.0	5%	1.800
19	D	79°04'0"	70	2+385.880	54.571	2+407.206	92.703	2+385.880	18.758	827406.486	2200619.0	8%	1.500

Istram V.22.11.11.03 EDUCACIONAL 2000



ASTURIAS

DIRECCION DE DESARROLLO

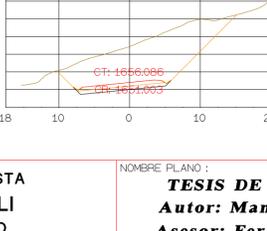
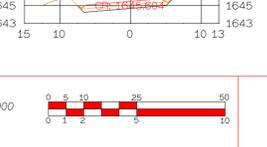
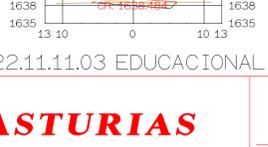
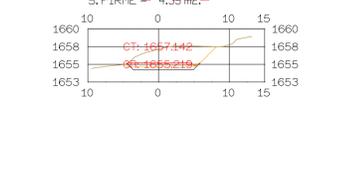
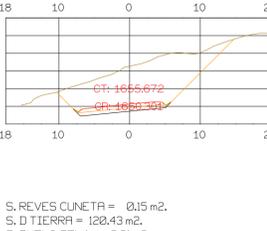
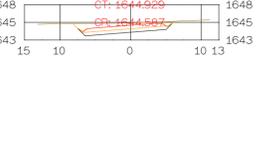
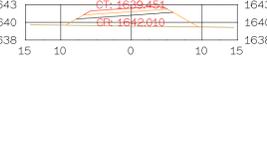
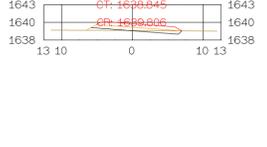
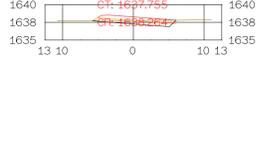
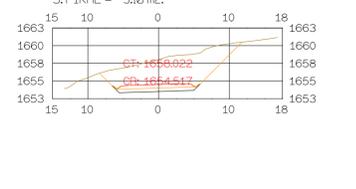
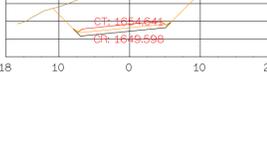
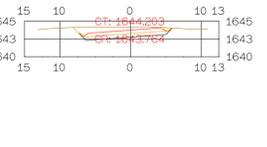
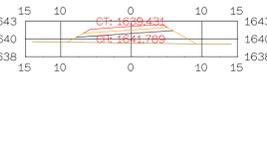
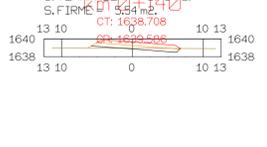
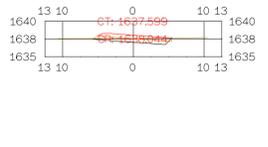
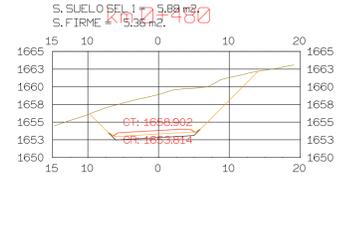
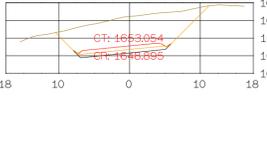
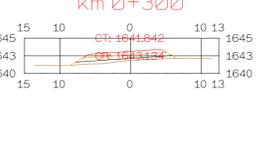
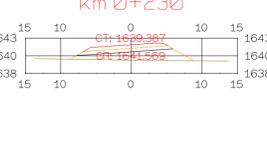
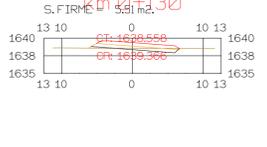
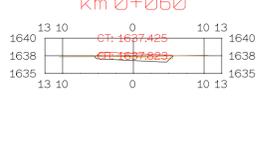
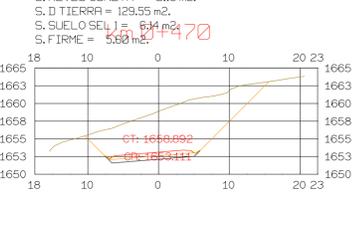
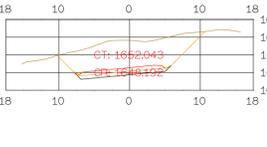
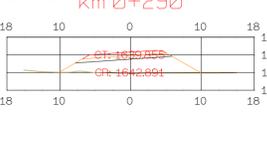
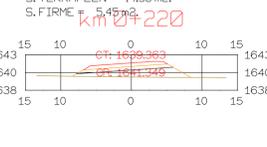
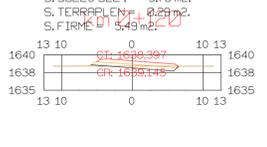
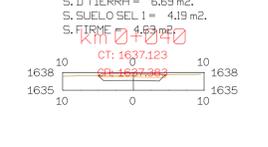
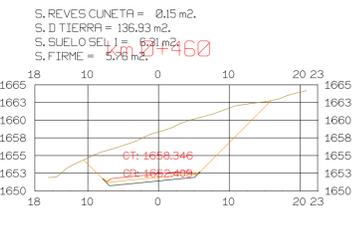
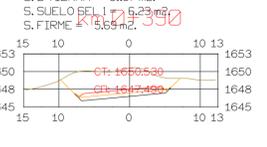
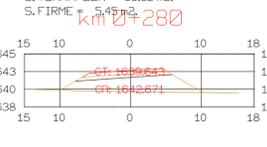
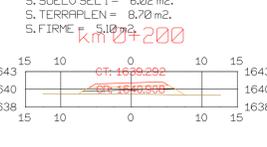
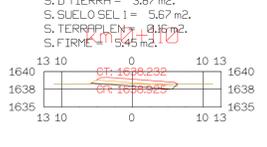
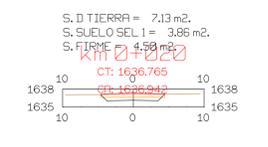
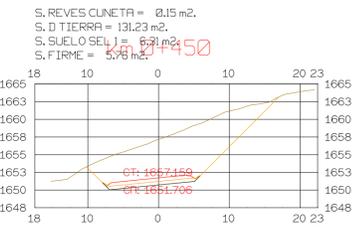
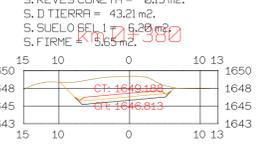
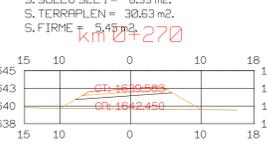
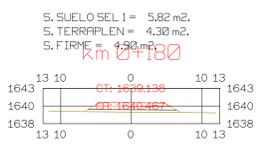


ESCALAS
HORIZONTAL 1 : 1000
VERTICAL 1 : 200
ORIGINAL GRAFICA

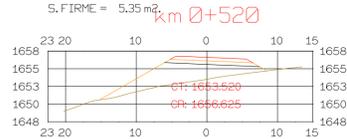
PROYECTO : AUTOPISTA DE AQUI A ALLI
TRAMO : PRIMERO

NOMBRE PLANO : **TESIS DE PREGRADO**
Autor: Manuel Fernandez
Asesor: Fernando Campos

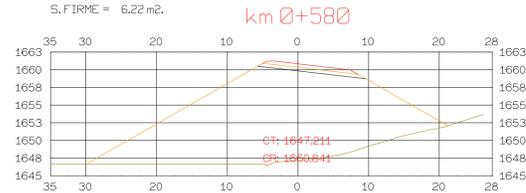
DIRECCION GENERAL DEL PROYECTO: EL UNO
DIRECCION TECNICA DEL PROYECTO: EL OTRO
FECHA: 13/04/2023
Número: 4
Hoja: 4 de 4



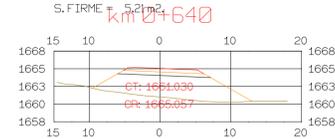
S. SUELO SEL 1 = 6,27 m².
S. TERRAPLEN = 41,87 m².
S. FIRME = 5,35 m².



