

DISEÑO Y GRAFICACIÓN DE VIAS DE COMUNICACIÓN ASISTIDO POR UNA HERRAMIENTA DE PROGRAMACIÓN: “DIGRAVI” (DISEÑADOR Y GRAFICADOR DE VÍAS) FASE 1



Liz Maydolly Barrera Ardila

Freddy Alberto Aparicio Sánchez

03/11/2009

**DISEÑO Y GRAFICACIÓN DE VÍAS DE COMUNICACIÓN ASISTIDO
POR UNA HERRAMIENTA DE PROGRAMACIÓN: “DIGRAVI”
(DISEÑADOR Y GRAFICADOR DE VÍAS)**

FASE 1

FREDDY ALBERTO APARICIO SÁNCHEZ

LIZ MAYDOLLY BARRERA ARDILA

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FÍSICO MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA 2009**

**DISEÑO Y GRAFICACIÓN DE VIAS DE COMUNICACIÓN ASISTIDO
POR UNA HERRAMIENTA DE PROGRAMACIÓN: "DIGRAVI"
(DISEÑADOR Y GRAFICADOR DE VÍAS)
FASE 1**

AUTORES:

**FREDDY ALBERTO APARICIO SÁNCHEZ
LIZ MAYDOLLY BARRERA ARDILA**

COAUTORES:

**SERGIO ANDRES HERNANDEZ CACERES
DIEGO ARMANDO VILLAREAL DIAZ**

Proyecto de grado presentado como requisito parcial para optar el título
de Ingeniero(a) Civil

DIRECTOR

JORGE HERNANDO GÓMEZ GÓMEZ
Ingeniero en Transportes y Vías

CODIRECTOR

ALFONSO MENDOZA CASTELLANOS
Ingeniero de Sistemas

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FÍSICO MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA 2009**

*A Dios, por bendecirme día a día con la vida
y sus maravillosos dones,
con los cuales he podido ser una mujer integra
y cumplidora de mi profesión.*

*A mi papá, Pedro Jesús,
que me ha brindado con su experiencia
grandes aprendizajes para la vida personal.*

*A mi mami, Olga Ardila
que ha sido mi apoyo incondicional
y sostenimiento en todo momento,
como consejera, tutora, amiga y confidente.*

*A mi hermana Lizeth,
que ha sido ejemplo y compañía,
convirtiéndose en el sostén del hogar,
aportando a los sueños de cada uno de nosotros.*

*A mi hermano Andrésito, mi adoración,
quien ha sido mi motivo para no desfallecer
ante las dificultades y a quien deseo brindarle mi ejemplo.*

*A mi sobrino Luis Aurelio,
que ha llenado estos últimos meses,
mi corazón de ternura y amor.*

*Al profesor Jorge Gómez,
quien me contagio de amor por las vías
y me motivo a llevar a cabo este proyecto,
siendo él nuestra guía en el desarrollo del mismo.*

*A Freddy,
quien me enseñó el valor de la amistad y la confianza,
complemento, soporte y compañía en este proyecto y
durante el trayecto de estudio de la ingeniería civil*

*A mis compañeros de tesis, Sergio Andrés y Diego Armando,
sin su excelente trabajo en equipo,
no hubiese sido posible llegar a culminar este proyecto,
demostrando su profesionalismo y entrega.*

*A mis amigas YuranI y Marce,
quienes me han brindado en cada uno de sus espacios,
el valor de la verdadera amistad,
garantizándome respaldo, confianza y lealtad.*

*A mis amigos y compañeros de Universidad,
que me acompañaron en el proceso de formación como ingeniera,
creando una retroalimentación de conocimientos y experiencias.*

LIZ MAYDOLLY BARRERA ARDILA

*A Dios Padre y María Santísima,
quienes me alzaron sobre la arena,
al caminar por los senderos más espinosos
y me brindaron su sabiduría en el momento justo.*

*A mi padre, Luis Alberto,
quien me ha enseñado a saber ser hombre,
sin perder la caballerosidad,
y ha motivado en mí la lucha por lo que se quiere,
sin renunciar a la identidad personal.*

*A mi madre, María Smith,
consejera, amiga, motor y luz de mi vida,
quien ha inculcado en mí los valores cristianos y morales,
que me han permitido ser un ciudadano de bien.*

*A mi hermana Mónica Johana,
que ha sido el ejemplo de mi existencia,
la heroína a seguir, por su tenacidad, constancia,
amor y entrega tanto por su familia, como por sus metas.*

*A Liz Maydolly,
cómplice, motivadora, compañera y amiga,
quien ha sido mi apoyo durante este bello camino,
que nos enseñó a descubrir la importancia de tener
al otro a su lado.*

*A mi cuñado, Jaime Díaz,
quien ha sido una compañía importante y un buen consejero,
abriendo siempre con sus palabras,
el poder de decidir de la mejor manera.*

*A mi nana, Teresa Manrique,
una madre más, que siempre ha tenido para conmigo,
las mejores muestras de respaldo, pese a las adversidades.*

*Al profesor Jorge Gómez,
con quien no hubiese sido posible la aventura
de DIGRAVI,
siendo el principal causante del amor hacia las vías.*

*A los ingenieros de sistemas,
Sergio Andrés y Diego Armando,
causantes primordiales del éxito de este trabajo de grado,
muestra de que si se puede complementar las
diferentes áreas de aprendizaje,
teniendo buenos equipos de trabajo.*

*A mis ahijadas Laura Natalia y Herby Alejandra,
motivos de responsabilidad, compromiso y afecto en mi vida.*

*A mis amigos de siempre: los ex M.J.R., el Grupo Evolucionaria,
la Comunidad Redentorista de Colombia, mi Familia Sánchez, mi
Familia Aparicio y mis compañeros ingenieros civiles; los cuales
cada uno han dejado huella en mí.*

FREDDY ALBERTO APARICIO SANCHEZ

**“HÁGASE EL MOMENTO DE IR MAS ALLÁ,
DESPUÉS DE HABER TRASEGADO
POR CAMINOS DE SOMBRA, LUZ Y OSCURIDAD,
QUE NOS ACERCARON AL BELLO MUNDO DE CONSTRUIR
CONCEPTOS PERSONALES Y GLOBALES
DE LA INGENIERÍA CIVIL.”**

LOS AUTORES.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	1
1. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO.....	3
1.1 TÍTULO.....	3
1.2 JUSTIFICACIÓN.....	3
1.2.1 Descripción.....	3
1.2.2 Impacto.....	4
1.2.3 Viabilidad.....	5
1.2.4 Alcances.....	6
1.2.5 Limitaciones.....	7
1.3 OBJETIVO GENERAL.....	7
1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	7
2. MARCO TEÓRICO.....	9
2.1 FACTIBILIDAD VIAL.....	9
2.1.1 Fase I.....	10
2.1.2 Fase II.....	11
2.1.3 Fase III.....	11
2.2 ALINEAMIENTO HORIZONTAL.....	12
2.2.1 VELOCIDAD DE DISEÑO.....	12
2.2.1.1 Velocidad de diseño del tramo homogéneo (V_{TR}).....	13
2.2.1.2 Velocidad Específica.....	14
2.2.1.2.1 Velocidad Específica de la curva horizontal (V_{CH}).....	14
2.2.1.2.2 Velocidad Específica de la entretangencia horizontal.....	15

2.2.1.2.3 Velocidad Específica de la curva vertical (V_{CV}).....	15
2.2.1.2.4 Velocidad Específica de la tangente vertical (V_{TV}).....	15
2.2.2 VEHÍCULO DE DISEÑO.....	16
2.2.3 DISTANCIAS DE VISIBILIDAD.....	16
2.2.3.1 Distancia de visibilidad de parada (D_P).....	16
2.2.3.2 Distancia de visibilidad de adelantamiento (D_A).....	18
2.3 DISEÑO EN PLANTA.....	20
2.3.1 Curvas Horizontales.....	20
2.3.1.1 Curva Circular Simple.....	21
2.3.1.2 Curva Circular Compuesta.....	22
2.3.1.2.1 Dos Radios.....	23
2.3.1.2.2 Tres Radios.....	24
2.3.1.3 Curvas Espiralizadas.....	27
2.3.1.3.1 Curvas Espiral- Circulo- Espiral.....	28
2.3.1.3.2 Curvas Espiral- Espiral.....	31
2.3.2 Peraltes.....	32
2.3.3 Fricción transversal.....	32
2.3.4 Radio de curvatura (R_C).....	33
2.3.5 Entretangencias.....	38
2.4 TRANSICIÓN DE PERALTE.....	41
2.4.1 Rampa de peralte (Δ_S).....	42
2.4.2 Longitud de transición de peralte (L).....	43
2.4.2.1 Transición de peralte en curvas circulares.....	44

2.4.2.2	Transición de peralte en curvas con espiral.....	45
2.4.3	Métodos de realización de la transición de peralte.....	46
2.5	DISEÑO DE PERFIL.....	48
2.5.1	Tangente vertical.....	49
2.5.1.1	Pendientes.....	49
2.5.1.2	Longitud.....	51
2.5.2	Curvas verticales.....	53
2.5.2.1	Curva Vertical Convexa.....	53
2.5.2.2	Curva Vertical Cóncava.....	55
2.6	Secciones Transversales.....	59
2.6.1	Ancho de zona.....	60
2.6.2	Corona.....	61
2.6.3	Calzada.....	61
2.6.4	Pendiente transversal.....	62
2.6.5	Bermas.....	62
2.6.6	Cunetas.....	63
2.6.7	Taludes.....	64
2.6.8	Chaflanes.....	64
2.6.9	Tipos de sección.....	65
3.	INGENIERIA DE SOFTWARE.....	66
3.1	ANÁLISIS Y SISTEMA.....	66
3.2	REQUISITOS.....	67
3.3	DISEÑO.....	68

3.4 IMPLEMENTACIÓN.....	69
3.5 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....	70
3.6 DESARROLLO DEL PROYECTO.....	72
4. PRESENTACIÓN Y EJECUCIÓN DE SOFTWARE.....	75
4.1 PRESENTACIÓN DE ENTRADA.....	75
4.2 GENERACIÓN DE TERRENO.....	79
4.2.1 CARTERA DE CAMPO.....	80
4.2.1.1 IMPORTAR UN ARCHIVO.....	80
4.2.1.2 EDITOR DE PROGRAMA.....	80
4.2.2 INTERPOLAR.....	82
4.3 ESPECIFICACIONES DEL PROYECTO.....	88
4.4 DISEÑO EN PLANTA.....	93
4.5 TRANSICIÓN DE PERALTE.....	110
CONCLUSIONES.....	114
RECOMENDACIONES.....	116
BIBLIOGRAFÍA.....	118

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 2-1. Curva circular simple.....	21
FIGURA 2-2. Curva compuesta de dos radios.....	23
FIGURA 2-3. Curva compuesta de tres radios.....	25
FIGURA 2-4. Curva espiral-circulo-espiral.....	28
FIGURA 2-5. Curva espiral-espiral.....	31
FIGURA 2-6. Transición en curva circular.....	45
FIGURA 2-7. Transición en curva espiral.....	46
FIGURA 2-8. Calzada girada alrededor del eje.....	47
FIGURA 2-9. Calzada girada alrededor del borde interno.....	47
FIGURA 2-10. Calzada girada alrededor del borde externo.....	48
Figura 2-11. Efectos de las pendientes en los vehículos con relación Peso / Potencia de 150 Kg/HP.	52
Figura 2-12. Efectos de las pendientes en los vehículos con relación Peso / Potencia de 180 Kg/HP.....	52
Figura 2-13. Tipos de curva vertical convexa.....	53
Figura 2-14. Elementos para determinar la longitud mínima de la curva vertical convexa según el criterio de seguridad.	55
Figura 2-15. Tipos de curva vertical cóncava.....	55
Figura 2-16. Elementos para determinar la longitud mínima de la curva vertical cóncava según el criterio de seguridad.....	56
Figura 2-17. Sección transversal típica en vías Primarias y Secundarias.....	59
Figura 2-18. Sección transversal típica en vías terciarias.....	60
Figura 2-19. Línea de Chaflanes.....	65

Figura 4-1. Pantalla de Bienvenida Digravi fase I.....	75
Figura 4-2. Pantalla de inicio Digravi fase I.....	76
Figura 4-3. Icono Salvar Proyecto Digravi fase I.....	77
Figura 4-4. Icono Ver Resumen Digravi fase I.....	78
Figura 4-5. Icono Cargar Proyecto Digravi fase I.....	78
Figura 4-6. Pantalla Generación del Terreno Digravi fase I.....	78
Figura 4-7. Secuencia 1 Editor Interno Digravi fase I.....	80
Figura 4-8. Secuencia 2 Editor Interno Digravi fase I.....	80
Figura 4-9. Aviso de creación del eje de referencia Digravi fase I.....	81
Figura 4-10. Pantalla Generación del Terreno datos de interpolación Digravi fase I.....	82
Figura 4-11. Pantalla de Graficador de Terreno Digravi fase I.....	82
Figura 4-12. Pantalla de Graficador de Terreno con aplicaciones Digravi fase I.....	84
Figura 4-13. Pantalla de Generación de Terreno con la cartera de cotas redondas Digravi fase I.....	85
Figura 4-14. Ingreso de datos en la cartera de cotas redondas Digravi fase I.....	85
Figura 4-15. Secuencia de ingreso de datos en la cartera de cotas redondas Digravi fase I.....	86
Figura 4-16. Pantalla de Ayudas Digravi fase I.....	86
Figura 4-17. Pantalla de Especificaciones del Proyecto Digravi fase I.....	91
Figura 4-18. Aviso de aceptación de las Especificaciones Digravi fase I.....	92
Figura 4-19. Submenú Diseño Horizontal Digravi fase I.....	92
Figura 4-20. Opciones de Alineamiento Horizontal Digravi fase I.....	93

Figura 4-21. Localización del punto inicial en el graficador Digravi fase I...	94
Figura 4-22. Confirmación del punto inicial y final Digravi fase I.....	94
Figura 4-23. Indicador de pendiente media máxima en línea de ceros Digravi fase I.....	95
Figura 4-24. Indicador pendiente mayor a media máxima en línea de ceros Digravi	96
Figura 4-25. Indicador falta de información para crear línea de ceros Digravi fase I.....	96
Figura 4-26. Indicador de culminación de la línea de ceros proyecto Digravi fase I.....	97
Figura 4-27. Confirmación para guardar la línea de ceros del proyecto Digravi fase I.....	98
Figura 4-28. Trazado de la línea de proyecto Digravi fase I.....	99
Figura 4-29. Culminación del Alineamiento Horizontal Digravi fase I...	99
Figura 4-30. Pantalla de Diseño de Curvas Horizontales Digravi fase I.....	100
Figura 4-31. Pantalla de Diseño de Curva Circular Simple Digravi fase I...	102
Figura 4-32. Pantalla de Diseño de Curva de dos radios Digravi fase I....	104
Figura 4-33. Pantalla de Diseño de Curva Espiral-Circular-Espiral Digravi fase I.....	106
Figura 4-34. Pantalla de Transición de Peralte Digravi fase I.....	109
Figura 4-35. Pantalla de Transición de Peralte de Borde Interno Digravi fase I.....	110
Figura 4-36. Pantalla de Transición de Peralte de Borde Externo Digravi fase I.....	111
Figura 4-37. Pantalla de Transición de Peralte del Eje Digravi fase I.	112

LISTA DE TABLAS

TABLA 2.1. Características del terreno.....	10
TABLA 2.2. Velocidades de diseño (V_{TR}).....	13
TABLA 2.3. Velocidad específica de una curva horizontal (V_{CH})	15
TABLA 2.4. Distancias de visibilidad de parada en tramos a nivel.....	17
TABLA 2.5. Distancia de visibilidad de parada en tramos con pendiente.....	18
TABLA 2.6. Distancias de visibilidad de adelantamiento para carreteras de dos carriles dos sentidos (m).....	19
TABLA 2.7. Oportunidades de adelantar por tramos de cinco kilómetros.....	19
TABLA 2.8. Visibilidad.....	20
TABLA 2.9. Cuerdas por radio.....	22
TABLA 2.10. Coeficiente fricción transversal máxima.....	33
TABLA 2.11. Radios mínimos para peralte 8% y fricción máxima.....	34
TABLA 2.12. Radios mínimos para peralte 6% y fricción máxima.....	34
TABLA 2.13. Radios (R_C) según Velocidad Específica (V_{CH}) y Peraltes (e) para $e_{m\acute{a}x} = 8\%$	36
TABLA 2.14. Radios (R_C) según Velocidad Específica (V_{CH}) y Peraltes (e) para $e_{m\acute{a}x} = 6\%$	37
TABLA 2.15. Relación entre Radios de curvas horizontales consecutivas con entretangencia de longitud menor o igual a cuatrocientos metros (400 m).....	38
TABLA 2.16. Radios para pequeñas deflexiones entre alineamientos rectos.....	41
TABLA 2.17. Pendientes relativas para transición de peralte.....	43

TABLA 2.18. Factor de ajuste para transición.....	44
TABLA 2.19. Pendientes máximas según velocidad de diseño del tramo homogéneo V_{TR}	50
TABLA 2.20. Pendientes máximas según velocidad específica tangente vertical V_{TV}	50
TABLA 2.21. Longitud mínima de la tangente vertical.....	51
TABLA 2.22. Valores de K_{min} en Curvas Verticales.....	58
TABLA 2.23. Anchos de zona mínimos.....	60
TABLA 2.24. Anchos recomendados para calzada según V_{TR}	61
TABLA 2.25. Bombeo por tipo de rodadura.....	62
TABLA 2.26. Anchos recomendados para bermas según V_{TR}	63

RESUMEN

TÍTULO:

DISEÑO GEOMÉTRICO DE VIAS ASISTIDO POR UNA HERRAMIENTA DE PROGRAMACIÓN: "DIGRAVI" (DISEÑADOR Y GRAFICADOR DE VÍAS)
FASE 1 *

AUTORES:

FREDDY ALBERTO APARICIO SÁNCHEZ

LIZ MAYDOLLY BARRERA ARDILA **

Palabras claves: vías, terreno, topografía, curva horizontal, alineamiento, curva espiral, longitud de transición, normativa.