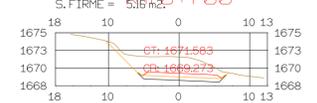
S. SUELO SEL 1 = 7,20 m².
S. TERRAPLEN = 407,18 m².
S. FIRME = 6,22 m².



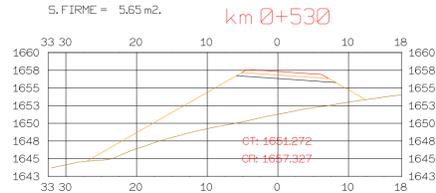
S. SUELO SEL 1 = 6,14 m².
S. TERRAPLEN = 55,52 m².
S. FIRME = 5,21 m².



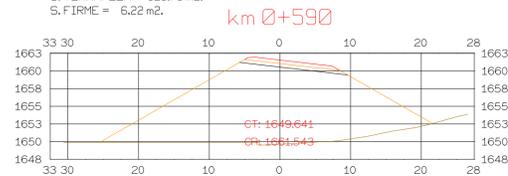
S. REVES CUNETTA = 0,15 m².
S. D TIERRA = 39,90 m².
S. SUELO SEL 1 = 5,67 m².
S. FIRME = 5,16 m².



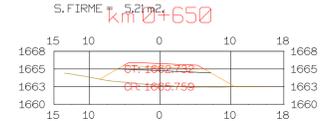
S. SUELO SEL 1 = 6,59 m².
S. TERRAPLEN = 144,15 m².
S. FIRME = 5,65 m².



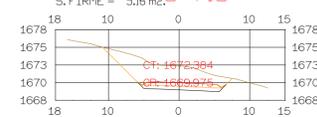
S. SUELO SEL 1 = 7,20 m².
S. TERRAPLEN = 328,73 m².
S. FIRME = 6,22 m².



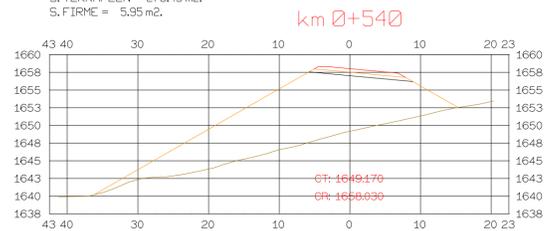
S. SUELO SEL 1 = 6,14 m².
S. TERRAPLEN = 32,56 m².
S. FIRME = 5,21 m².



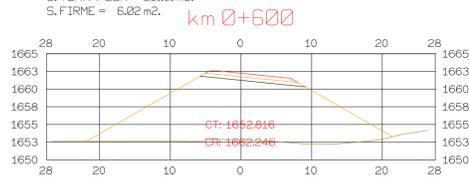
S. REVES CUNETTA = 0,15 m².
S. D TIERRA = 48,37 m².
S. SUELO SEL 1 = 5,67 m².
S. FIRME = 5,16 m².



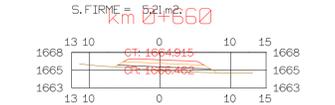
S. SUELO SEL 1 = 6,90 m².
S. TERRAPLEN = 276,43 m².
S. FIRME = 5,95 m².



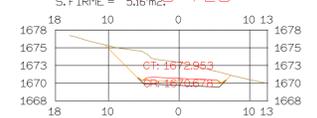
S. SUELO SEL 1 = 6,59 m².
S. TERRAPLEN = 251,51 m².
S. FIRME = 6,02 m².



S. SUELO SEL 1 = 6,14 m².
S. TERRAPLEN = 6,57 m².
S. FIRME = 5,21 m².



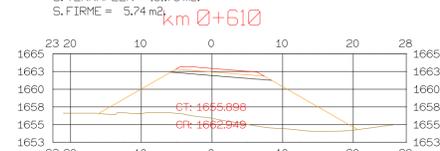
S. REVES CUNETTA = 0,15 m².
S. D TIERRA = 47,35 m².
S. SUELO SEL 1 = 5,67 m².
S. FIRME = 5,16 m².



S. SUELO SEL 1 = 7,20 m².
S. TERRAPLEN = 406,35 m².
S. FIRME = 6,22 m².



S. SUELO SEL 1 = 6,58 m².
S. TERRAPLEN = 161,79 m².
S. FIRME = 5,74 m².



S. REVES CUNETTA = 0,08 m².
S. D TIERRA = 10,72 m².
S. SUELO SEL 1 = 5,02 m².
S. FIRME = 5,01 m².



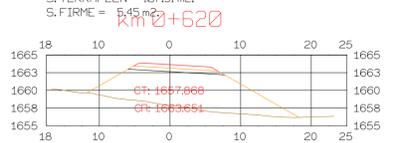
S. REVES CUNETTA = 0,15 m².
S. D TIERRA = 35,58 m².
S. SUELO SEL 1 = 5,67 m².
S. FIRME = 5,16 m².



S. SUELO SEL 1 = 7,20 m².
S. TERRAPLEN = 500,06 m².
S. FIRME = 6,22 m².



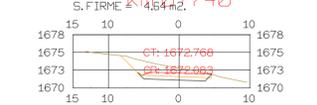
S. SUELO SEL 1 = 6,38 m².
S. TERRAPLEN = 107,51 m².
S. FIRME = 5,45 m².



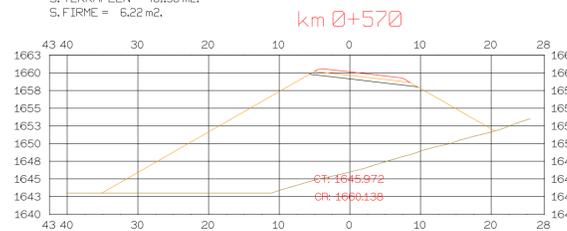
S. REVES CUNETTA = 0,15 m².
S. D TIERRA = 26,22 m².
S. SUELO SEL 1 = 5,67 m².
S. FIRME = 5,16 m².



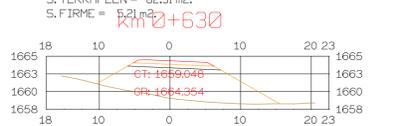
S. REVES CUNETTA = 0,08 m².
S. D TIERRA = 28,39 m².
S. SUELO SEL 1 = 5,67 m².
S. FIRME = 5,16 m².



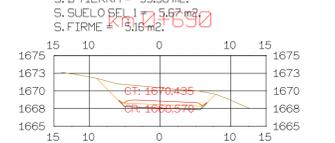
S. SUELO SEL 1 = 7,20 m².
S. TERRAPLEN = 481,56 m².
S. FIRME = 6,22 m².



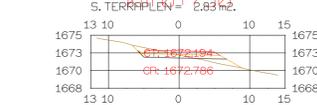
S. SUELO SEL 1 = 6,14 m².
S. TERRAPLEN = 82,91 m².
S. FIRME = 5,21 m².

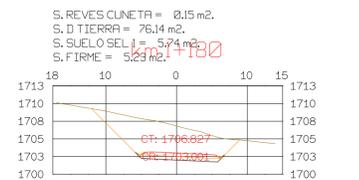
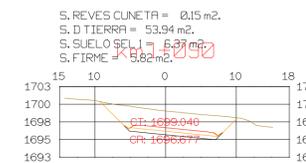
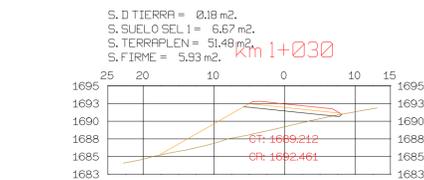
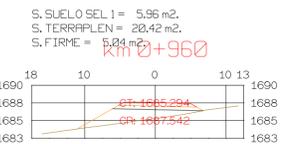
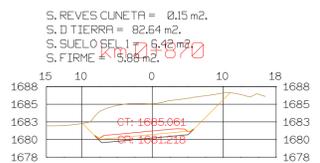
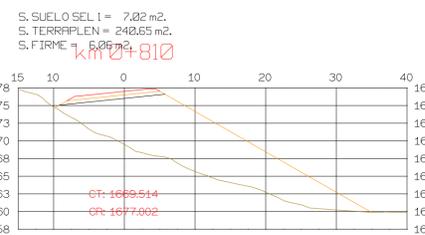
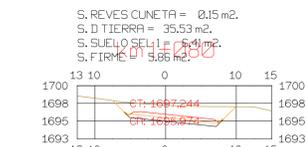
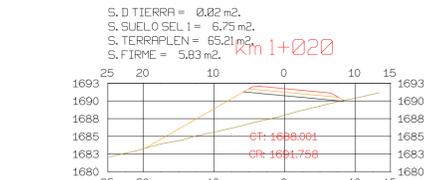
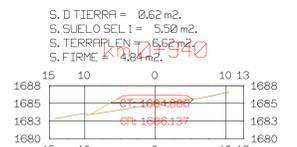
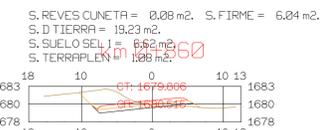
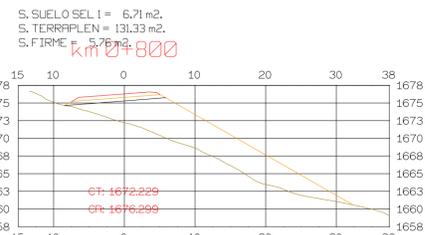
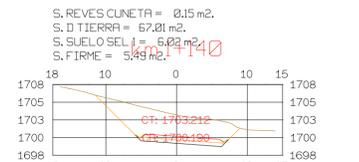
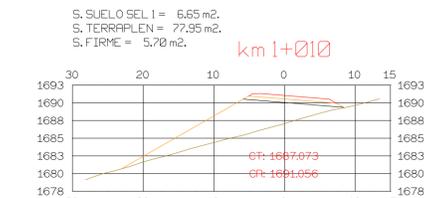
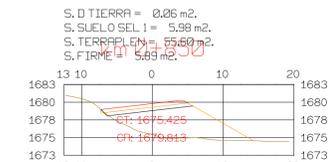
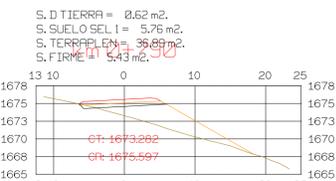
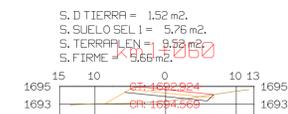
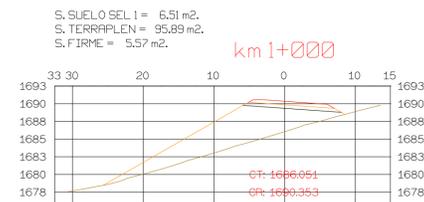
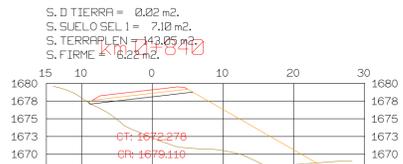
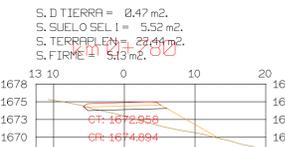
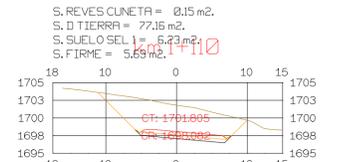
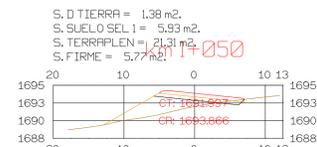
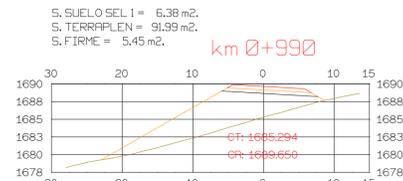
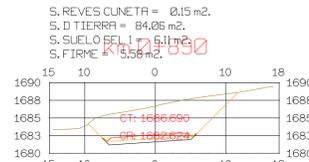
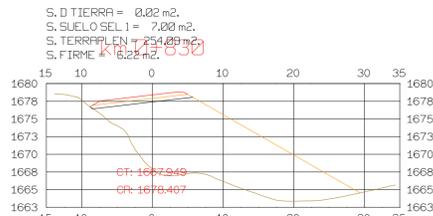
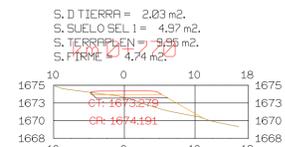
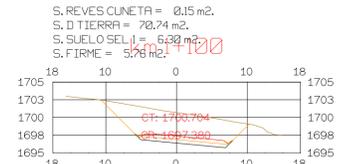
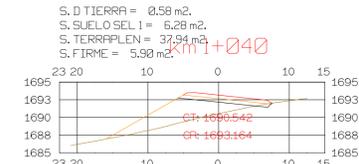
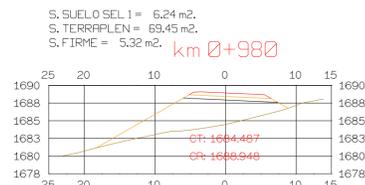
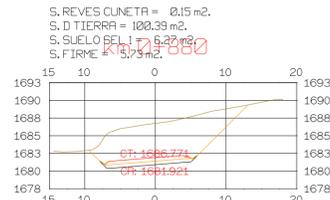
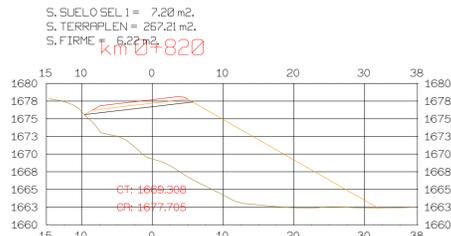
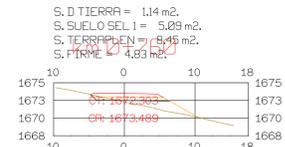