DESCRIPCIÓN:

DIGRAVI, es una herramienta de programación para el diseño y la graficación de vías, la cual durante esta fase tiene como fin generar la topografía de un terreno desde datos reales, permitir trazar el respectivo alineamiento horizontal de un proyecto, realizar el diseño de curvas horizontales y calcular su respectiva transición de peraltado. Su punto de partida es la herramienta graficadora interna que permite generar el terreno, hacer opciones de trazado y ubicar sus curvas de tipo horizontal. Se espera que en las siguientes etapas esta ayuda también se integre a la parte de diseño vertical y secciones transversales.

El programa está realizado sobre una plataforma de JAVA, con lo cual se pueden tanto hacer cálculos numéricos como trabajos de gráficos, dejando además tener vínculos de enlaces con programas como EXCEL. También cuenta con elementos propios para apoyo de los dibujos y está basado en su teoría por la Normativa Colombiana para carreteras más reciente (Diseño Geométrico de vías 2008).

Este proyecto busca contribuir con los objetivos de tener dentro de la Universidad y la Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas, un grupo de investigación que apoye los trabajos de ingeniería a partir de la graficación de elementos técnicos afines a cada rama del saber de cada programa académico con el respaldo de conceptos teóricos fundamentados, así como ayudar a la enseñanza del diseño vial en la Escuela de Ingeniería Civil.

*Proyecto de Grado

**Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas. Escuela de Ingeniería Civil.

Director: Jorge Hernando Gómez Gómez. Codirector: Alfonso Mendoza Castellanos.

ABSTRACT**TITLE**

DESIGN AND SPREADSHEET PROGRAM OF PUBLIC WAYS-ASSISTED BY A PROGRAMMING TOOL, "DIGRAVI".
(DESIGNER AND SPREADSHEET PROGRAMMER ROADS) PHASE 1*

AUTHORS:

FREDDY ALBERTO APARICIO SÁNCHEZ

LIZ MAYDOLLY BARRERA ARDILA **

KEYWORDS:

Ways, earthly, topography, horizontal curve, alignment, spiral curve, length transition, regulations.

DESCRIPTION:

DIGRAVI, is a programming tool for designing and plotting roads, which during this phase is designed to generate the topography of land from real data, allowing to trace the respective horizontal alignment of a project, making design horizontal curves and calculates the respective transition of superelevation. Its starting point is the internal graphing tool for generating the field, making route options and places its horizontal curves. It is expected that the next steps this support should also be integrated to the vertical design and cross sections.

The program is made on a JAVA platform, which can both make numerical calculations and graphics jobs, leaving links with programs such as EXCEL. Also, it has its own support elements of the design and it is also based on its theory by the Colombian legislation for latest roads (Geometric Design of roads 2008).

This project looks for to contribute to the goals of having within the University and the Faculty, a research group that supports the engineering work from plotting technical elements related to each branch of knowledge of each race with the support of theoretical concepts founded, and also to assist the teaching of road design within the Civil Engineering Faculty.

*Proyecto de Grado

**Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas. Escuela de Ingeniería Civil.

Director: Jorge Hernando Gómez Gómez. Codirector: Alfonso Mendoza Castellanos.

INTRODUCCIÓN

Las nuevas tecnologías demandan innovación en todos los campos del saber profesional y científico, por lo cual se hace indispensable complementar los conceptos teóricos de una rama profesional con los procesos propios de la programación, como un medio efectivo de abarcar con propiedad y mayor cubrimiento elementos propios de un diseño de ingeniería, logrando de este modo productos más llamativos y modernos.

Las vías presentan dentro de su proyecto de elaboración un conjunto de operaciones de acuerdo a criterios que se van teniendo en cuenta a medida que se va avanzando en el trazado final de la carretera. Por lo tanto, ante las posibilidades tan inmensas que surgen a criterio del ingeniero, guiado por las normativas de cada país para el área vial y debido a la cantidad de estas, siendo quizás a veces repetitivas, se vuelve importante relacionar su proyección con un componente que lo vuelva más eficiente y eficaz, siendo un buen complemento desde el punto de vista pedagógico, tal como lo es la programación.

De allí y buscando traer a la actualidad colombiana (es decir siguiendo el Manual de Diseño Geométrico de carreteras 2008) el proceso de diseño vial, se crea este proyecto de grado, buscando que sea el inicio de una herramienta de aprendizaje en los futuros profesionales de la Ingeniería Civil, que parta de los conceptos básicos, pero que a su vez les permita reflexionar acerca de los criterios personales tenidos en cuenta para la decisión final de un trazado.

La herramienta tiene como principal ayuda el complemento gráfico de cada elemento calculado en cada fase de aplicación, con lo cual los estudiantes podrán visualizar de una manera sensitiva lo que se esta

haciendo y el porque es bueno mantenerlo o dejarlo a un lado, permitiendo con ello a medida que se avanza ir haciendo un estimativo acorde a lo anteriormente computado, mediante un entorno amable y útil.

En síntesis, este trabajo busca ser apoyo a las asignaturas de Topografía y Diseño Vial, del nuevo pensum académico de la Escuela de Ingeniería Civil en la Universidad Industrial de Santander, optimizando con el apoyo de la Ingeniería de Sistemas en su componente de programación todo lo que abarca la planeación de un diseño de carreteras, guiado por nuestras propias normas de Estado, aplicando en el mismo la herramienta de graficación propia para un programa de computación nacida desde esta Alma Mater, siendo así diferente a otros similares que se encuentran en el mercado y que se apoyan en otros software para su ejecución.

1. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

1.1 TÍTULO

Diseño Geométrico de vías asistido por una herramienta de programación: “DIGRAVI” (Diseñador y graficador de vías) - FASE 1.

1.2 JUSTIFICACIÓN

1.2.1 Descripción

Dentro de esta alma mater se hace necesario, por medio de la interdisciplinariedad de las Ingenierías Fisicomecánicas, la ejecución de proyectos que tengan como soporte las asignaturas afines a cada Escuela de estas, siendo así un apoyo vital para el aprendizaje del futuro profesional. Por ende, a partir del querer permitir una ayuda de esta manera en la Escuela de Ingeniería Civil dentro del área vial y con el soporte de la Ingeniería de Sistemas, se presenta este trabajo de grado buscando:

Crear un graficador que genere a futuro la planimetría y altimetría partiendo de una entrada de datos conocidos tomados en el terreno, que de acuerdo con sus condiciones desarrolle en cada fase del proyecto las alternativas de trazados horizontales y verticales de una posible vía.

El software cuenta con ayudas didácticas como iconos, imágenes y avisos normativos que guían al usuario en su propio proceso de diseño y además le sean de apoyo para tomar la opción mas optima entre las posibles.

La herramienta esta soportada en ecuaciones planteadas en la bibliografía del área de vías, permitiendo tener los parámetros tradicionales propios de los lineamientos viales, además de la formulación matemática pertinente a la programación.

Este proyecto en su fase inicial estará limitado por la planimetría de una vía, dejando espacio para en una fase posterior realizar la altimetría y las secciones transversales para el cálculo de volúmenes, que es el principio del planteamiento de movimiento de tierras.

1.2.2 Impacto

El programa será útil para el área vial de los estudiantes de pregrado de la Escuela de Ingeniería Civil, permitiéndoles diseñar con criterios acordes a la normativa colombiana y profundizando los conceptos teóricos de las cátedras presenciales, a través de la complementación gráfica que presta el mismo.

Busca ser pionero dentro del ámbito académico, dándole los diferentes procesos de diseño de las Ingenierías la complementariedad con el uso de herramientas graficas, a partir de un software que parta del seno de la institución y deje a un lado los de tipo comercial que representan gastos significativos para la misma, brindando así economía dentro del establecimiento y a su vez generando herramientas practicas y pedagógicas para el estudiantado.

La idea de la herramienta “Digravi FASE 1” es ser un apoyo para la enseñanza y aprendizaje orientada desde el claustro universitario, permitiendo optimización en tiempo y recursos de proyectos viales, que podían ser mas largos y tediosos para el estudiante a la hora de

realizarlo, dejando de esta manera que se cree el espacio para la reflexión sobre la posibilidad de un diseño.

Finalmente, tiene como una de sus grandes novedades la generación de un terreno a partir de datos obtenidos de levantamientos topográficos, brindando buenas aproximaciones a la realidad y dejando que a partir de ello se pueda ejecutar todo el procedimiento de la elaboración de una carretera, principalmente de segundo y tercer orden, para uso pedagógico.

1.2.3 Viabilidad

En momentos en los cuales el realizar trabajos que complementen las ciencias del saber, las ingenierías no pueden ser ajenas a esto, por lo tanto el realizar proyectos de esta naturaleza involucra la interdisciplinariedad como una herramienta para llevar a cabo propuestas de feliz alcance que satisfagan a toda una comunidad.

Por ende, con la ayuda de la programación desde el lenguaje Java se busco que no solo se contara con un diseñador alfanumérico de un proyecto vial, que a su vez sea amable para el usuario, sino que además se complemente de la misma forma con la graficación para cada uno de los elementos que demandan este servicio, con lo que se da mayor claridad a lo proyectado.

Todo esto se hace posible a partir de la integración que puede darse desde el profesorado y estudiantado UIS siguiendo patrones institucionales, que vinculen al futuro profesional a retos que le proporcionen complementarse y entender que su saber es solo una parte de una sociedad que requiere de todos.

1.2.4 Alcances

El presente programa permite que el usuario realice los siguientes procesos:

- Graficar a partir de la cartera de campo topográfica el corredor de un terreno, para una posible vía.
- Trazar a criterio las alternativas de líneas de ceros y proyectos del corredor demarcado anteriormente.
- Diseñar, graficar y transitar el peralte de curvas horizontales de un proyecto vial de tipo simple, compuesta (dos y tres radios), espiral clotoide de tipo: espiral-circular-espiral (E-C-E) y espiral-espiral (E-E). El tránsito de peralte puede ser en el eje o en los bordes.
- Enlistar los elementos de cada una de las curvas horizontales y ver su respectiva cartera de proyecto en un abscisado dado y en los puntos importantes del proyecto.
- Consultar las tablas de diseño horizontal contempladas en el Manual de Diseño Geométrico vial de 2008.
- Visualizar la totalidad del proyecto durante esta fase en términos de topografía, alineamiento y diseño horizontal, al igual que transición de peralte mediante gráficos y tablas de resumen.

1.2.5 Limitaciones

Por su parte el programa presenta como limitantes para este tipo de proyectos en su primera versión lo siguiente:

- No calcula curvas horizontales reversas, ni curvas espirales de tipo “S” y “C”.
- La franja de terreno para las alternativas esta condicionada a los datos suministrados por la cartera topográfica.
- La aproximación de la realidad topográfica esta denotada por la escala de trabajo y la cantidad de datos recolectados.

1.3 OBJETIVO GENERAL

Implementar el inicio de una herramienta de diseño de carreteras con su propio software de graficación, en una etapa inicial (topografía de terreno, planimetría y transición de peralte), teniendo en cuenta los parámetros necesarios para ello, contemplados en la normativa colombiana, que permita un fácil acceso y manejo a profesionales y estudiantes del área vial.

1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ❖ Crear un software graficador que genere la topografía de un terreno, el eje preliminar y permita el diseño horizontal, con la respectiva transición de las curvas de una vía.

- ❖ Proponer los diseños de acuerdo con el tipo de carretera que se desee elaborar con la ayuda de la herramienta.
- ❖ Realizar cálculos afines a los elementos viales horizontales y de transición de peraltado, que se necesitan diseñar para la graficación.
- ❖ Aplicar los conocimientos aprendidos en las asignaturas afines al campo de proyecto, en ingeniería de sistemas y en ingeniería civil.
- ❖ Optimizar a partir del nuevo programa la herramienta Hedica 1.0 en materia de generación de terreno y diseño planimétrico vial.
- ❖ Colaborar en la metodología aplicada a las asignaturas relacionadas con el área vial, partiendo de conceptos teóricos básicos.

2. MARCO TEÓRICO

El desarrollo económico de un país, requiere de la inversión en adecuación y construcción de carreteras que comuniquen puntos apartados de gran producción agrícola o de cualquier otro tipo de producto, con las grandes zonas comerciales, así como también el permitir pasos a regiones que deseen explotarse turísticamente. Entonces es labor del Ingeniero, diseñar de una manera eficiente y siguiendo los parámetros de cada nación vías seguras, confiables y confortables para los usuarios. En Colombia, contamos en la actualidad con el Manual de Diseño Geométrico de carreteras aprobado en el año 2008 y del cual resaltamos el siguiente contenido, adaptándolo a nuestro programa “DIGRAVI FASE 1”.

2.1 FACTIBILIDAD VIAL

En el momento de querer realizar un proyecto de una vía de comunicación, se requiere tener claridad sobre la importancia de su realización y la afectación que le puede dar a la región en la cual se va a ejecutar, por ende las variables iniciales observadas (económicas, sociales, políticas y técnicas) se hacen claves para darle aprobación o no a la propuesta.

Al mismo tiempo y viendo la posibilidad de aprobación del proyecto, se evalúa la categoría en la cual se puede clasificar la carretera debido a su nivel de servicio, la cual puede ser primaria (si se trata de transversales y troncales nacionales), secundaria (cuando hablamos de carreteras departamentales) o terciaria (carreteras de penetración y caminos vecinales no pavimentados).

Por otro lado, y de acuerdo a nuestro Diseño geométrico de 2008, también al tener el plano del sitio del proyecto se debe clasificar el terreno en plano, ondulado, montañoso o escarpado, lo cual se hace a través de la observación de sus pendientes tanto en el sentido longitudinal, como en el transversal para clasificarlo. Ello se resume en la siguiente tabla:

TABLA 2-1. CARACTERÍSTICAS DEL TERRENO		
TIPO DE TERRENO	PENDIENTE LONGITUDINAL	PENDIENTE TRANSVERSAL
PLANO	0-3%	< 5°
ONDULADO	3-6%	6-13°
MONTAÑOSO	6-8%	13-40°
ESCARPADO	>8%	> 40°

Los Autores basados en documentación del Manual de Diseño Geométrico de Carreteras 2008

Tomando todo lo anteriormente expuesto y teniendo claro que la decisión es dar marcha al proyecto, se toman los posibles corredores y se hace su respectivo proceso de factibilidad, en tres fases.

2.1.1 Fase I

Durante esta se planean las posibles mejores opciones de trazado o recorrido de la vía para presentar, brindando en ellas los primeros datos de información y documentación de la zona, así como un reconocimiento previo del terreno a nivel topográfico y unos cálculos preliminares que permitan brindar recomendaciones en las fases posteriores. Esta etapa es básicamente de evaluación y su precisión esta en el 25%.