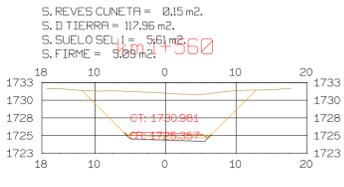
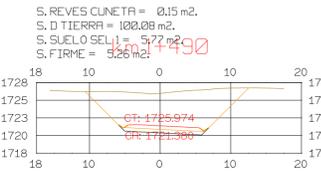
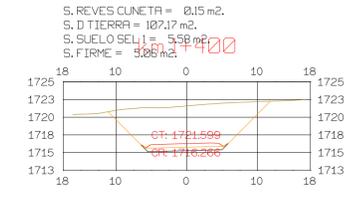
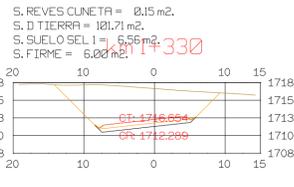
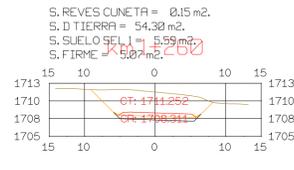
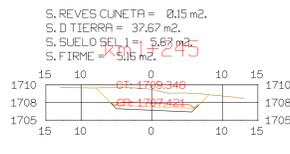
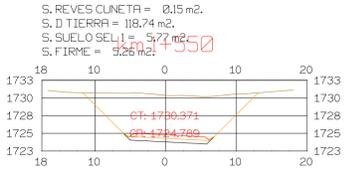
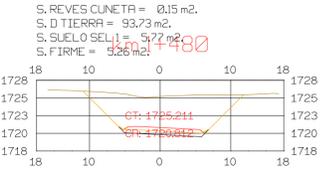
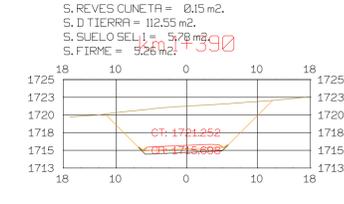
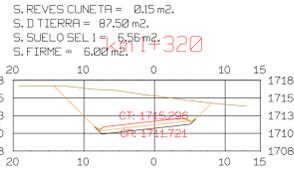
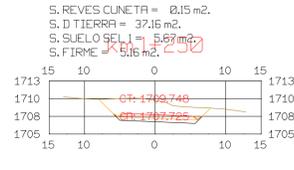
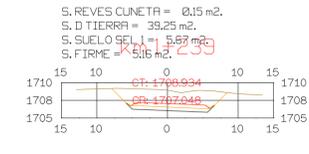
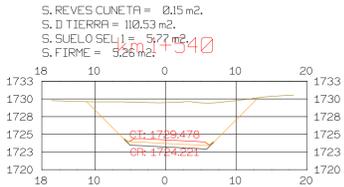
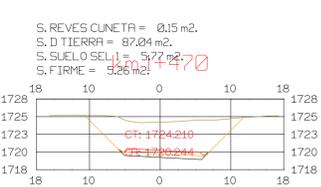
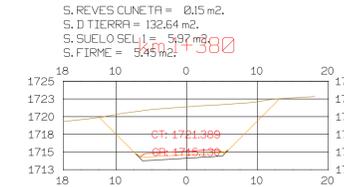
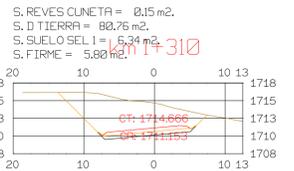
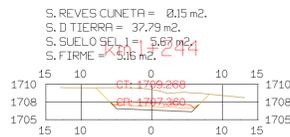
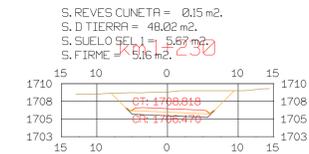
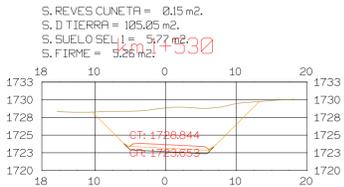
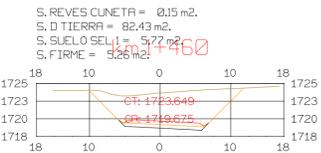
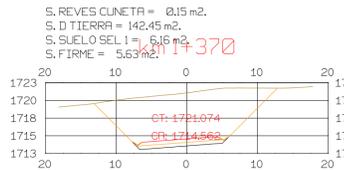
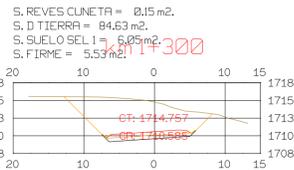
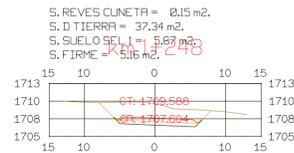
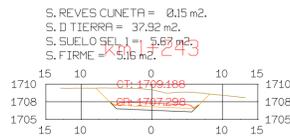
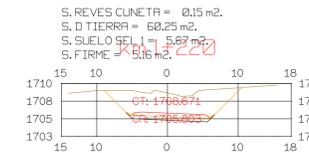
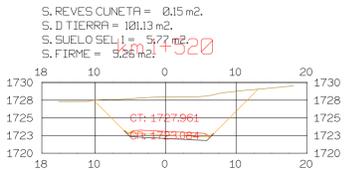
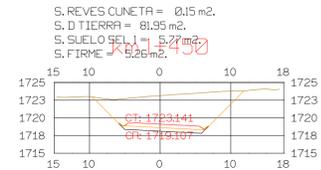
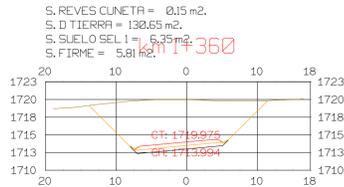
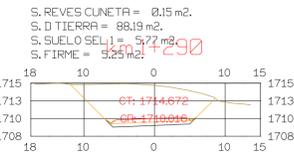
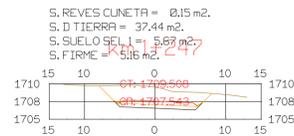
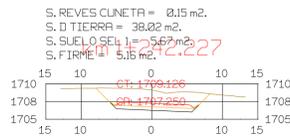
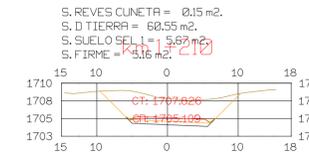
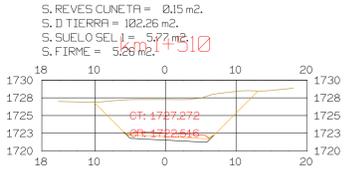
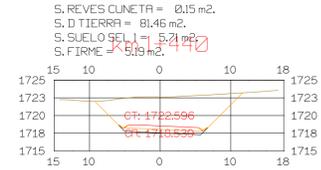
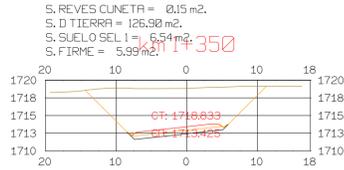
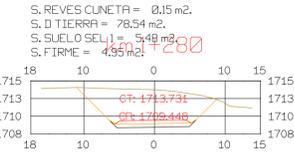
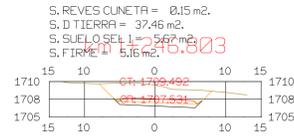
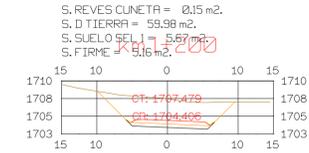
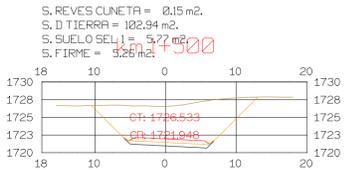
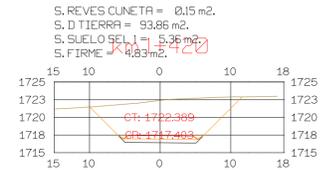
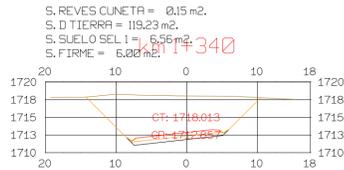
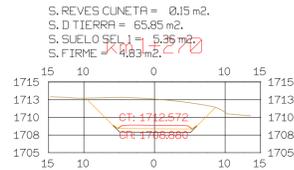
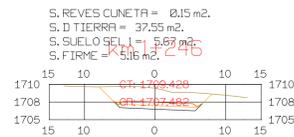
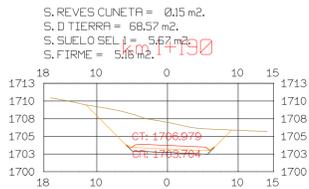
S. REVES CUNETTA = 0,15 m².
S. D TIERRA = 39,36 m².
S. SUELO SEL 1 = 5,67 m².
S. FIRME = 5,16 m².

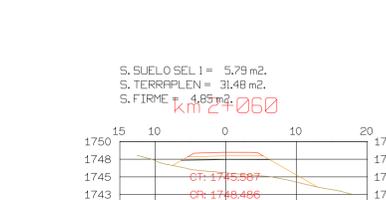
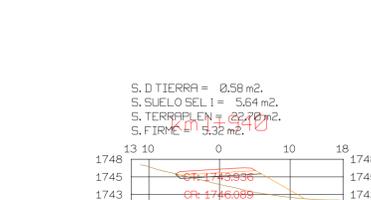
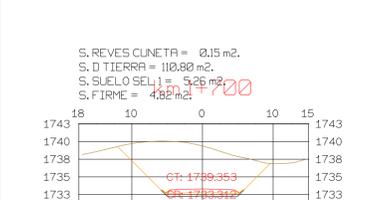
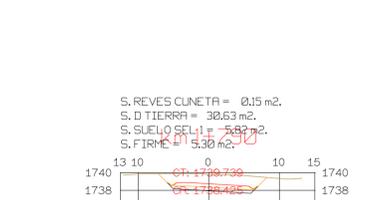
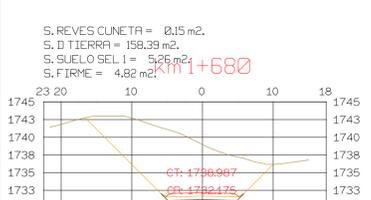
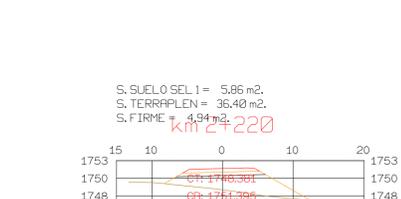
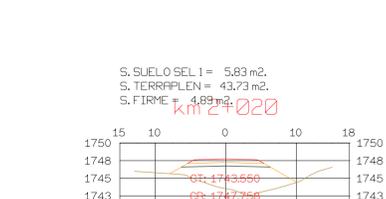
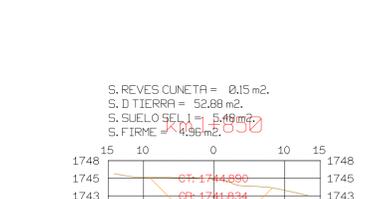
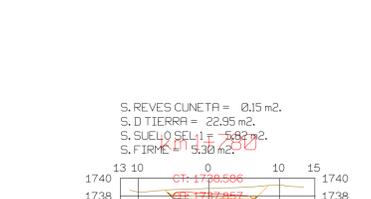
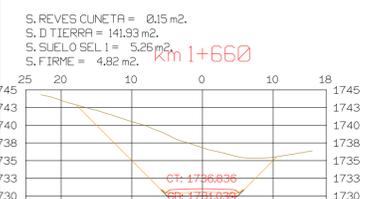
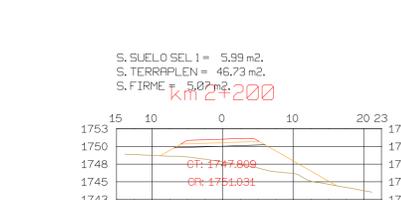
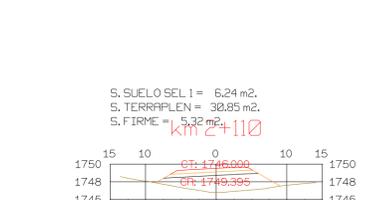
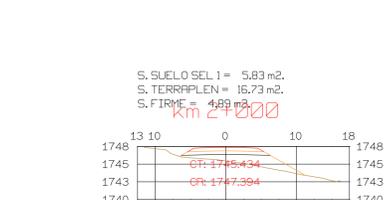
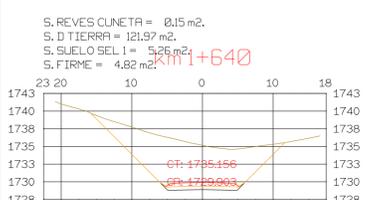
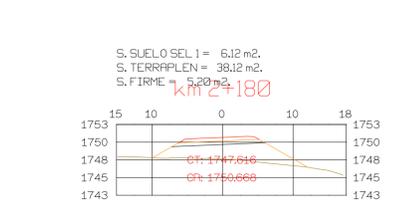
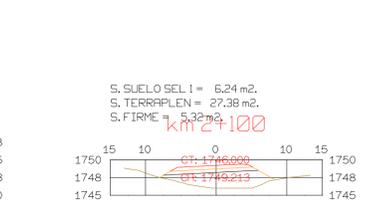
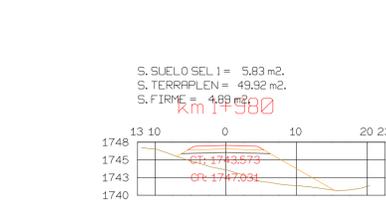
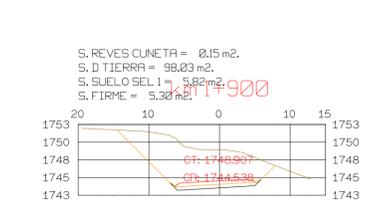
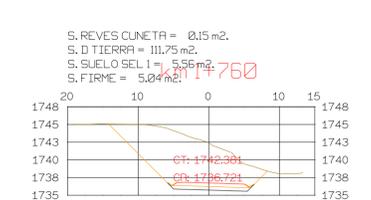
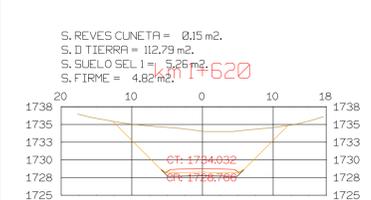
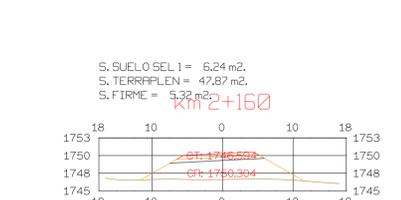
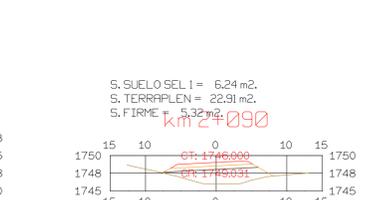
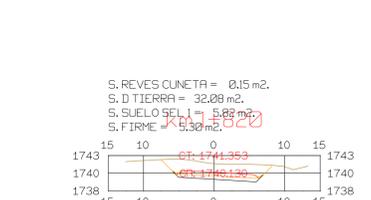
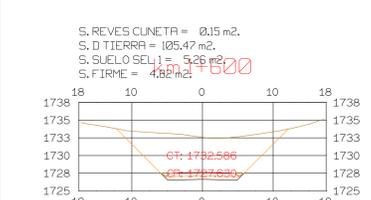
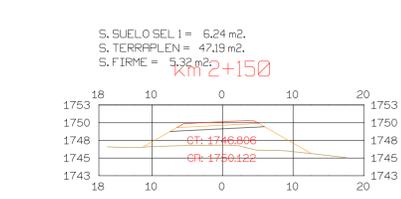
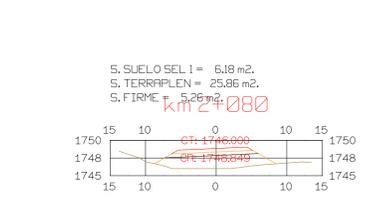
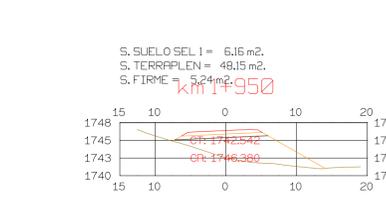
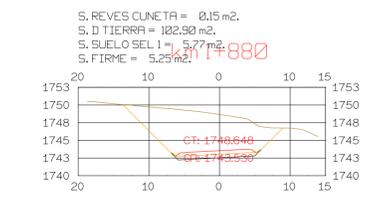
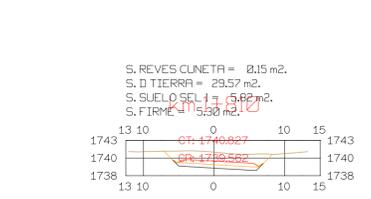
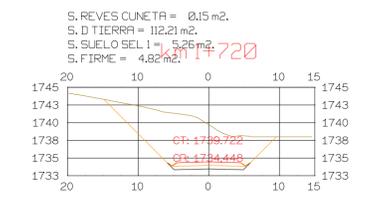
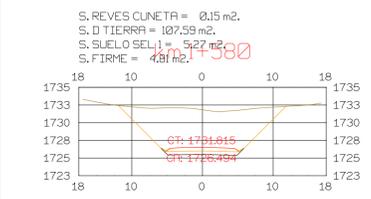