2.1.2 Fase II

La ejecución de esta fase busca definir la selección ideal de la vía, dándole solución a las recomendaciones previas dadas y haciendo un análisis mas profundo de todo el conjunto de diseño de la carretera. Aquí se desarrollan procesos mas técnicos tales como levantamientos de precisión topográfica de las alternativas contempladas, con lo que posteriormente se brinda a las poligonales mediante cálculos coordenadas, que luego permitan dibujar el trazado tanto en planta como en perfil de la rasante a desarrollar finalmente. Con estos datos se hacen también unas primeras aproximaciones en el cálculo de volúmenes, movimientos de tierra, construcción de obras de arte de drenaje o puentes, estimándose sus cantidades de obra y dándose unas aproximaciones mínimas aceptables. Al igual que la primera fase es de tipo evaluativa, su precisión esta alrededor del 15%.

2.1.3 Fase III

En esta fase se escoge la alternativa que finalmente va a cumplir con todos los requerimientos del proyecto, siendo integrada entonces por: un diseño geométrico completo, cantidades de materiales y costos de la obra, especificaciones de la construcción, un presupuesto y un pliego de condiciones dado para la licitación.

Además, con ella se presentan todos los planos de la propuesta (localización, planta, perfil, secciones transversales, diagrama de masas y detalles de obras adicionales), informes completos del proyecto tanto del diseño como del modo de construcción. Esta etapa, es la del proyecto como tal y su precisión esta alrededor del 5%.

2.2 ALINEAMIENTO HORIZONTAL

En la elaboración del trazado de una carretera se miran dos tipos de alineamientos, los cuales deben cumplir con ciertos tipos de parámetros, el primero que se observa es el que se ve en un plano de curvas de nivel del terreno, al cual se le denomina por su condición física como horizontal.

Allí se tienen en cuenta tanto tramos en tangente, como las curvas horizontales.

Teniendo este alineamiento, para proceder al diseño geométrico como tal de las curvas horizontales se contemplan las variables iniciales del proyecto de: velocidad, tipo de vehículo y la distancia de visibilidad.

2.2.1 VELOCIDAD DE DISEÑO

El ideal de una vía es tratar de variar lo menos posible a lo largo del recorrido la velocidad, por tanto se requiere que se identifiquen tramos topográficamente homogéneos, con los cuales se brinden las condiciones de seguridad, comodidad y economía necesarias para el usuario y el proyecto.

Para seguir estos tramos se debe buscar que: la longitud mínima para una misma velocidad sea entre 3 y 4 kilómetros de acuerdo a su valor y que también la diferencia de velocidad entre tramos adyacentes no sea mayor a 20 kilómetros. Sin embargo, si debido a cambios abruptos del terreno debe cambiarse el anterior criterio, se busca que no cambie más de 10 kilómetros con respecto a la velocidad que se trae.

2.2.1.1 Velocidad de diseño del tramo homogéneo (V_{TR})

Se escoge de acuerdo a la categoría de carretera que puede ser primaria de una o dos calzadas, secundaria o terciaria, de acuerdo a lo requerido para el proyecto y al tipo de terreno, es decir si es plano, ondulado, montañoso o escarpado, de acuerdo a lo arrojado por sus características topográficas.

Para seguir estas pautas se puede seguir la siguiente tabla recomendada por el Manual de Diseño Geométrico de carreteras de 2008.

TABLA 2-2. VELOCIDADES DE DISEÑO V_{TR} (KPH)											
TIPO DE CARRETERA	TIPO DE TERRENO	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
PRINCIPAL DE DOS CALZADAS	PLANO							X	X	X	X
	ONDULADO							X	X	X	X
	MONTAÑOSO						X	X	X	X	
	ESCARPADO						X	X	X		
PRINCIPAL DE UNA CALZADA	PLANO							X	X	X	
	ONDULADO						X	X	X	X	
	MONTAÑOSO					X	X	X	X		
	ESCARPADO					X	X	X			
SECUNDARIA	PLANO					X	X	X			
	ONDULADO				X	X	X	X			
	MONTAÑOSO			X	X	X	X				
	ESCARPADO			X	X	X					
TERCIARIA	PLANO			X							
	ONDULADO		X	X							
	MONTAÑOSO	X	X	X							
	ESCARPADO	X	X								

Tomado de Manual de Diseño Geométrico de Carreteras 2008

2.2.1.2 Velocidad Específica

Es aquella velocidad máxima a la cual se diseña un elemento geométrico de la vía, tanto en planta como perfil, bien sea una curva o una tangente. Se toma teniendo en cuenta la velocidad de diseño del tramo (V_{TR}) en el cual se encuentra el elemento y la geometría del trazado antes del elemento teniendo en cuenta el sentido de recorrido del vehículo. Se sugiere, que en tramos donde va a ser distinto a la velocidad de diseño, no supere esta en 20 kilómetros.

Para el diseño en planta se sugiere que la velocidad específica se otorgue partiendo de la velocidad de diseño se asignen las velocidades de las curvas horizontales (V_{CH}) y de estas se coloquen las de entretangencias horizontales (V_{ETH}).

Mientras tanto para el diseño de perfil el orden a seguir es de analizar las velocidades de las curvas horizontales (V_{CH}) o entretangencias horizontales (V_{ETH}) y dar el valor de la velocidad específica a las curvas verticales (V_{CV}), y para generar el de las entretangencias verticales (V_{TV}), partir de las entretangencias horizontales (V_{ETH}).

2.2.1.2.1 Velocidad Específica de la curva horizontal (V_{CH})

Además de los parámetros anteriormente mencionados para asignar la velocidad específica de una curva horizontal se puede de acuerdo a la velocidad que adoptan durante este trayecto y la longitud que encuentran al salir de este, proporcionar uno de los casos presentados en la siguiente tabla:

TABLA 2-3. VELOCIDAD ESPECÍFICA DE UNA CURVA HORIZONTAL(V_{CH})										
VELOCIDAD ESPECÍFICA DE LA CURVA HORIZONTAL ANTERIOR V_{CH} (KPH)	VELOCIDAD DE DISEÑO DEL TRAMO (V_{TR}) \leq 50KPH					VELOCIDAD DE DISEÑO DEL TRAMO (V_{TR}) $>$ 50KPH				
	LONGITUD DEL SEGMENTO RECTO ANTERIOR (m)					LONGITUD DEL SEGMENTO RECTO ANTERIOR (m)				
	$L \leq 70$	$70 < L \leq 250$		$250 < L \leq 400$	$L > 400$	$L \leq 150$	$150 < L \leq 400$		$400 < L \leq 600$	$L > 600$
		$\Delta < 45^\circ$	$\Delta \geq 45^\circ$				$\Delta < 45^\circ$	$\Delta \geq 45^\circ$		
V_{TR}	V_{TR}	V_{TR}	V_{TR}	V_{TR+10}	V_{TR+20}	V_{TR}	V_{TR}	V_{TR}	V_{TR+10}	V_{TR+20}
V_{TR+10}	V_{TR+10}	V_{TR+10}	V_{TR}	V_{TR+10}	V_{TR+20}	V_{TR+10}	V_{TR+10}	V_{TR}	V_{TR+10}	V_{TR+20}
V_{TR+20}	V_{TR+20}	V_{TR+10}	V_{TR+10}	V_{TR+20}	V_{TR+20}	V_{TR+20}	V_{TR+10}	V_{TR+10}	V_{TR+20}	V_{TR+20}
CASO	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5

Tomado de Manual de Diseño Geométrico de Carreteras 2008

2.2.1.2.2 Velocidad Específica de la entretangencia horizontal (V_{ETH})

Es la mayor que existe entre las dos curvas que la comprenden y en cualquiera de los dos sentidos de recorrido, brindando de esta manera mayores posibilidades al usuario que la transita. La velocidad de entretangencia horizontal permite además verificar la distancia de visibilidad de adelantamiento (V_A).

2.2.1.2.3 Velocidad Específica de la curva vertical (V_{CV})

Sirve para elegir la longitud de la curva vertical, bien sea cóncava o convexa, sirviendo también para verificar la distancia de visibilidad de parada (V_P). El valor que toma esta ligado a sí esta localizada dentro de un tramo de curva horizontal o de entretangencia horizontal, de lo cual depende entonces su cantidad.

2.2.1.2.4 Velocidad Específica de la tangente vertical (V_{TV})

Asume el mismo valor de la velocidad específica de la entretangencia horizontal (V_{ETH}), ya que el diseño en planta y perfil deben estar directamente ligados y ello permite que las pendientes de la rasante sean acordes a lo proyectado.

2.2.2 VEHÍCULO DE DISEÑO

Es aquel que permite determinar condiciones básicas de la sección transversal de la vía tales como ancho de carril, calzada, berma y sobreebanco, dependiendo su escogencia de las condiciones de tráfico evaluadas para la región en la cual se va a desarrollar el proyecto y el uso crítico del mismo.

El Ministerio de Transporte Colombiano estipula que se clasifican en livianos los menores a 5 toneladas (automóviles, camperos y camionetas) y pesados (buses y camiones de carga), incidiendo los primeros en parámetros como la velocidad máxima y las distancias de visibilidad tanto de parada como de adelantamiento. Entre tanto, los segundos se toman para evaluar la pendiente longitudinal y la longitud crítica de pendiente.

2.2.3 DISTANCIAS DE VISIBILIDAD

Es la máxima longitud a la cual un conductor de vehículo puede ver hacia adelante, sin contar con obstáculo alguno. Se toman tres tipos diferentes de ella: parada, adelantamiento y cruce, siendo relevantes para nuestro caso las dos primeras, ya que la última es más de uso urbano.

2.2.3.1 Distancia de visibilidad de parada (D_p)

Es aquella en la cual el conductor de un vehículo puede detenerlo antes de que aparezca un obstáculo en su trayectoria, sin causar accidente

alguno, llevando la velocidad específica del elemento geométrico recorrido.

Se dice que es la suma de dos distancias una de percepción-reacción y otra de frenado. La primera se adopta con un tiempo de 2.5 segundos y se da desde el momento en que es divisado el obstáculo hasta el instante en que se aplican los frenos, mientras la segunda se origina desde el momento de aplicación hasta el momento en que el vehículo se detiene por efecto del frenado.

De acuerdo, a los estudios producidos por la AASHTO en el 2004 y a las ecuaciones con las cuales se simularon los estudios el resumen de las condiciones generales de estas distancias se da en las siguientes tablas tanto para tramos a nivel como en pendiente.

TABLA 2-4. DISTANCIAS DE VISIBILIDAD DE PARADA EN TRAMOS A NIVEL				
VELOCIDAD ESPECÍFICA (KPH)	DISTANCIA PERCEPCIÓN-REACCIÓN(m)	DISTANCIA DURANTE EL FRENADO A NIVEL (m)	DISTANCIA VISIBILIDAD DE PARADA CALCULADA (m)	DISTANCIA VISIBILIDAD DE PARADA REDONDEADA (m)
20	13,9	4,6	18,5	20
30	20,90	10,30	31,20	35
40	27,80	18,40	46,20	50
50	34,80	28,70	63,50	65
60	41,70	41,30	83,00	85
70	48,70	56,20	104,90	105
80	55,60	73,40	129,00	130
90	62,60	92,90	155,50	160
100	69,50	114,70	184,20	185
110	76,50	138,80	215,30	220
120	83,40	165,20	248,60	250
130	90,40	193,80	284,20	285

Tomado de Manual de Diseño Geométrico de Carreteras 2008

TABLA 2-5. DISTANCIA DE VISIBILIDAD DE PARADA EN TRAMOS CON PENDIENTE						
VELOCIDAD ESPECÍFICA V_e (KPH)	DISTANCIA DE VISIBILIDAD DE PARADA D_p (m)					
	DESCENSO			ASCENSO		
	-3%	-6%	-9%	3%	6%	9%
20	20	20	20	19	18	18
30	32	35	35	31	30	29
40	50	50	53	45	44	43
50	66	70	74	61	59	58
60	87	92	97	80	77	75
70	110	116	124	100	97	93
80	136	144	154	123	118	114
90	164	174	187	148	141	136
100	194	207	223	174	167	160
110	227	243	262	203	194	186
120	263	281	304	234	223	214
130	302	323	350	267	254	243

Tomado de Manual de Diseño Geométrico de Carreteras 2008

2.2.3.2 Distancia de visibilidad de adelantamiento (D_A)

Es aquella en la cual un vehículo con mayor velocidad sobrepasa a otro del mismo carril teniendo las condiciones de seguridad para no golpear un tercer automóvil que venga en sentido contrario y pueda ser divisado con tiempo.

Resulta de la suma de cuatro distancias: la de percepción-reacción (D_1), la recorrida en el carril opuesto haciendo el adelantamiento (D_2), la de seguridad debido a la maniobra (D_3) y la recorrida por el vehículo que viene en sentido contrario ($2/3$ de D_2). Se presenta una tabla de resumen de acuerdo a los estudios de la AASHTO en el año 2004, que es la siguiente:

TABLA 2-6. DISTANCIAS DE VISIBILIDAD DE ADELANTAMIENTO PARA CARRETERAS DE DOS CARRILES DOS SENTIDOS (m)				
VELOCIDAD ESPECÍFICA ENTRETANGENCIA HORIZONTAL DE MANIOBRA V_{ETH} (KPH)	VELOCIDAD VEHÍCULO ADELANTADO(KPH)	VELOCIDAD DEL VEHÍCULO QUE ADELANTA (KPH)	MÍNIMA DISTANCIA DE VISIBILIDAD DE ADELANTAMIENTO D_A(m)	
			CALCULADA	REDONDEADA
20	-	-	130	130
30	29	44	200	200
40	36	51	266	270
50	44	59	341	345
60	51	66	407	410
70	59	74	482	485
80	65	80	538	540
90	73	88	613	615
100	79	94	670	670
110	85	100	727	730
120	90	105	774	775
130	94	109	812	815

Tomado de Manual de Diseño Geométrico de Carreteras 2008

También se presentan unas condiciones mínimas de opción de adelantamiento por tramos.

TABLA 2-7. Oportunidades de adelantar por tramos de cinco kilómetros			
VELOCIDAD DE DISEÑO DEL TRAMO	20-50	60-80	90-100
HOMOGÉNEO V_{TR} (km/h) PORCENTAJE MÍNIMO DE LA LONGITUD CON DISTANCIA DE VISIBILIDAD DE ADELANTAMIENTO (%)	20%	30%	40%

Tomado de Manual de Diseño Geométrico de Carreteras 2008

Finalmente y a modo de resumen el Manual de Diseño Geométrico de carreteras 2008, nos brinda una tabla de resumen general, sobre la distancia de visibilidad global, al unir los parámetros de visibilidad de

adelantamiento y de parada (tanto en percepción-reacción como en frenado), de acuerdo a la velocidad específica y a modo de agilización de los cálculos en momento que no se cuenta con demasiada información, tanto para estipular en planta como en el perfil.

TABLA 2-8. VISIBILIDAD	
VELOCIDAD ESPECÍFICA (km/h)	LONGITUD (m)
30	150
40	200
50	250
60	300
70	350
80	400
90	500
100	600
110	700
120	800

Tomado de Manual de Diseño Geométrico de Carreteras 2008

2.3 DISEÑO EN PLANTA

Es el proceso en el cual se diseñan las curvas circulares que se requieren dentro del alineamiento horizontal y que faciliten el empalme de las entretangencias.

2.3.1 Curvas Horizontales

Se clasifican en diferentes tipos de acuerdo a su forma geométrica y composición de elementos del mismo tipo. Para el caso, tenemos en cuenta de modo pedagógico la curva circular simple, las curvas compuestas (dos y tres radios) y las espiralizadas (clotoide, espiral-circular-espiral y espiral-espiral).