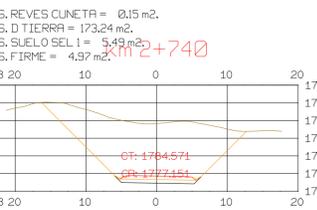
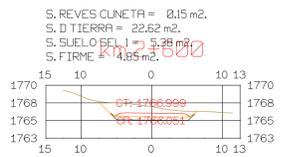
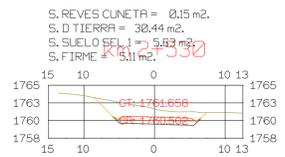
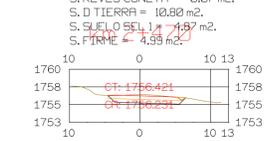
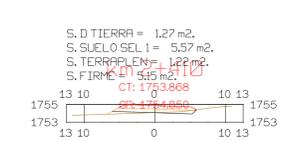
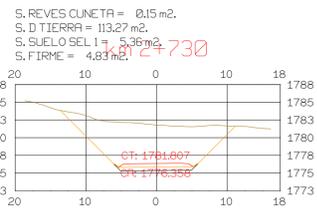
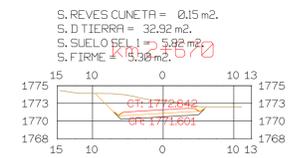
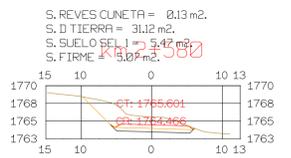
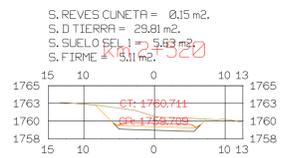
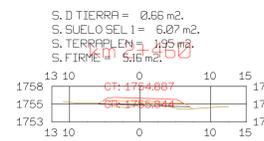
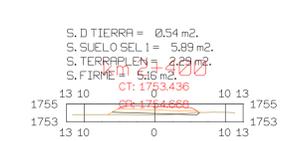
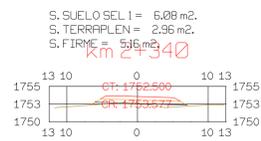
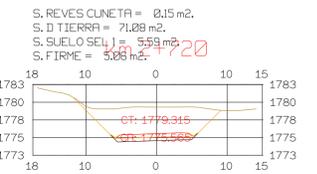
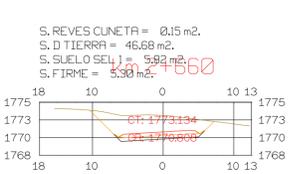
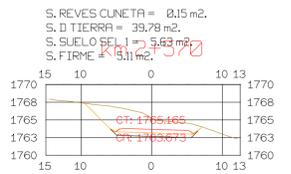
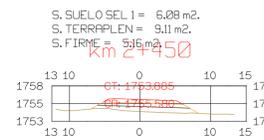
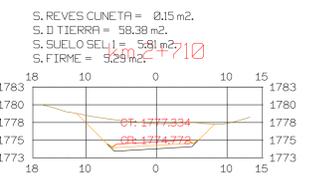
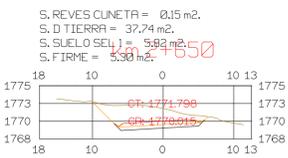
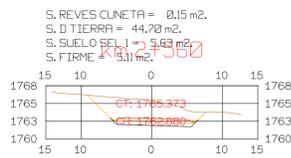
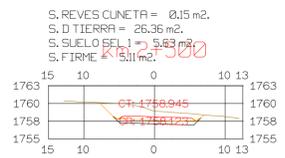
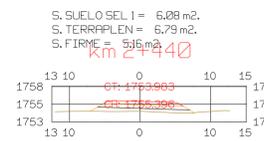
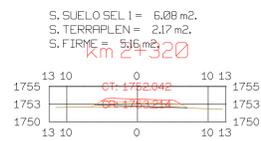
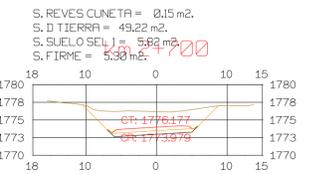
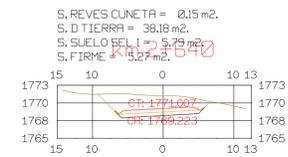
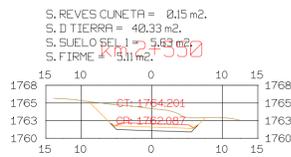
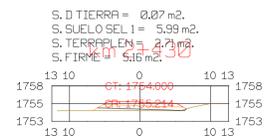
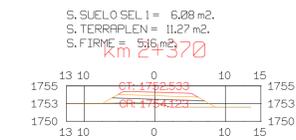
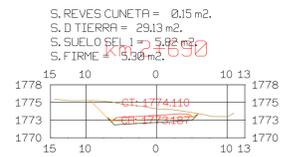
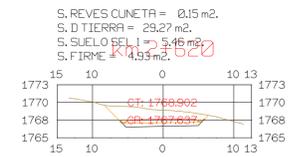
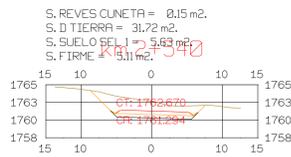
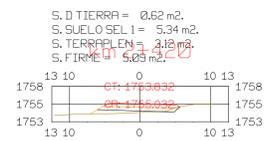
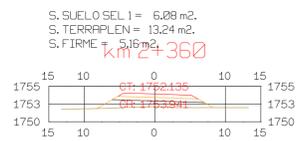
S. REVES CUNETTA = 0,08 m².
S. D TIERRA = 5,98 m².
S. SUELO SEL 1 = 5,26 m².
S. TERRAPLEN = 2,83 m².











Istram V.22.11.11.03 EDUCACIONAL 2000

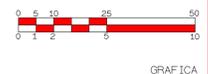


ASTURIAS

DIRECCION DE DESARROLLO

ISPOL

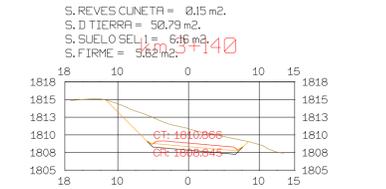
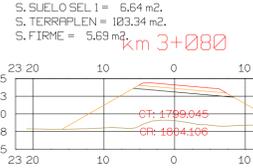
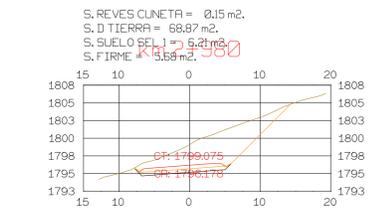
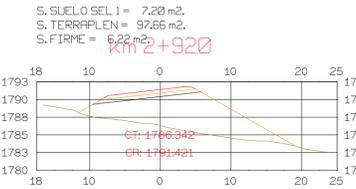
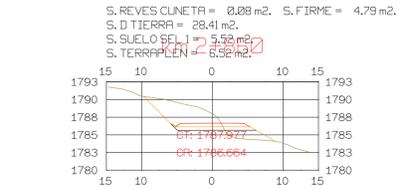
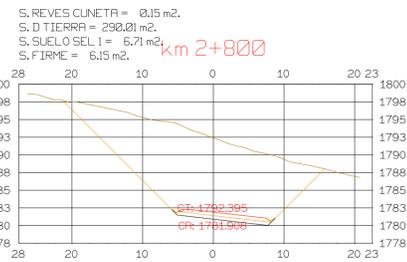
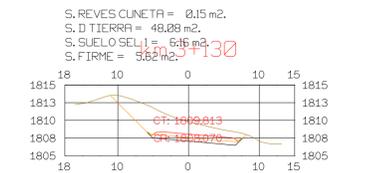
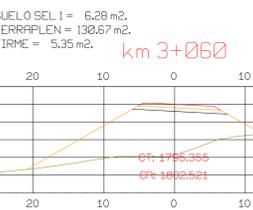
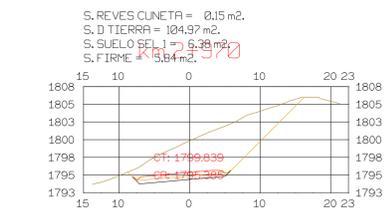
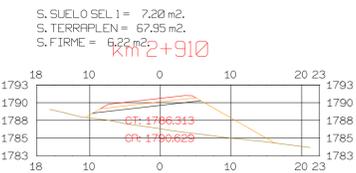
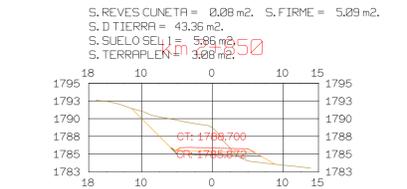
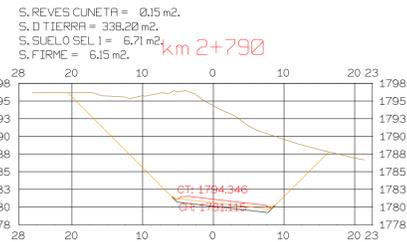
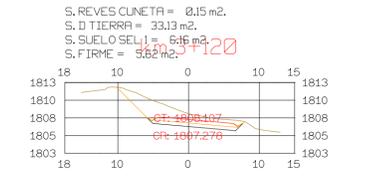
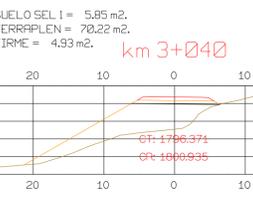
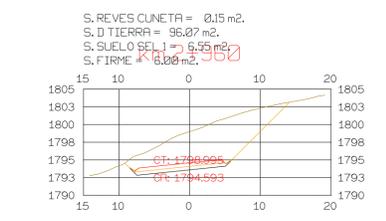
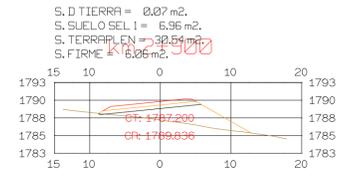
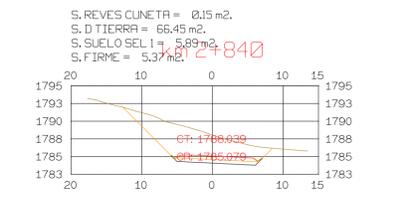
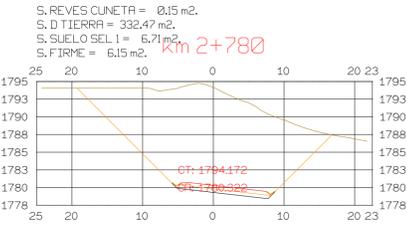
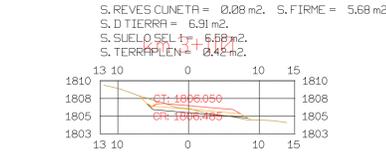
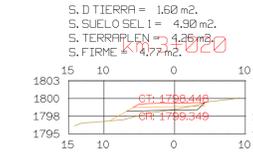
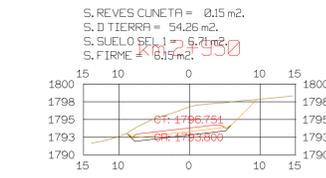
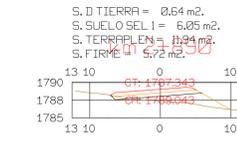
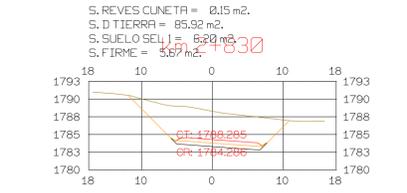
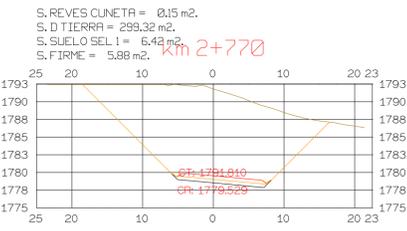
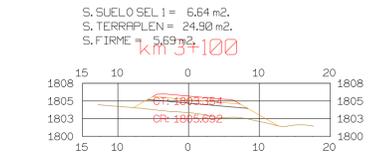
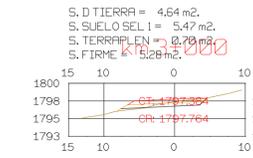
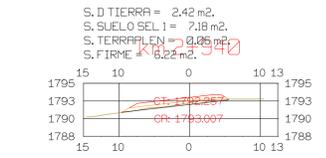
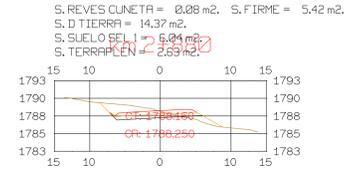
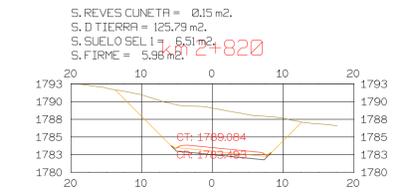
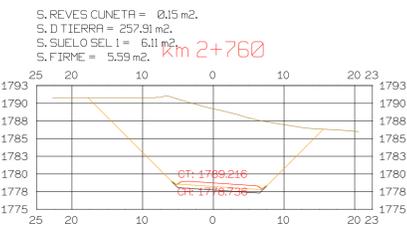
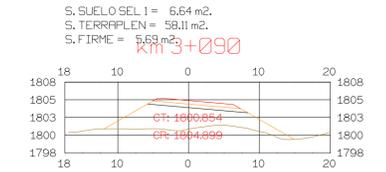
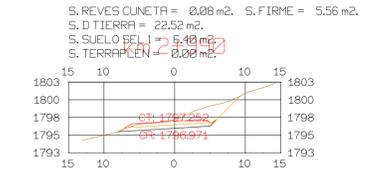
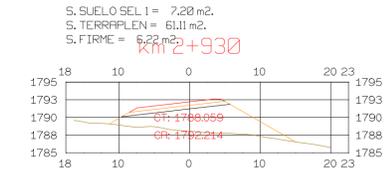
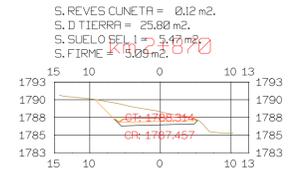
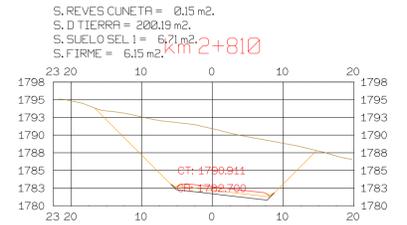
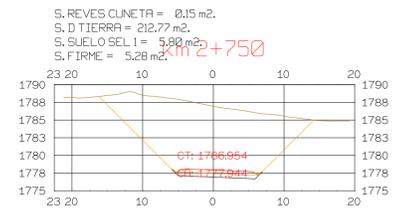
ESCALAS
HORIZONTAL 1 : 1000
VERTICAL 1 : 200
ORIGINAL