2.3.1.1 Curva Circular Simple

Es aquella que esta compuesta por un arco circular de radio único, lo que hace que sea constante e inversamente proporcional a este ultimo. Es la mas sencilla de diseñar y que se genera a gusto del proyectista, buscando comodidad, seguridad y economía. Los elementos de la curva circular están descritos en la siguiente grafica:

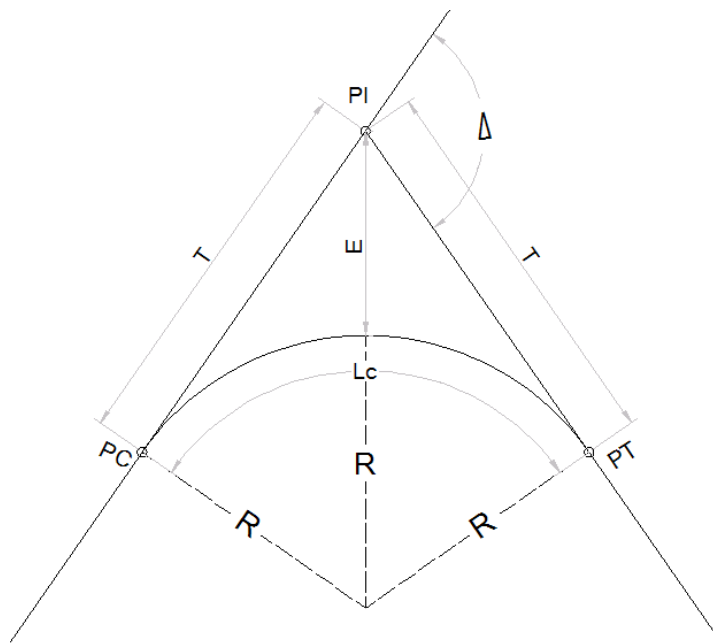


Figura 2-1. Elementos de empalme circular simple. Tomado de Manual de Diseño Geométrico de Carreteras 2008

PC: Punto de inicio de la curva circular.

PI: Punto de intersección entre dos alineamientos rectos horizontales.

PT: Punto de salida de la curva circular.

T: Tangente de la curva (segmentos entre PC-PI y PI-PT), calculada en metros.

Δ : Ángulo de deflexión en el PI, dado en grados o radianes.

R: Radio de curvatura, originada en metros.

E: Externa de la curva circular, expresada en metros.

L_c : Longitud de la curva circular, dada en metros.

C: Cuerda, que es la distancia constante entre las estaciones redondas de una curva. Se toman de acuerdo a los radios como:

TABLA 2-9. CUERDAS POR RADIO

RADIOS (m)	CUERDAS(m)
30-60	5
60-140	10
>140	20

Los Autores basados en documentación de Diseño de Carreteras de Paulo Emilio Bravo

G: Grado de curvatura, que representa el ángulo central de curvatura subtendido por una cuerda escogida como unidad.

CL: Cuerda Larga de la curva circular expresada en metros.

El abscisado de los puntos principales se da como:

$$PC = PI - T$$

$$PT = PC + L_c$$

2.3.1.2 Curva Circular Compuesta

Son aquellas curvas que están compuestas en su trayectoria por la unión de dos o más curvas simples, contando así con múltiples radios.

En nuestro caso adoptamos las de mayor utilidad por su comodidad, las de dos y tres radios respectivamente.

2.3.1.2.1 Dos Radios

De forma análoga a la curva circular simple:

PC: Punto de inicio de la curva circular compuesta.

PI: Punto de intersección entre dos alineamientos rectos horizontales.

PCC: Punto de unión entre dos curvas simples.

PT: Punto de salida de la curva circular.

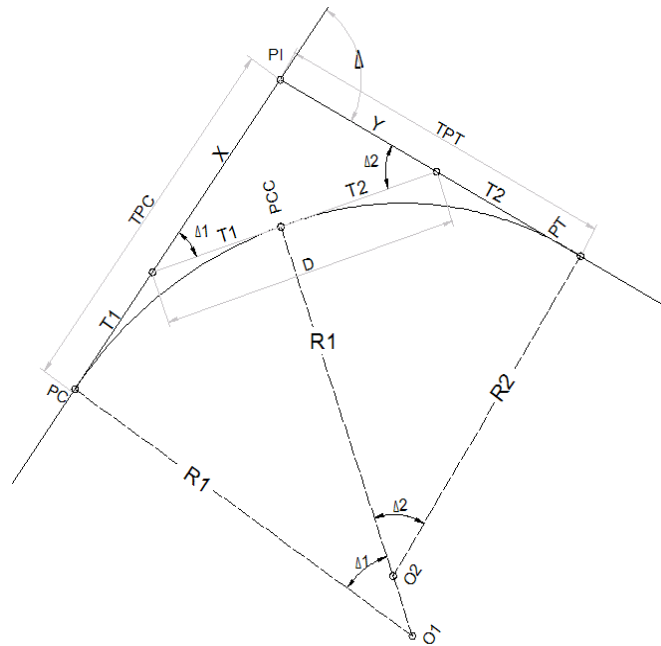


Figura 2-2. Elementos de empalme circular compuesto de dos radios.

T_1 : Tangente de entrada de la curva compuesta (PC-PI), calculada en metros.

T_2 : Tangente de salida de la curva compuesta (PI-PT), calculada en metros.

Δ : Ángulo de deflexión en el PI, dado en grados o radianes. ($\Delta = \Delta_1 + \Delta_2$)

Δ_1 : Ángulo de deflexión curva inicial, dado en grados o radianes.

Δ_2 : Ángulo de deflexión curva final, dado en grados o radianes.

R_1 : Radio de curvatura inicial, originada en metros.

R_2 : Radio de curvatura final, originada en metros.

T_{PC} : Tangente de curva inicial, dada en metros.

T_{PT} : Tangente de curva final, dada en metros.

L_c : Longitud de cada curva circular que comprende la compuesta, dada en metros.

G: Grado de curvatura, que representa el ángulo central subtendido por una cuerda escogida como unidad, para cada una de las curvas circulares.

El abscisado de los puntos principales se da como:

$$PC = PI - T_1$$

$$PCC = PC + L_{c1}$$

$$PT = PCC + L_{c2}$$

2.3.1.2.2 Tres Radios

Las curva con mas de dos radios, lo que buscan es suavizar el paso de transición de peraltado de la vía, por lo tanto cuando se usa una de tres radios, se busca preferiblemente que como una manera de facilitar los cálculos, exista simetría entre la curva inicial y final del trayecto, por lo que el radio inicial y final es el mismo, así como se recomienda que el

del medio equivalga a 1.5 el valor de los otros. Por lo tanto su diseño y elementos serán similares a una curva simple repetida tres veces. Esta se representa de la siguiente manera:

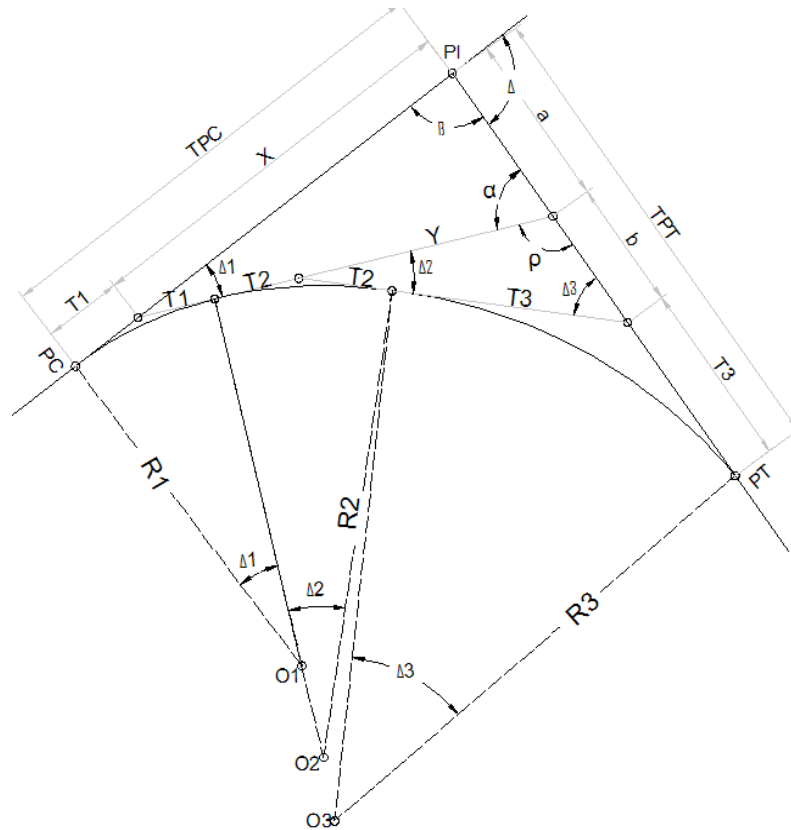


Figura 2-3. Elementos de empalme circular compuesto de tres radios.

De forma análoga a la curva circular de dos radios:

PC: Punto de inicio de la curva circular compuesta.

PI: Punto de intersección entre dos alineamientos rectos horizontales.

PCC₁: Punto de unión inicial entre dos curvas simples.

PCC₂: Punto de unión final entre dos curvas simples.

PT: Punto de salida de la curva circular.

T_1 : Tangente de entrada de la curva compuesta (PC-PI), calculada en metros.

T_2 : Tangente de salida de la curva compuesta (PI-PT), calculada en metros.

Δ : Ángulo de deflexión en el PI, dado en grados o radianes. ($\Delta = \Delta_1 + \Delta_2 + \Delta_3$)

Δ_1 : Ángulo de deflexión curva inicial, dado en grados o radianes.

Δ_2 : Ángulo de deflexión curva intermedia, dado en grados o radianes.

Δ_3 : Ángulo de deflexión curva final, dado en grados o radianes

R_1 : Radio de curvatura inicial, originada en metros.

R_2 : Radio de curvatura intermedio, originada en metros.

R_3 : Radio de curvatura intermedio, originada en metros.

L_c : Longitud de cada curva circular que comprende la compuesta, dada en metros.

G: Grado de curvatura, que representa el ángulo central de curvatura subtendido por una cuerda escogida como unidad, para cada una de las curvas circulares.

El abscisado de los puntos principales se da como:

$$PC = PI - T_1$$

$$PCC_1 = PC + L_{C1}$$

$$PCC_2 = PCC_1 + L_{C2}$$

$$PT = PCC_2 + L_{C3}$$

2.3.1.3 Curvas Espiralizadas

Son aquellas que facilitan el proceso de transición de peralte de una vía, brindando de este modo una comodidad en todos los tramos de un proyecto. El empalme que permite este proceso con mayor adaptabilidad es el de la clotoide con el cual se suaviza este paso entre curva y entretangencia, tanto en el eje como en los bordes de la vía.

Las principales ventajas de este tipo de empalmes que sirven dentro de las curvas espiral-circular-espiral y espiral-espiral son:

- Proporcionan una trayectoria fácil de seguir para los conductores alternando la fuerza centrífuga a medida que el vehículo entra o sale de un tramo curvo.
- La longitud de espiral se emplea para realizar la transición de peraltado.
- El desarrollo de peralte es progresivo, facilitando que la pendiente transversal de curvatura sea la de cada punto, dependiendo el radio de curvatura.
- Se adapta con facilidad a cualquier trazado topográfico.
- Se suprimen las discontinuidades al comienzo y final de las curvas circulares.
- Dentro de la clotoide se dice que su radio es inversamente proporcional a su longitud.

- Reemplaza entretangencias largas, por curvas que brinden comodidad y seguridad, sin afectar al conductor su visibilidad.

2.3.1.3.1 Curvas Espiral- Círculo- Espiral

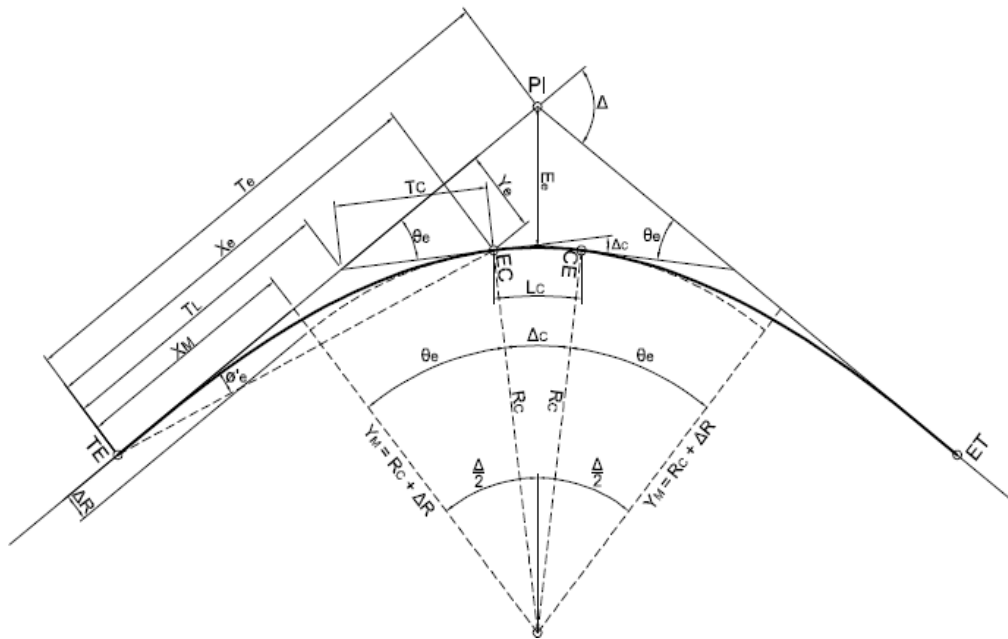


Figura 2-4. Elementos del empalme espiral – círculo - espiral (simétrico). Tomado de de Manual de Diseño Geométrico de carreteras 2008

Constituida por la curva que une dos líneas rectas, con un ángulo de deflexión (Δ), a través de dos segmentos de espiral clotoide y uno mas en medio de ellas circular. Los tramos de espiral pueden mantener un mismo parámetro de espiral(A) o bien ser distintos, volviendo la curva asimétrica.

Los elementos que la constituyen son:

PI: punto de intersección de los alineamientos rectos.

L_e : Longitud de la curva espiral.

R_c : Radio de la curva espiral.

θ_e : Ángulo de deflexión o ángulo al centro de la espiral.

θ : Ángulo de desviación en un punto de la espiral ubicado a una distancia dada desde el origen.

(x, y) : Coordenadas en un punto de la espiral ubicado a una distancia dada desde el origen.

ϕ' : Deflexión de un punto de la espiral ubicado a una distancia desde el origen y con coordenadas (x, y) .

El ángulo de desviación (θ), coordenadas (x, y) y el ángulo de deflexión se usan para localizar el empalme espiral en el campo.

(X_e, Y_e) : Coordenadas en el punto EC y CE del empalme espiral ubicado a una distancia L_e desde el origen.

ΔR : Disloque de la espiral. Si es menor a 0.25 cm no requiere espiralizar la curva.

(X_M, Y_M) : Coordenadas del centro del arco circular cuyo radio es R_c .

T_L : Tangente larga de la espiral, expresada en metros.

T_C : Tangente corta de la espiral, dada en metros.

θ_e' : Ángulo de la cuerda larga de la espiral o deflexión total del empalme espiral.

C_{LE} : Cuerda larga de la espiral total desde el origen hasta el EC.

Δ : Deflexión en el PI o deflexión total del empalme:

Δ_C : Deflexión del tramo circular o ángulo al centro del empalme circular.

L_C : Longitud del empalme circular. Esta debe ser mínimo $0.556 \cdot V_{CH}$.

T_e : Tangente de la espiral.

E_e : Externa de la espiral.

El abscisado para este tipo de curva es:

$$TE = PI - T_e$$

$$EC = TE + L_e$$

$$CE = EC + L_C$$

$$ET = CE + L_e$$

En curvas espirales que sean asimétricas los elementos son los mismos simplemente que para cada segmento espiral se debe buscar el valor de sus elementos de acuerdo a sus características.

2.3.1.3.2 Curvas Espiral- Espiral

Esta curva es aquella que se da entre dos alineamientos rectos, por la unión de dos ramas espirales, que bien pueden ser iguales o diferentes, por lo que su parámetro (A) será constante a lo largo del recorrido o variable de acuerdo al caso. Los elementos son iguales para una espiral-circulo-espiral, simplemente que su Δ_c y L_c , no existirán y su ángulo de deflexión total debe cumplir que:

$\Delta = 2 \cdot \theta_e$ para simétricas.

$\Delta = \theta_{e1} + \theta_{e2}$ para asimétricas.

Se usa generalmente cuando el valor de la deflexión total no sobrepasa los 20° . Su representación grafica es la siguiente:

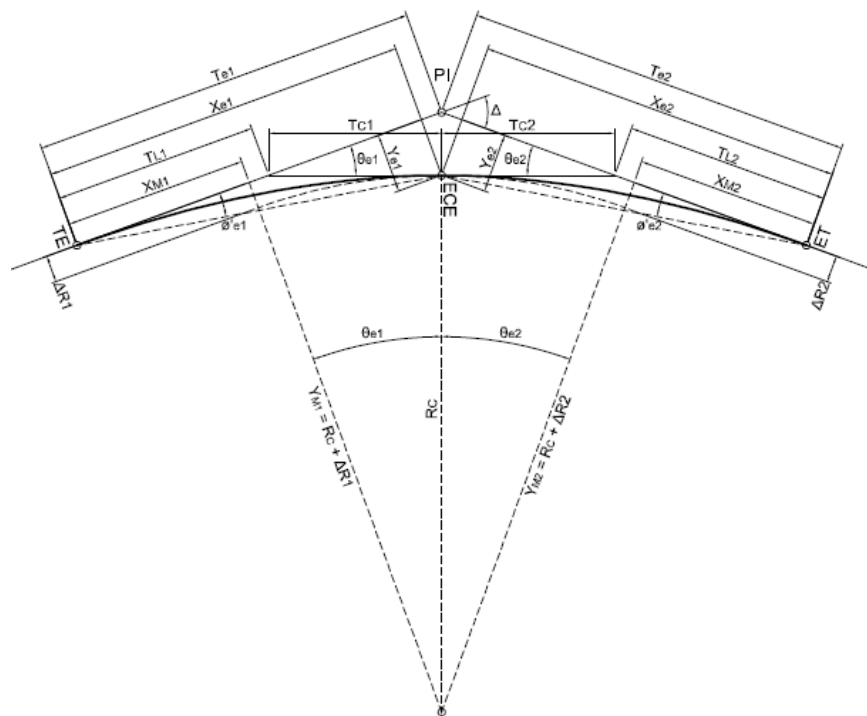


Figura 2-5. Elementos del empalme espiral – espiral (simétrico). Tomado de Manual de Diseño Geométrico de carreteras 2008

Otros criterios a tener en cuenta para el diseño geométrico en planta, de las curvas horizontales son los de peralte máximo, fricción transversal y radio mínimo.

2.3.2 Peraltes

Se denomina así a la inclinación transversal de la vía con respecto a la horizontal, para disminuir los efectos de la fuerza centrífuga de un vehículo al transitar por un tramo en curva.

Para cada tipo de carretera, se dan unas pautas de peraltes máximos de acuerdo a la velocidad específica de la curva recorrida, de la siguiente forma: en primarias y secundarias se adopta como máximo el 8%, el cual permite seguridad para los vehículos que transitan a menor velocidad que la específica y no pone en riesgo su centro de gravedad como en aquellas donde el peralte es mas grande, mientras que para las terciarias el peralte máximo exigido es del 6%, ya que las longitudes de entretangencia son pequeñas o no existen y hacen difícil disponer de una buena transición.

2.3.3 Fricción transversal

Se toma de acuerdo a factores físicos que la influyen tales como el estado de la rodadura de camino, la velocidad que lleva el vehículo, las condiciones de las llantas y las características propias del automotor de diseño. De acuerdo a los estudios, el Manual de Diseño Geométrico de carreteras 2008 señala como coeficientes de fricción, de acuerdo a cada velocidad específica de curva los siguientes mostrados en la tabla:

TABLA 2-10. COEFICIENTE FRICCIÓN TRANSVERSAL MÁXIMA	
VELOCIDAD ESPECÍFICA V_{CH} (KPH)	COEFICIENTE DE FRICCIÓN f_t
20	0,35
30	0,28
40	0,23
50	0,19
60	0,17
70	0,15
80	0,14
90	0,13
100	0,12
110	0,11
120	0,09
130	0,08

Tomado de Manual de Diseño Geométrico de Carreteras 2008.

2.3.4 Radio de curvatura (R_C)

Cada curva posee relacionando la velocidad, el peralte máximo y la fricción transversal máximo, un radio mínimo de curvatura, que permite garantizar el diseño horizontal y al cual se recurre como chequeo y en caso de uso como ultima opción para el proyecto en un tramo circular. La ecuación que rige esta relación de radios es la siguiente:

$$R_{CMIN} = \frac{V_{CH}^2}{127 * (e_{max} + f_{Tmax})}$$

En las siguientes tablas tomadas del Diseño Geométrico Colombiano de 2008, se dan de acuerdo ala anterior ecuación para diferentes valores de velocidad específica de curva horizontal, según el peralte máximo y la fricción transversal máxima:

TABLA 2-11. RADIOS MÍNIMOS PARA PERALTE 8% Y FRICCIÓN MÁXIMA					
VELOCIDAD ESPECÍFICA (KPH)	PERALTE RECOMENDADO	COEFICIENTE FRICCIÓN TRANSVERSAL (Ft)	TOTAL $e_{max} + f_T$	RADIO MÍNIMO CALCULADO (m)	RADIO MÍNIMO REDONDEADO (m)
40	8,0	0,230	0,31	40,60	41
50	8,0	0,190	0,27	72,90	73
60	8,0	0,170	0,25	113,40	113
70	8,0	0,150	0,23	167,80	168
80	8,0	0,140	0,22	229,10	229
90	8,0	0,130	0,21	303,70	304
100	8,0	0,120	0,2	393,70	394
110	8,0	0,110	0,19	501,50	501
120	8,0	0,090	0,17	667,00	667
130	8,0	0,080	0,16	831,70	832

Tomado de Manual de Diseño Geométrico de Carreteras 2008

TABLA 2-12. RADIOS MÍNIMOS PARA PERALTE 6% Y FRICCIÓN MÁXIMA					
VELOCIDAD ESPECÍFICA (KPH)	PERALTE RECOMENDADO	COEFICIENTE FRICCIÓN TRANSVERSAL (Ft)	TOTAL $e_{max} + f_T$	RADIO MÍNIMO CALCULADO (m)	RADIO MÍNIMO REDONDEADO (m)
20	6,0	0,350	0,41	7,70	15
30	6,0	0,280	0,34	20,80	21
40	6,0	0,230	0,29	43,40	43
50	6,0	0,190	0,25	78,70	79
60	6,0	0,170	0,23	123,20	123

Tomado de Manual de Diseño Geométrico de Carreteras 2008

Cuando el radio a trabajar no es el mínimo, se dice de acuerdo al proceso investigativo de la AASHTO de 2004, que la fricción transversal no es necesariamente la máxima, entonces se ha adoptado una función parabólica que brinda el valor del peralte a usar de acuerdo a la velocidad específica de la curva horizontal y del radio calculado para dicha curva. Éste método involucra el principio que indica que cuando un vehículo recorre una trayectoria curva la compensación de la fuerza centrífuga es realizada por el peralte de la calzada y cuando el peralte ya resulta insuficiente, completa lo requerido para la compensación de la fuerza centrífuga demandada, la fricción transversal.

Estas tablas arrojan los valores en forma independiente para carreteras primarias y secundarias, con respecto a las terciarias, debido a que por las condiciones en que ellas se proyectan no se pueden unificar este tipo de criterios, siendo así finalmente el resultado obtenido por la investigación el presentado a continuación:

Carreteras primarias y secundarias:

TABLA 2-13. Radios (RC) según Velocidad Específica (VCH) y Peraltes (e) para em_{áx} = 8%.

e (%)	VCH = 40 km/h R (m)	VCH = 50 km/h R (m)	VCH = 60 km/h R (m)	VCH = 70 km/h R (m)	VCH = 80 km/h R (m)	VCH = 90 km/h R (m)	VCH = 100 km/h R (m)	VCH = 110 km/h R (m)	VCH = 120 km/h R (m)	VCH = 130 km/h R (m)
1,5	784	1090	1490	1970	2440	2970	3630	4180	4900	5360
2	571	791	1090	1450	1790	2190	2680	3090	3640	4000
2,2	512	711	976	1300	1620	1980	2420	2790	3290	3620
2,4	463	644	885	1190	1470	1800	2200	2550	3010	3310
2,6	421	587	808	1080	1350	1650	2020	2340	2760	3050
2,8	385	539	742	992	1240	1520	1860	2160	2550	2830
3	354	496	684	916	1150	1410	1730	2000	2370	2630
3,2	326	458	633	849	1060	1310	1610	1870	2220	2460
3,4	302	425	588	790	988	1220	1500	1740	2080	2310
3,6	279	395	548	738	924	1140	1410	1640	1950	2180
3,8	259	368	512	690	866	1070	1320	1540	1840	2060
4	241	344	479	648	813	1010	1240	1450	1740	1950
4,2	224	321	449	608	766	948	1180	1380	1650	1850
4,4	208	301	421	573	722	895	1110	1300	1570	1760
4,6	192	281	395	540	682	847	1050	1240	1490	1680
4,8	178	263	371	509	645	803	996	1180	1420	1610
5	163	246	349	480	611	762	947	1120	1360	1540
5,2	148	229	328	454	579	724	901	1070	1300	1480
5,4	136	213	307	429	549	689	859	1020	1250	1420
5,6	125	198	288	405	521	656	819	975	1200	1360
5,8	115	185	270	382	494	625	781	933	1150	1310
6	106	172	253	360	469	595	746	894	1100	1260
6,2	98	161	238	340	445	567	713	857	1060	1220
6,4	91	151	224	322	422	540	681	823	1020	1180
6,6	85	141	210	304	400	514	651	789	982	1140
6,8	79	132	198	287	379	489	620	757	948	1100
7	73	123	185	270	358	464	591	724	914	1070
7,2	68	115	174	254	338	440	561	691	879	1040
7,4	62	107	162	237	318	415	531	657	842	998
7,6	57	99	150	221	296	389	499	621	803	962
7,8	52	90	137	202	273	359	462	579	757	919
8	41	73	113	168	229	304	394	501	667	832

Tomado de Manual de Diseño Geométrico de Carreteras 2008

Carreteras terciarias:

TABLA 2-14. Radios (RC) según Velocidad Específica (VCH) y Peraltes (e) para e máx = 6%.					
e (%)	VCH = 20 km/h R (m)	VCH = 30 km/h R (m)	VCH = 40 km/h R (m)	VCH = 50 km/h R (m)	VCH = 60 km/h R (m)
1,5	194	421	738	1050	1440
2,0	138	299	525	750	1030
2,2	122	265	465	668	919
2,4	109	236	415	599	825
2,6	97	212	372	540	746
2,8	87	190	334	488	676
3,0	78	170	300	443	615
3,2	70	152	269	402	561
3,4	61	133	239	364	511
3,6	51	113	206	329	465
3,8	42	96	177	294	422
4,0	36	82	155	261	380
4,2	31	72	136	234	343
4,4	27	63	121	210	311
4,6	24	56	108	190	283
4,8	21	50	97	172	258
5,0	19	45	88	156	235
5,2	17	40	79	142	214
5,4	15	36	71	128	195
5,6	13	32	63	115	176
5,8	11	28	56	102	156
6,0	8	21	43	79	123

Tomado de Manual de Diseño Geométrico de Carreteras 2008

El parámetro final a tener en cuenta en el diseño en planta es el valor de las entre tangencias.

2.3.5 Entretangencias

Se han establecido unas condiciones de entretangencia horizontal de acuerdo al tipo de curva y al sentido consecuente que presenten las mismas, tanto para situaciones extremas mínimas como máximas. Por lo tanto, y conforme a ello se dice que la entretangencia mínima, para curvas de diferente sentido no se requiere en curvas espirales, mientras que para curvas circulares adoptan el valor mayor entre la longitud de transición y la distancia recorrida en 5 segundos a la menor velocidad específica de las curvas horizontales comprendidas en el tramo. En el caso de las curvas de igual sentido, de recorrido se toma para curvas espirales la distancia recorrida en 5 segundos a la velocidad específica de entretangencia horizontal, mientras para curva circular la distancia a la misma velocidad anterior pero en un tiempo de 15 segundos. Entretanto, la entretangencia máxima a tomar es de manera unificada la distancia transitada en 15 segundos a la velocidad de entretangencia horizontal, siendo válido para curvas de igual o diferente sentido. Para curvas horizontales con entretangencias menores o iguales a 400 metros, se establecieron radios de entradas y de salida tanto mínimos como máximos, de acuerdo a la velocidad específica que lleva la curva horizontal (V_{ch}), estos valores están contenidas en estas tablas otorgadas por el Manual de Diseño Geométrico Colombiano de 2008, siendo estipulados por estudios realizados.

TABLA 2-15. Relación entre Radios de curvas horizontales consecutivas con entretangencia de longitud menor o igual a cuatrocientos metros (400 m)

(V CH) < 80 km/h			(V CH) ≥ 80 km/h		
RADIO DE ENTRADA (m)	RADIO DE SALIDA (m)		RADIO DE ENTRADA (m)	RADIO DE SALIDA (m)	
	MÁXIMO	MÍNIMO		MÁXIMO	MÍNIMO
50	75	50	250	375	250
60	90	50	260	390	250
70	105	50	270	405	250
80	120	53	280	420	250
90	135	60	290	435	250
100	151	67	300	450	250
110	166	73	310	466	250
120	182	80	320	481	250
130	198	87	330	497	250
140	215	93	340	513	250
150	232	100	350	529	250
160	250	106	360	545	250
170	269	112	370	562	250
180	289	119	380	579	253
190	309	125	390	596	260
200	332	131	400	614	267
210	355	137	410	633	273
220	381	143	420	652	280
230	408	149	430	671	287
240	437	154	440	692	293
250	469	160	450	713	300
260	503	165	460	735	306
270	540	171	470	758	313
280	580	176	480	781	319
290	623	181	490	806	326
300	670	186	500	832	332
310	>670	190	510	859	338
320	>670	195	520	887	345
330		199	530	917	351
340		204	540	948	357
350		208	550	981	363
360		212	560	1015	369
370		216	570	1051	375

(V CH) < 80 km/h			(V CH) ≥ 80 km/h		
RADIO DE ENTRADA (m)	RADIO DE SALIDA (m)		RADIO DE ENTRADA (m)	RADIO DE SALIDA (m)	
	MÁXIMO	MÍNIMO		MÁXIMO	MÍNIMO
380		220	580	1089	381
390		223	590	1128	386
400		227	600	1170	392
410		231	610	1214	398
420		234	620	1260	403
430		238	640	1359	414
440		241	660	1468	424
450		244	680	1588	434
460		247	700	1720	444
470		250	720	>1720	453
480		253	740	1260	462
490		256	760	1359	471
500		259	780	1468	479
510		262	800	1588	488
520		265	820	1720	495
530		267	840	>1720	503
540		270	860		510
550		273	880		517
560		275	900		524
570		278	920		531
580		280	940		537
590		282	960		544
600		285	980		550
610		287	1000		556
620		289	1020		561
640		294	1040		567
660		298	1060		572
680		302	1080		578
700		306	1100		583

Tomado De Manual de Diseño Geométrico de Carreteras 2008

Entre alineamientos rectos con deflexiones muy pequeñas, es decir que estén por debajo de los 6°, se pautan en la siguiente tabla los radios mínimos de la curva circular que garantice algo de comodidad y

seguridad en el conductor, cuando este tipo de trazado definitivamente no se puede descartar.

TABLA 2-16. Radios para pequeñas deflexiones entre alineamientos rectos

ANGULO ENTRE ALINEAMIENTOS	6°	5°	4°	3°	2°
RADIO MÍNIMO (m)	2000	2500	3500	5500	9000

Tomado de Manual de Diseño Geométrico de Carreteras 2008

2.4 TRANSICIÓN DE PERALTE

Para tratar de una manera más confortable una curva horizontal, se toma una longitud de transición que pasa el borde externo de la vía del bombeo normal, al peralte máximo de la misma, de una forma suavizada. Esta longitud está compuesta por dos tramos principales: la distancia (N) necesaria para levantar dicho borde, del bombeo a la nivelación con el eje de la carretera, denominado aplanamiento y la distancia (L) necesaria para pasar de dicho punto al peralte total en la curva circular. La magnitud total de la transición se da por la expresión:

$$L_T = L + N$$

$$N = \frac{BN * L}{e}$$

Tomándose (BN) como el bombeo normal para el tipo de vía, que generalmente se usa como el 2% para vías pavimentadas y (e) como el peralte máximo expresado en porcentaje que toma la curva.