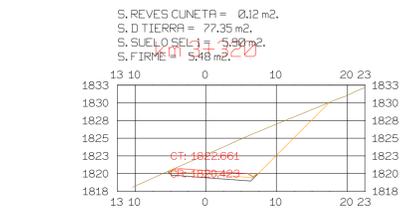
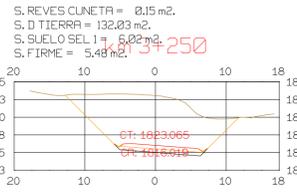
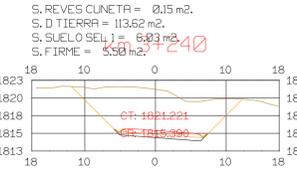
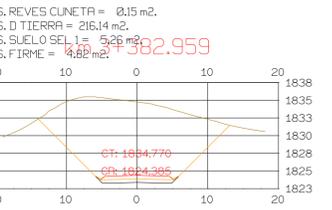
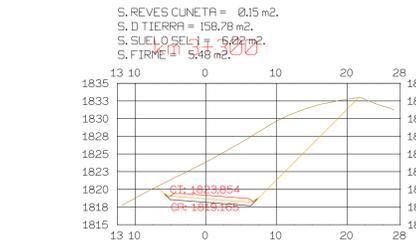
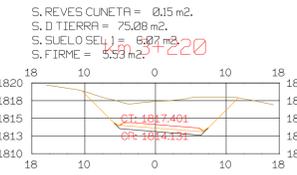
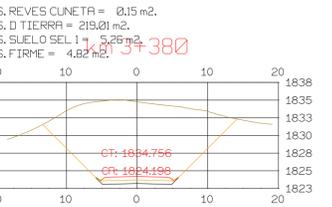
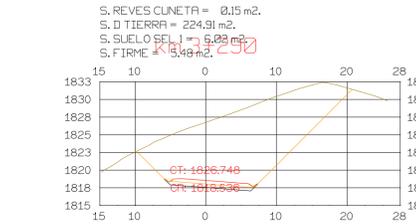
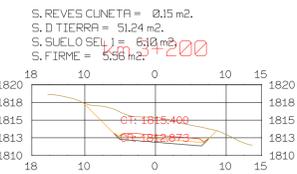
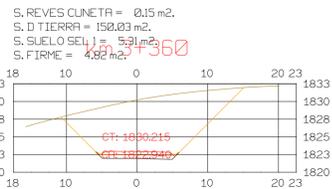
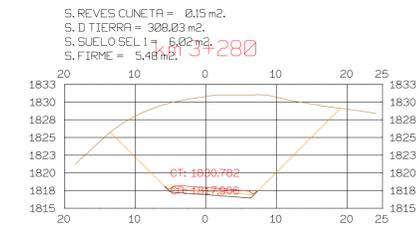
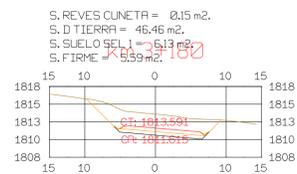
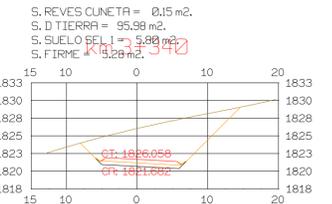
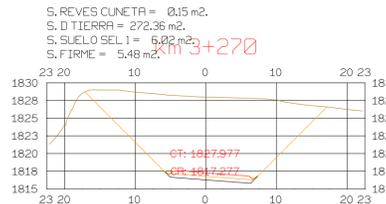
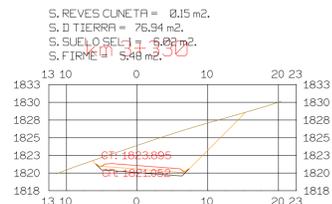
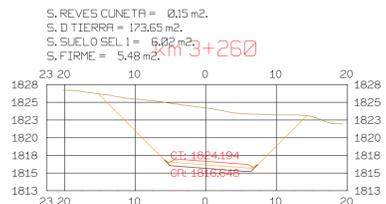
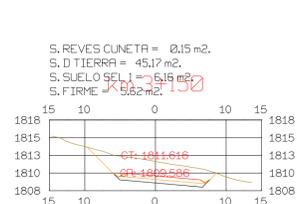


PROYECTO : AUTOPISTA DE AQUI A ALLI
TRAMO : PRIMERO

NOMBRE PLANO : **TESIS DE PREGRADO**
Autor: **Manuel Fernandez**
Asesor: **Fernando Campos**

DIRECCION GENERAL DEL PROYECTO: **EL UNO**
DIRECCION TECNICA DEL PROYECTO: **EL OTRO**
FECHA: 13/04/2023
Número: **10**
Hoja: ___de___





Istram V.22.11.11.03 EDUCACIONAL 2000

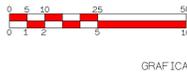


DIRECCION DE DESARROLLO

ISPOL



ESCALAS
HORIZONTAL 1 : 1000
VERTICAL 1 : 200
ORIGINAL



PROYECTO : AUTOPISTA DE AQUI A ALLI
TRAMO : PRIMERO

NOMBRE PLANO : TESIS DE PREGRADO
Autor: Manuel Fernandez
Asesor: Fernando Campos

DIRECCION GENERAL DEL PROYECTO
EL UNO

DIRECCION TECNICA DEL PROYECTO
EL OTRO

FECHA 13/04/2023
Número 12
Hoja 06