2.4.1 Rampa de peralte (Δ_s)

Se define como la diferencia relativa que hay entre la inclinación del eje longitudinal de la calzada y la inclinación del borde de la misma, determinándose como:

$$\Delta_s = a * \frac{e_f - e_i}{L}$$

Tomándose este valor en porcentaje y siendo (e_f) el peralte máximo, (e_i) el peralte inicial y (a) la distancia del eje de giro al borde exterior de la calzada.

Para los valores de (a) se debe tener en cuenta el número de carriles que giran alrededor del eje de rotación y el tipo de la misma. En curvas circulares compuestas, por ejemplo, (e_i) es igual al peralte de la curva inicial y (e_f) el peralte de la curva siguiente; mientras para curvas espiralizadas o circulares simples (e_i) es igual a cero (0%) y (e_f) el peralte total. Estos valores de la inclinación de la rampa garantizan la comodidad de la marcha de los vehículos y la apariencia del camino.

La siguiente tabla presenta los valores máximos y mínimos de la pendiente longitudinal para la rampa de peraltes, de acuerdo a los estudios AASHTO 2004 y adoptados por la Normativa Colombiana de 2008:

TABLA 2-17. PENDIENTES RELATIVAS DE LA RAMPA DE PERALTES		
VELOCIDAD ESPECÍFICA V_{CH} (KPH)	MÁXIMA (%)	MÍNIMA (%)
20	1,35	0,1*A
30	1,28	
40	0,96	
50	0,77	
60	0,60	
70	0,55	
80	0,50	
90	0,47	
100	0,44	
110	0,41	
120	0,38	
130	0,38	

Tomado de Manual de Diseño Geométrico de Carreteras 2008

2.4.2 Longitud de transición de peralte (L)

Se calcula de acuerdo con la relación indicada en la rampa de peralte, obteniéndose en función de la inclinación relativa, ancho de calzada y cambios de peralte. Así su expresión de cálculo es:

$$L = a * b_w * \frac{(e_f - e_i)}{\Delta_S}$$

a: Distancia del eje de giro al borde de la calzada en metros.

e_f : Peralte al finalizar el tramo de transición en porcentaje (%).

e_i : Peralte al iniciar el tramo de transición en porcentaje (%).

Δ_S : Inclinación longitudinal de la rampa de peraltes en porcentaje (%).

Siendo en esta ecuación (b_w) el factor de ajuste debido al número de carriles de la vía. Estos valores se pueden tomar de la siguiente tabla del Manual de Diseño Geométrico Colombiano 2008.

TABLA 2-18. FACTOR DE AJUSTE PARA EL NÚMERO DE CARRILES GIRADOS.

NÚMERO DE CARRILES QUE GIRAN (n)	FACTOR DE AJUSTE (b W)	INCREMENTO EN LOS CARRILES DE GIRO RESPECTO A UN CARRIL GIRADO
1	1	1
1.5	0.83	1.25
2	0.75	1.5
2.5	0.7	1.75
3	0.67	2
3.5	0.64	2.25

Tomado de Manual de Diseño Geométrico de Carreteras 2008

2.4.2.1 Transición de Peralte en curvas circulares

En curvas circulares se pueden dar dos posibilidades: si hay suficiente entretangencia, la transición de peralte se desarrolla en la tangente y cuando no lo hay en las tangentes entre curvas, se debe realizar la transición de peralte de una parte en la tangente y el resto dentro de la curva. En este último caso, el peralte en el PC y/o en el PT debe estar entre (60% - 80%) del peralte total, siempre que la tercera parte de la longitud de la curva quede con peralte total. Lo anterior lo muestra la figura siguiente:

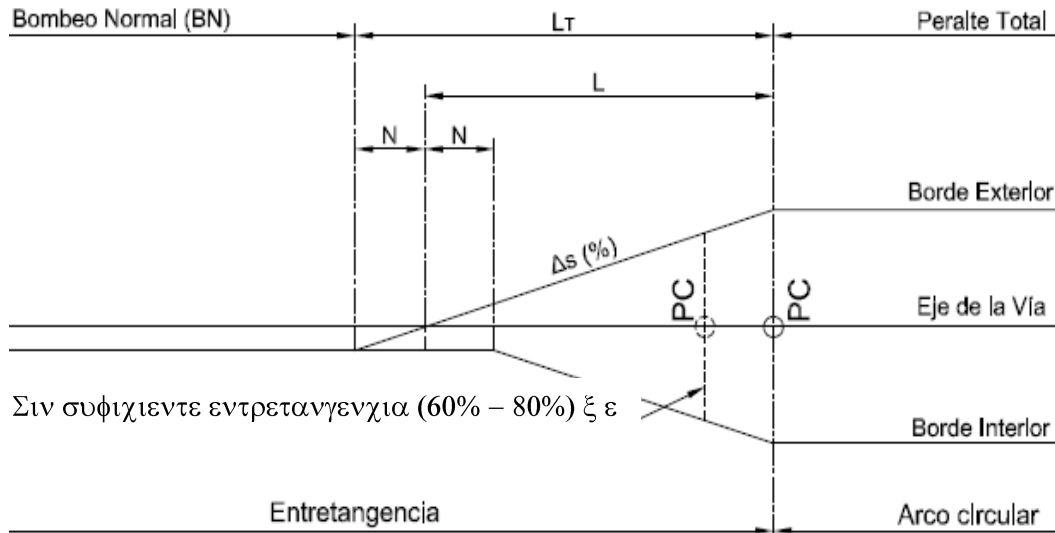


Figura 2-6. Diagrama de transición de peraltes para curvas circulares. Tomado de Manual de Diseño Geométrico de carreteras 2008

2.4.2.2 Transición de peralte en curvas con espiral

Para terrenos ondulado, montañoso y escarpado, esta corresponde a la longitud de la espiral ($L_e = L$) más la distancia de aplanamiento (N). Para terrenos planos donde las espirales tengan radio y longitud alto, la longitud puede incluir las dos longitudes de la transición total ($L_e = L + N$).

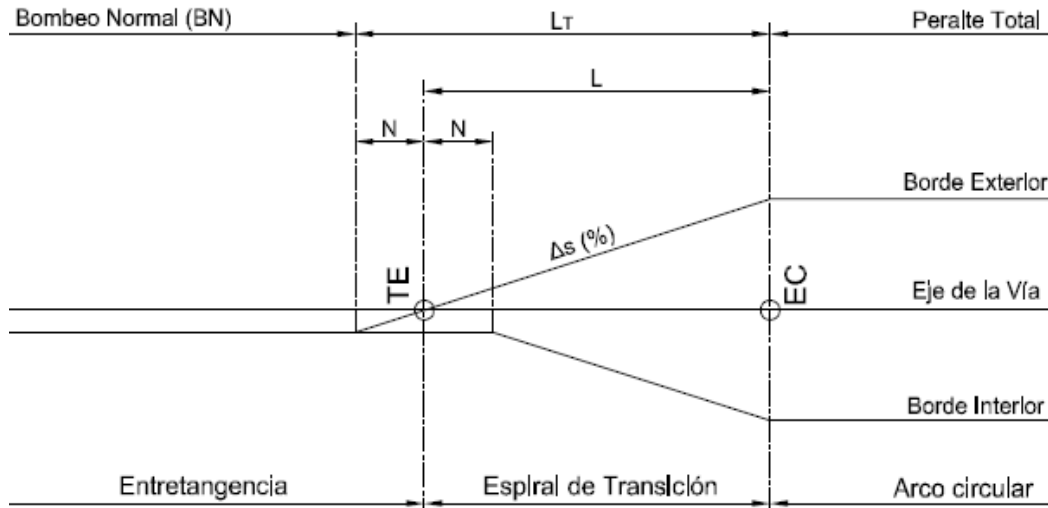


Figura 2-7. Diagrama de transición de peraltes para curvas con espirales de transición.
Tomado de Manual de Diseño Geométrico de carreteras 2008

2.4.3 Métodos de realización de la transición de peralte

Se puede dar por rotación sobre el eje de la carretera el cual es el más utilizado o por rotación alrededor de uno de los bordes de la vía (externo o interno), el cual es usado para proyectos multicarriles con separador central o para facilitar el drenaje en vías de calzada sencilla, debido a las condiciones de las pendientes transversales de la misma. Las ilustraciones de cada caso están a continuación:

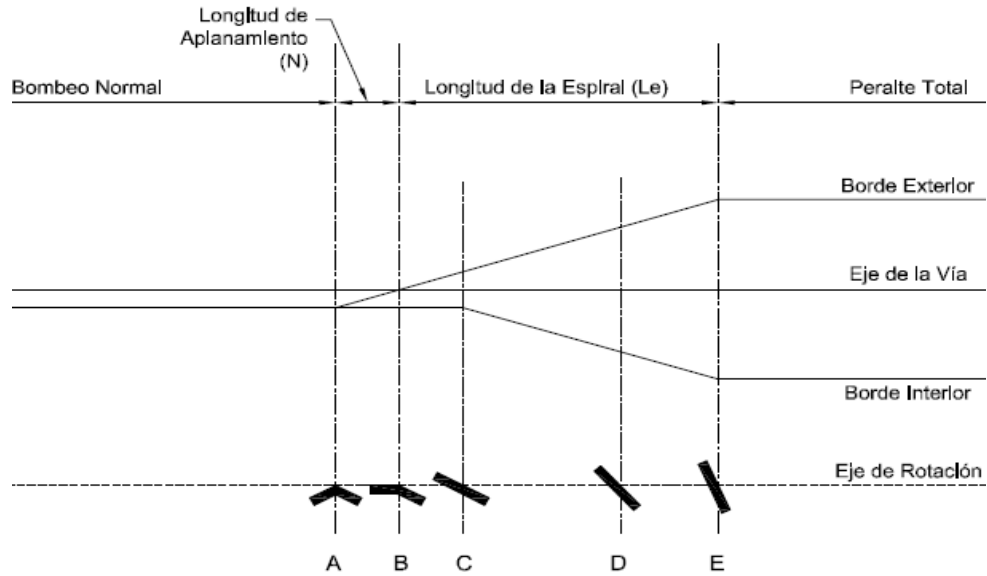


Figura 2-8. Calzada girada alrededor del eje. Tomado de Manual de Diseño Geométrico de carreteras 2008

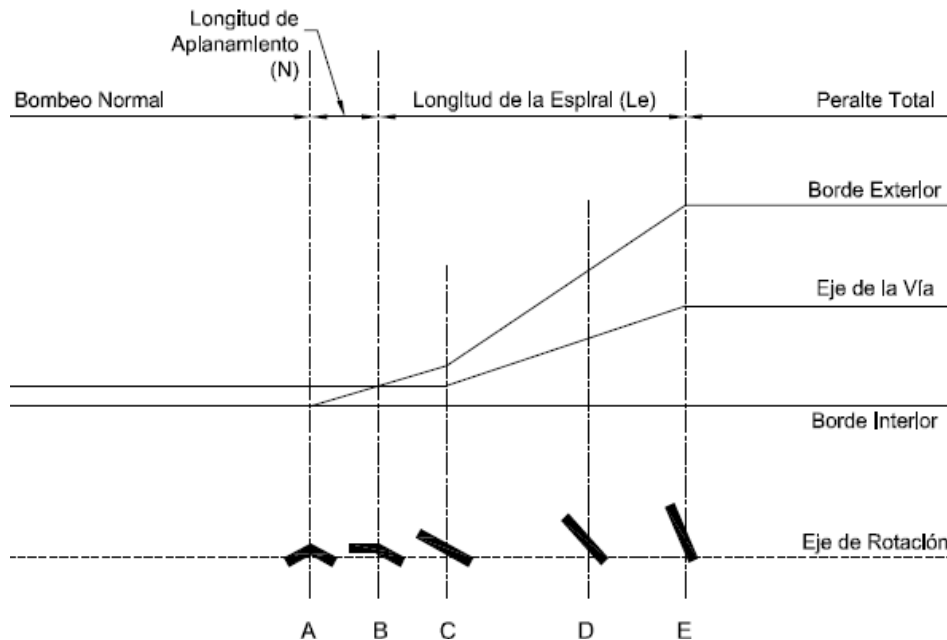


Figura 2-9. Calzada girada alrededor del borde interior. Tomado de Manual de Diseño Geométrico de carreteras 2008

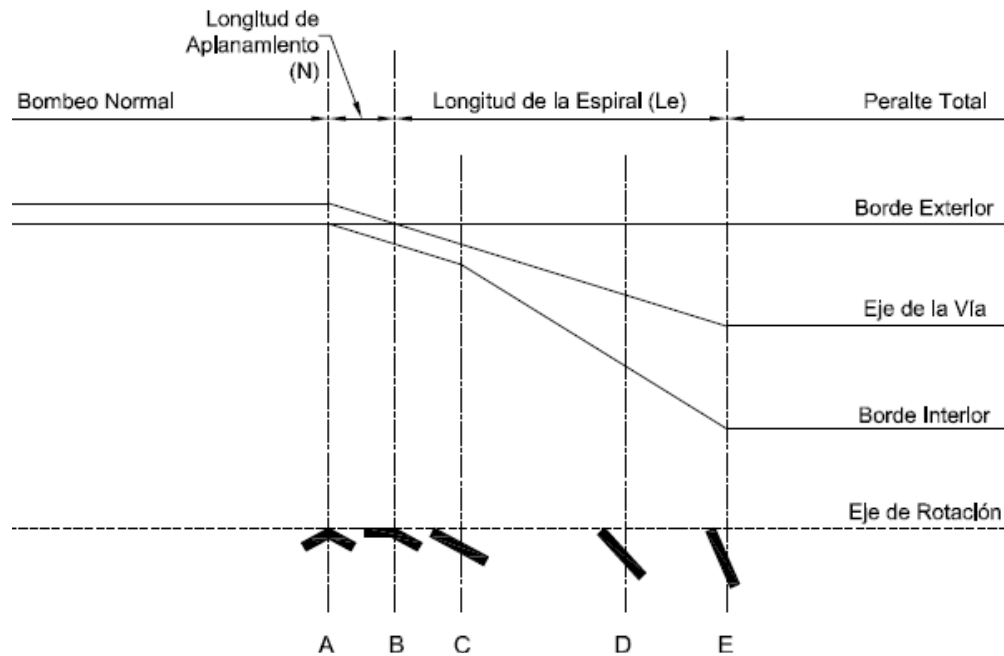


Figura 2-10. Calzada girada alrededor del borde exterior. Tomado de Manual de Diseño Geométrico de carreteras 2008

2.5 DISEÑO DE PERFIL

Después de tener la etapa del diseño en planta culminada, se procede a mirar el proyecto en alzado o perfil, llevando los datos de la planta a este formato, permitiendo así trazar la rasante de vía, que busca cumplir con otra serie de requerimientos para satisfacer de manera económica y cómoda el proyecto final.

El alineamiento vertical depende básicamente de la topografía del terreno y una tangentes que cumplan con especificaciones de pendientes para cada zona (tanto máximas como mínimas), busca seguir con los parámetros de visibilidad establecidos anteriormente,

llevar la velocidad específica de la carretera, disminuir costos de volúmenes tanto de construcción como de operación y permitir que los vehículos puedan transitar confiablemente por la carretera.

Este trazado debe estar en sintonía con el ya realizado anteriormente, de forma horizontal, buscando que se optimice simplemente en el sentido del perfil y dejando que tanto en el uno como en el otro sentido exista la cohesión de la velocidad específica de diseño explicada anteriormente en este texto.

El ideal es hacer trazados con tangentes largas, que no tengan cambios de pendientes bruscas, ni diferencias altas entre el terreno y la rasante, permitiendo economizar costos de obra.

2.5.1 Tangente vertical

Para establecer la tangente vertical de la vía se tienen en cuenta la relación de tres parámetros, que deben estar acordes al diseño horizontal, sin buscar afectarlo, los cuales son la pendiente, la longitud y la velocidad. Este último ya explicado en el capítulo de diseño en planta, pero que se involucra con los dos primeros en su medición límite (máximas o mínimas).

2.5.1.1 Pendientes

Se toma como pendiente mínima para cualquier tipo de terreno diferente al plano la de 0.5%, la cual permite el escurrimiento del agua a través de cunetas y evita el empozamiento de la superficie de rodadura. Se debe complementar este trabajo con la investigación de la

intensidad de las lluvias sobre la zona y con la construcción de obras de drenaje complementarias. Para el caso de terrenos planos el Manual de Diseño Geométrico de carreteras 2008 aconseja que sea de 0.3%, debido a su dificultad para establecer la primera expuesta.

Por su parte la pendiente máxima que se toma es aquella que cumple con las velocidades de diseño, las cuales están relacionadas con si la vía es primaria, secundaria o terciaria, lo cual genera por el tipo de construcción de rodadura si esta es alta (entre 60 y 120 Kph) o baja (entre 20 y 60 Kph). Se toman entonces dos consideraciones una que tiene que ver con relacionar la pendiente máxima media con la velocidad específica del tramo homogéneo y una segunda que simplemente analiza la pendiente máxima de un tramo tangente vertical como tal. Dichas consideraciones están expuestas en el Manual de Diseño Geométrico de 2008 en las siguientes tablas resumen, como guía para el diseñador.

TABLA 2-19. PENDIENTE MEDIA MÁXIMAS SEGÚN VELOCIDAD DE DISEÑO DEL TRAMO HOMOGÉNEO V_{TR}										
TIPO DE CARRETERA	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
PRINCIPAL DE DOS CALZADAS						6	6	6	5	5
PRINCIPAL DE UNA CALZADA					7	7	6	6	5	
SECUNDARIA			7	7	7	7	6			
TERCIARIA	7	7	7							

Tomado de Manual de Diseño Geométrico de Carreteras 2008

TABLA 2-20. PENDIENTES MÁXIMAS SEGÚN VELOCIDAD ESPECÍFICA TANGENTE VERTICAL V_{TV}													
TIPO DE CARRETERA	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	
PRINCIPAL DE DOS CALZADAS						6	6	6	5	5	4	4	
PRINCIPAL DE UNA CALZADA					8	7	6	6	5	5	5		
SECUNDARIA			10	9	8	7	6	6	6				
TERCIARIA	14	12	10	10	10								

Tomado de Manual de Diseño Geométrico de Carreteras 2008

2.5.1.2 Longitud de la tangente vertical

En primera instancia, la longitud mínima de tangente vertical es medida en razón a la distancia recorrida en un tiempo dependiendo de la velocidad específica que se lleve en tangente vertical. Así, para velocidades menores a 40 Kph se tomaran 7 segundos para establecer esta magnitud y para mayores a esta se tomaran 10 segundos. Los estudios recomiendan de acuerdo a ello los siguientes datos, para cada velocidad:

TABLA 2-21. LONGITUD MÍNIMA DE LA TANGENTE VERTICAL												
VELOCIDAD ESPECÍFICA V_{TV}	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130
LONGITUD MÍNIMA TV(m)	40	60	80	140	170	195	225	250	280	305	335	360

Tomado de Manual de Diseño Geométrico de Carreteras 2008

La longitud máxima de tangente vertical, es tomada como la crítica para el diseño del proyecto y se ajusta de acuerdo al tipo de vehículo utilizado como prototipo pesado para la carretera, estipulándose esta como la distancia a la cual, dicho medio de transporte pierde 25 kph con respecto a su velocidad de operación. Estos parámetros se estipulan teniendo en cuenta: la relación peso/potencia del vehículo pesado de diseño, la velocidad media de operación de los vehículos pesados en tramos a nivel, resultados del estudio de tránsito y de la geometría de la vía y la pérdida aceptable de velocidad de los vehículos pesados en la tangente vertical.

Nuestra Normativa Colombiana Manual de Diseño Geométrico de carreteras 2008 tiene en cuenta los siguientes vehículos para realizar este criterio de diseño: Camiones de chasis rígido (Categoría 2 y Categoría 3): 150 kg/HP y Camiones articulados (Categoría 3S2 y Categoría 3S3): 180 kg/HP. Para los mencionados automotores se

toman como pendientes máximas críticas de tangente vertical las consignadas en relación a la velocidad media de operación en las siguientes curvas:

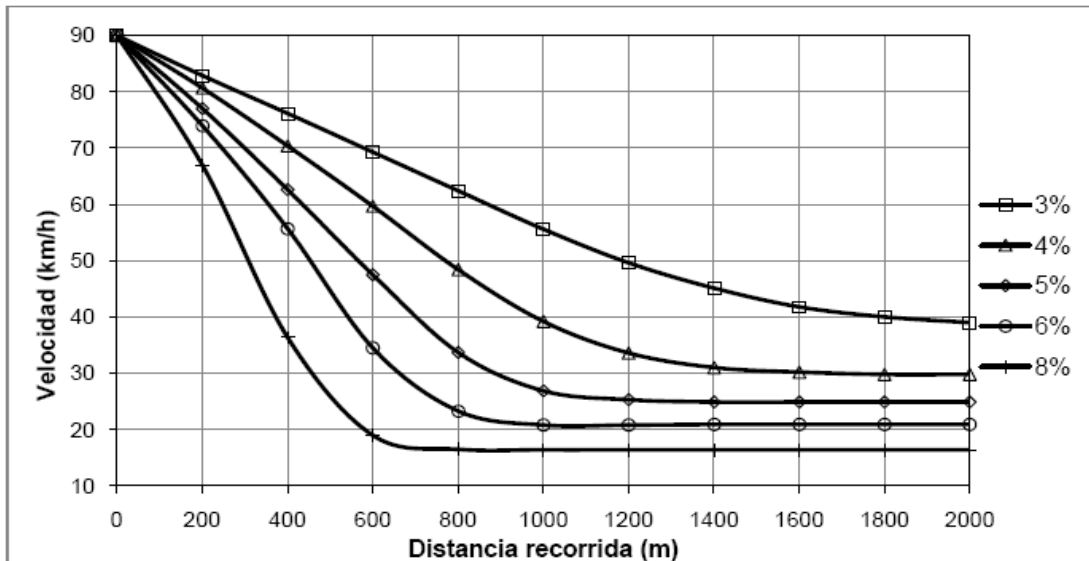


Figura 2-11. Efectos de las pendientes en los vehículos con relación Peso / Potencia de 150 Kg/HP. Tomado de Manual de Diseño Geométrico de carreteras 2008

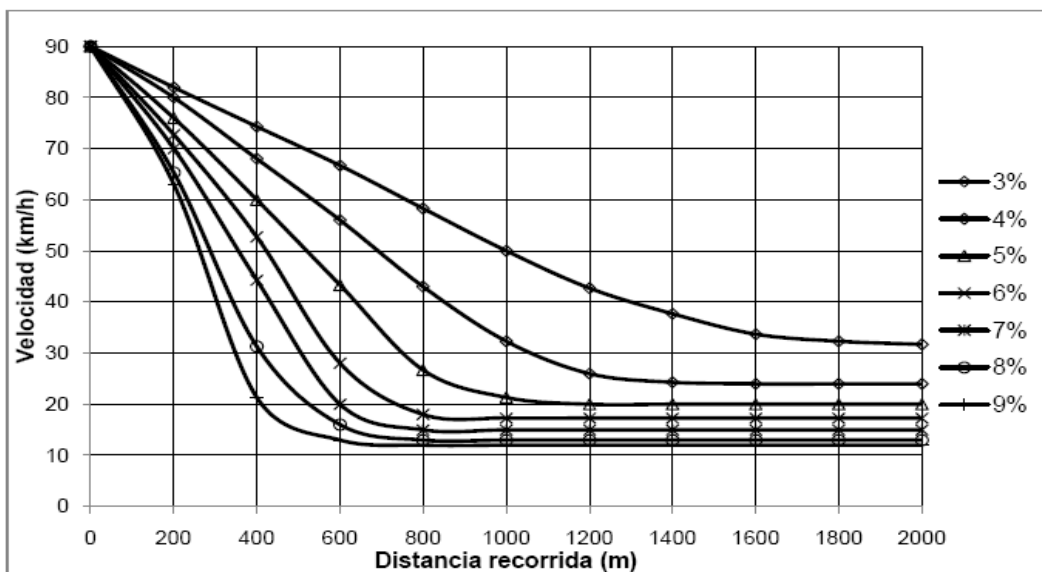


Figura 2-12. Efectos de las pendientes en los vehículos con relación Peso / Potencia de 180 Kg/HP. Tomado de Manual de Diseño Geométrico de carreteras 2008

2.5.2 Curvas verticales

Al igual que en el trazado horizontal, los alineamientos rectos del perfil se unen mediante curvas verticales, que permiten hacer de la carretera algo seguro y cómodo para los vehículos que están en marcha, al igual que hacer agradable el recorrido.

Los puntos reconocidos de este elemento geométrico son el PCV que es el punto de inicio de la curva vertical, el PTV que es el punto de inicio de la tangente vertical después de una curva y el encuentro entre dos pendientes se denomina PIV que es sobre el que se hace la curva.

Existen dos tipos de curva de acuerdo a su forma de curvatura que son la cóncava y la convexa. De la misma manera estas se pueden diseñar tanto simétrica como asimétricamente, con respecto al PIV.

2.5.2.1 Curva vertical convexa

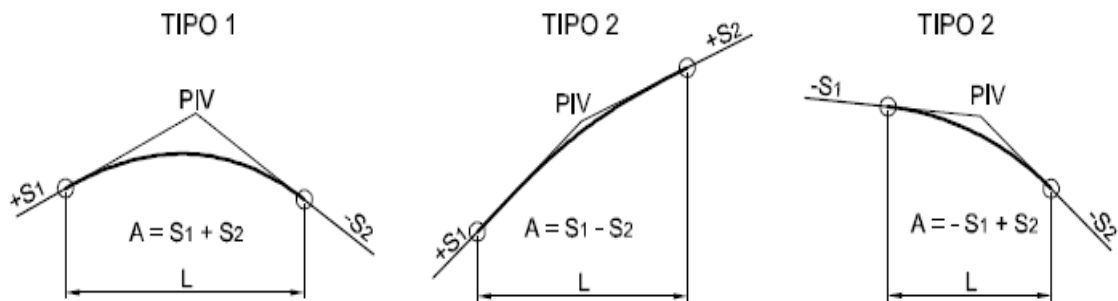


Figura 2-13. Tipos de curva vertical convexa. Tomado de Manual de Diseño Geométrico de carreteras 2008

Es aquella cuya curvatura se presenta hacia abajo. Su longitud mínima según la seguridad se expresa teniendo en cuenta la distancia de visibilidad de parada (D_P). Así, si $D_P < L$ la expresión a tener en cuenta es:

$$L_{\min} = \frac{A * (D_P)^2}{447}$$

Siendo A, la diferencia de pendientes. Por su parte, si $D_P > L$, se tiene otra expresión, la cual por recomendación se deja a un lado ya que la formula anteriormente presentada cubre los casos limites de diseño, es decir cubre las dos opciones.

De esta ecuación se dice que hay un parámetro que relaciona L/a y se llama k, por lo que la expresión para este sería:

$$K = \frac{(D_P)^2}{447}$$

Estos valores de k según la velocidad, se presentan mas adelante en una tabla resumen extraída de la Normativa Colombiana de 2008.

Mientras tanto, según la operación se toma como criterio de longitud mínima de curva vertical el siguiente:

$$L_{\min} = 0.6 * V_{CV}$$

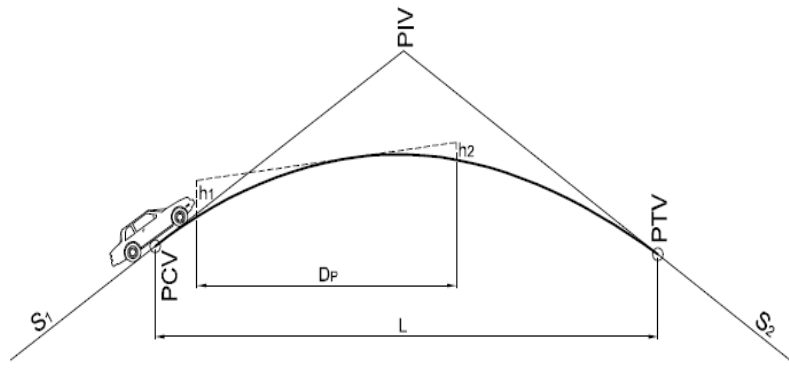


Figura 2-14. Elementos para determinar la longitud mínima de la curva vertical convexa según el criterio de seguridad. Tomado de Manual de Diseño Geométrico de carreteras 2008

2.5.2.2 Curva vertical cóncava

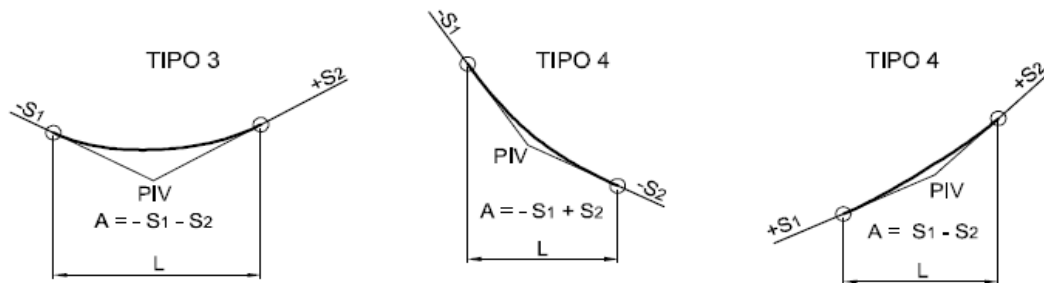


Figura 2-15. Tipos de curva vertical cóncava. Tomado de Manual de Diseño Geométrico de carreteras 2008

Es aquella cuya curvatura se presenta hacia arriba. Su longitud mínima según la seguridad se expresa al igual que la convexa teniendo en cuenta la distancia de visibilidad de parada (D_p). Entonces, si $D_p < L$ la expresión a tener en cuenta es:

$$L_{\min} = \frac{A * (D_p)^2}{120 + 3.5 * D_p}$$

Siendo A, la diferencia de pendientes. Por su parte, si $D_p > L$, se tiene otra expresión al igual que en las convexas, la cual también por

recomendación se deja atrás, ya que la fórmula anteriormente presentada cubre los límites de diseño, es decir cubre ambas opciones.

De esta ecuación, se dice de igual modo que en la convexa que hay un parámetro que relaciona L/a y se llama k , por lo que la expresión para este sería:

$$K = \frac{(D_p)^2}{120 + 3.5 * D_p}$$

Estos valores de k también, según la velocidad, se presentan en una tabla resumen extraída de la Normativa Colombiana de 2008, posteriormente. Mientras tanto, según la operación se toma como criterio de longitud mínima de curva vertical el mismo de la curva convexa.

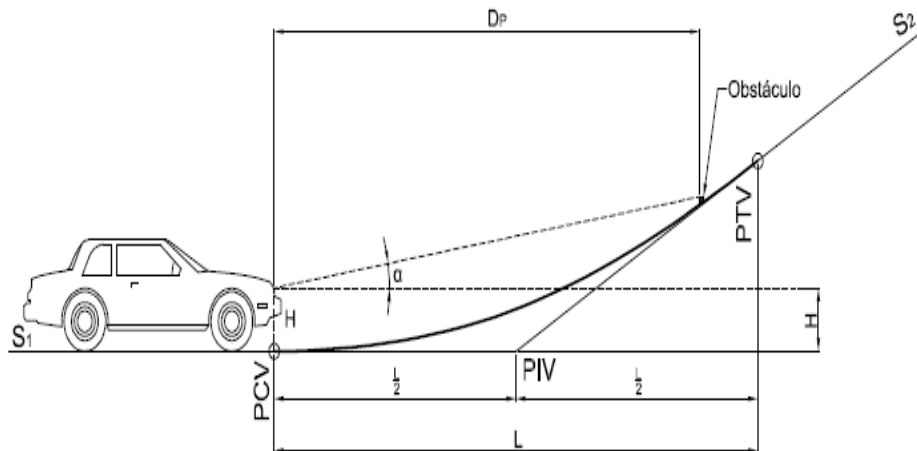


Figura 2-16. Elementos para determinar la longitud mínima de la curva vertical cóncava según el criterio de seguridad. Tomado de Manual de Diseño Geométrico de carreteras 2008

Los elementos de una curva vertical son:

PCV: Principio de la curva vertical.

PIV: Punto de intersección de las tangentes verticales.

PTV: Terminación de la curva vertical.

L: Longitud de la curva vertical, medida por su proyección horizontal, en metros. Cuando es asimétrica se divide en dos (L1 y L2).

S1: Pendiente de la tangente de entrada, en porcentaje (%).

S2: Pendiente de la tangente de salida, en porcentaje (%).

A: Diferencia algebraica de pendientes, en porcentaje (%),

E: Externa. Ordenada vertical desde el PIV a la curva, dada en metros.

Presenta expresiones de cálculo tanto para simétrica como para asimétrica. Las cuales son respectivamente:

$$E = \frac{A * L}{800}$$

$$E = \frac{A * L_1 * L_2}{200 * (L_1 + L_2)}$$

x: Distancia horizontal a cualquier punto de la curva desde el PCV o desde el PTV. Para curva asimétricas se toman dos: x_1 y x_2 , la una desde el PCV y la otra desde el PTV.

y: Ordenada vertical en cualquier punto, también llamada corrección de la curva vertical. Para curva asimétricas se toman dos: y_1 y y_2 . Las expresiones para curva simétrica y asimétrica son respectivamente:

$$y = x^2 * \frac{A}{200 * L}$$

$$y = E * \left(\frac{x}{L}\right)^2$$

En esta última expresión se toman los valores de cada rama de la curva asimétrica.

Los valores de k mencionados anteriormente se presentan a continuación:

VELOCIDAD ESPECÍFICA V _{CV} (KPH)	DISTANCIA DE VISIBILIDAD DE PARADA (m)	TABLA 2-22. VALORES DE K _{MIN} EN CURVAS VERTICALES				LONGITUD MÍNIMA SEGÚN CRITERIO DE OPERACIÓN(m)
		CURVA CONVEXA		CURVA CÓNCAVA		
		CALCULADO	REDONDEADO	CALCULADO	REDONDEADO	
20	20	0,6	1	2,1	3	20
30	35	1,9	2	5,1	6	20
40	50	3,8	4	8,5	9	24
50	65	6,4	7	12,2	13	30
60	85	11	11	17,3	18	36
70	105	16,8	17	22,6	23	42
80	130	25,7	26	29,4	30	48
90	160	38,9	39	37,6	38	54
100	185	52	52	44,6	45	60
110	220	73,6	74	54,4	55	66
120	250	95	95	62,8	53	72
130	285	123,4	124	72,7	73	78

Control de la distancia de visibilidad de parada y longitudes mínimas según criterio de operación en curvas verticales. Tomado de Manual de Diseño Geométrico de Carreteras 2008

2.6 SECCIONES TRANSVERSALES

Son aquellas que se toman cada cierto intervalo de distancia en un plano normal al proyecto, mostrando sus respectivos elementos. Con ellas, se puede establecer las áreas y el volumen de tierra a trabajar durante la construcción. Unas secciones típicas en carreteras primarias, secundarias y terciarias son:

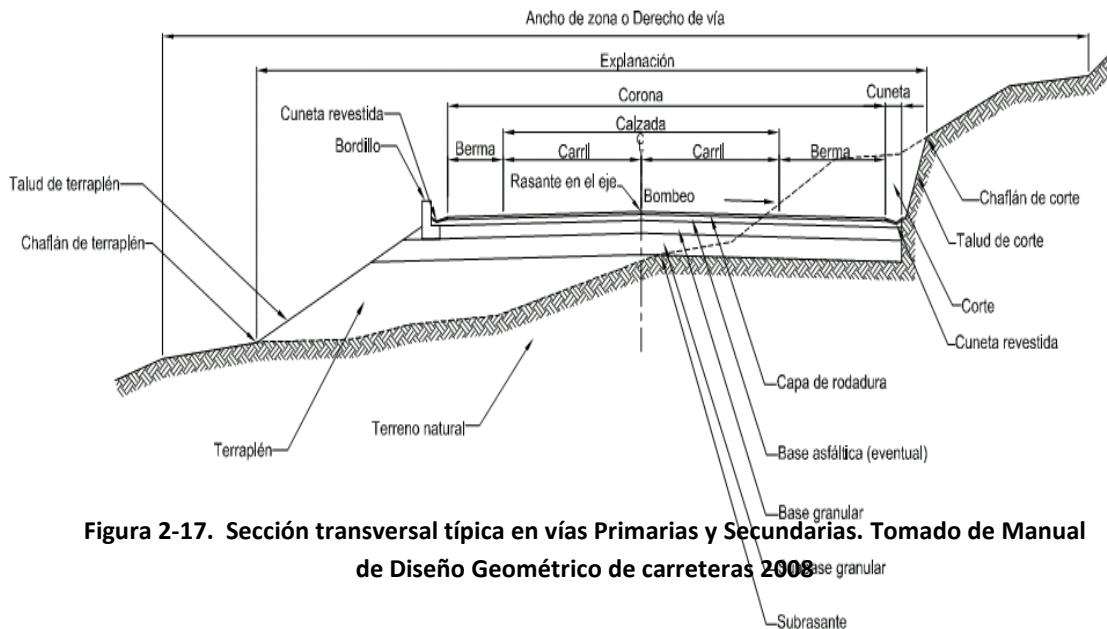


Figura 2-17. Sección transversal típica en vías Primarias y Secundarias. Tomado de Manual de Diseño Geométrico de carreteras 2008

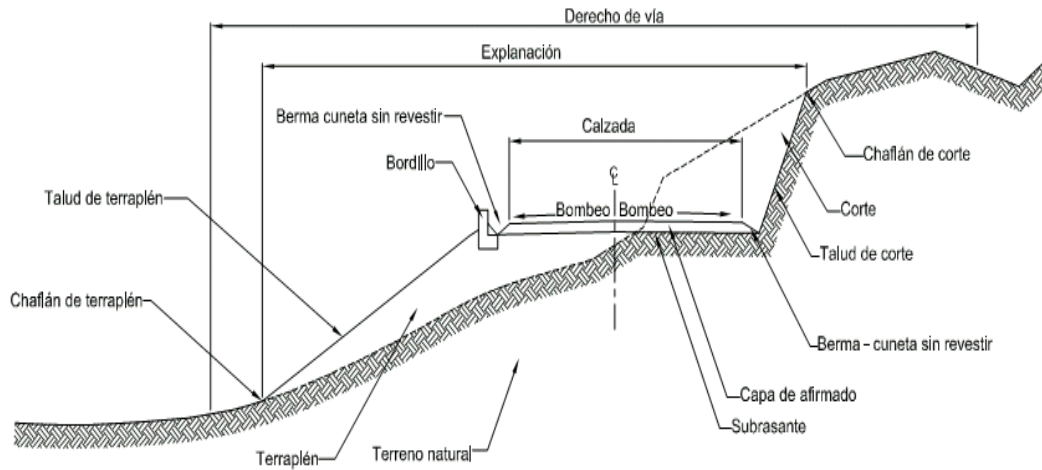


Figura 2-18. Sección transversal típica en vías terciarias. Tomado de Manual de Diseño Geométrico de carreteras 2008

2.6.1 Ancho de zona del corredor vial

Es la parte del terreno destinada para la construcción, ampliación (si se requiere), mantenimiento y embellecimiento del proyecto. Sobre ella, no se permite realizar algo de carácter privado. Por norma esta establecido de la siguiente manera, a menos que se requiere sobrepasar estos limites por necesidad:

TABLA 2-23 ANCHOS DE ZONA MINIMOS	
TIPO DE VIA	LONGITUD (m)
PRINCIPAL DE DOS CALZADAS	>30
PRINCIPAL DE UNA CALZADA	24-30
SECUNDARIA	20-24
TERCIARIA	12

Tomado de Manual de Diseño Geométrico de Carreteras 2008

2.6.2 Corona

Se le denomina así, a la unión horizontal entre la calzada y las bermas. Su magnitud se toma generalmente de lado a lado entre los bordes internos de las cunetas.

2.6.3 Calzada

Es la parte de la corona destinada para la circulación de vehículos, que de acuerdo al tipo de carretera puede ser o no pavimentada. También de acuerdo a las mismas condiciones puede tener uno o más carriles en cada sentido. El ancho a tomar de acuerdo a la vía se determina por el tipo de terreno, la velocidad de diseño del tramo homogéneo y la categoría de carretera. Se resume ello en la siguiente tabla suministrada por la Norma Colombiana de 2008.

TABLA 2-24. ANCHOS (m) RECOMENDADOS PARA CALZADA SEGÚN V _{TR} (Km/h)											
TIPO DE CARRETERA	TIPO DE TERRENO	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
PRINCIPAL DE DOS CALZADAS	PLANO							7,3	7,3	7,3	7,3
	ONDULADO							7,3	7,3	7,3	7,3
	MONTAÑOSO						7,3	7,3	7,3	7,3	
	ESCARPADO						7,3	7,3	7,3		
PRINCIPAL DE UNA CALZADA	PLANO							7,3	7,3	7,3	
	ONDULADO						7,3	7,3	7,3	7,3	
	MONTAÑOSO					7,3	7,3	7,3	7,3		
	ESCARPADO					7	7	7			
SECUNDARIA	PLANO					7,3	7,3	7,3			
	ONDULADO				7	7,3	7,3	7,3			
	MONTAÑOSO			6,6	7	7	7				
	ESCARPADO			6	6,6	7					
TERCIARIA	PLANO			6							
	ONDULADO		6	6							
	MONTAÑOSO	6	6	6							
	ESCARPADO	6	6								

Tomado de Manual de Diseño Geométrico de Carreteras 2008

Este valor en curva puede aumentar en casos en que el radio sea reducido.

2.6.4 Pendiente transversal

Pendiente que se le da a la corona y a la subrasante de la vía, para permitir el escurrimiento de aguas. En las entretangencias horizontales se cuenta con una que es denominada bombeo, cuya inclinación depende del tipo de rodadura.

TABLA 2-25. BOMBEO POR TIPO DE RODADURA

TIPO DE SUPERFICIE DE RODADURA	BOMBEO
Superficie de concreto hidráulico o asfáltico	2%
Tratamientos superficiales	2-3%
Superficie de tierra o grava	2-4%

Tomado de Manual de Diseño Geométrico de Carreteras 2008

2.6.5 Bermas

Es la franja comprendida entre el borde externo de la calzada y el interno de la cuneta. Cumple cuatro funciones básicas: proporciona protección al pavimento y a sus capas inferiores, evitando que se afecten por la erosión y la inestabilidad; permite detenciones seguras ocasionales de los vehículos; asegura una luz libre lateral, que aumenta la capacidad de la vía y ofrece un espacio adicional de maniobras de emergencia. Deben tener un ancho constante, estar libres de obstáculos y estar compactadas homogéneamente.

El ancho a tomar de acuerdo a la vía se determina por el tipo de terreno, la velocidad de diseño del tramo homogéneo y la categoría de carretera. Se resume en la siguiente tabla suministrada por la Norma Colombiana Manual de Diseño Geométrico de carreteras de 2008.

TABLA 2-26. ANCHOS (m) RECOMENDADOS PARA BERMAS SEGÚN V_{TR} (Km/h)											
TIPO DE CARRETERA	TIPO DE TERRENO	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
PRINCIPAL DE DOS CALZADAS	PLANO							2,5	2,5	2,5	2,5
	ONDULADO							2	2	2,5	2,5
	MONTAÑOSO						1,8	1,8	1,8	2,5	
	ESCARPADO						1,8	1,8	1,8		
PRINCIPAL DE UNA CALZADA	PLANO							2	2	2,5	
	ONDULADO						1,8	2	2	2,5	
	MONTAÑOSO					1,5	1,5	1,8	1,8		
	ESCARPADO					1,5	1,8	1,8			
SECUNDARIA	PLANO					1	1,5	1,8			
	ONDULADO				1	1	1,5	1,8			
	MONTAÑOSO			0,5	0,5	1	1				
	ESCARPADO			0,5	0,5	0,5					
TERCIARIA	PLANO			1							
	ONDULADO		0,5	1							
	MONTAÑOSO	0,5	0,5	0,5							
	ESCARPADO	0,5	0,5	0,5							

Tomado de Manual de Diseño Geométrico de Carreteras 2008

2.6.6 Cunetas

Son pequeñas zanjas abiertas, paralelas al trazado final de la vía, que pueden ser de acuerdo al tipo de carretera revestidas o no (primarias y secundarias en concreto; en tierra las terciarias), que recogen y canalizan aguas lluvias.

En el sentido longitudinal las aguas superficiales y de infiltración. Sus dimensiones se deducen de cálculos hidráulicos, teniendo en cuenta la

intensidad de lluvia de la zona de influencia, la naturaleza del terreno, la pendiente de la cuneta, el área drenada, entre otros factores.

2.6.7 Taludes

Son aquellos planos laterales que limitan la explanación. Su inclinación es medida por la tangente del ángulo que forma tales planos con la vertical en cada sección de la vía. Se presentan de dos tipos en corte y en terraplén, de acuerdo a la necesidad del terreno. Los taludes de corte tienen una inclinación que es variable en todo el trazado de la vía según sea la calidad y estratificación de los suelos encontrados. Un talud se designa en un tanto por uno, donde la unidad tiene sentido vertical, por ejemplo un corte de $\frac{3}{4}$ a uno, equivale a 0.75 por metro.

Se deben diseñar de acuerdo con los lineamientos presentados en el “Manual de Estabilidad de Taludes” del Instituto Nacional de Vías, analizando las condiciones específicas del lugar.

Se deben cimentar sobre terrenos que presenten inclinaciones mayores al veinte por ciento (20%) o que estén constituidos por materiales inadecuados, considerando obras especiales para minimizar los peligros de deslizamiento o de asentamientos diferenciales excesivos. Los suelos de fundación con alto contenido de materias orgánicas o muy compresibles, se deben retirar o tratar.

2.6.8 Chaflanes

Son aquellas estacas que se colocan en los puntos en los cuales la cada sección transversal del proyecto en su talud se encontrara con el terreno natural. Se demarcan con relación a su distancia al eje de la vía

y a la altura con respecto a la rasante de la misma, denotándose con signo positivo si es un terraplén o negativo si es un corte.

En planta se construye una líneas que los une, la cual permite determinar el movimiento de tierras por causa de los cortes y los terraplenes, denotándose cada uno de manera diferente, por convenciones de colores o de líneas. Esta línea permite determinar la necesidad de compras adicionales de predios y la identificación de estructuras de contención.

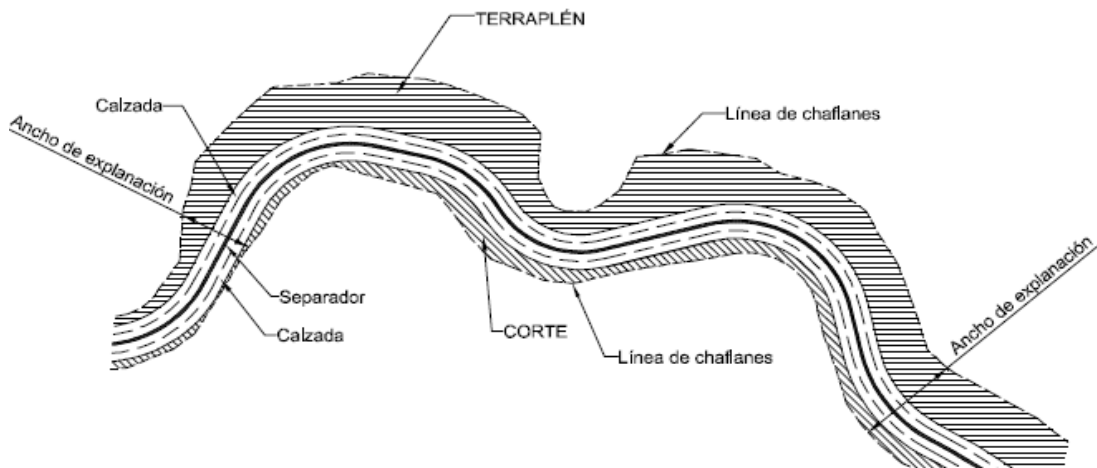


Figura 2-19. Línea de chaffanes. Tomado de Manual de Diseño Geométrico de carreteras 2008

2.6.9 Tipos de sección

Las secciones transversales de acuerdo a su condición se pueden dar homogéneamente en corte o terraplén y de tipo mixto, donde combina ambas. Para los tres casos se distinguen en el caso de los cálculos y del trabajo en campo tres tipos de cotas: la negra o del terreno (CN), la roja o de rasante (CR) y la de trabajo (CT), que es la diferencia de las dos primeras. Los puntos donde se produce tanto en sentido transversal como longitudinal un cambio de corte a terraplén se denominan ceros.

3. INGENIERÍA DE SOFTWARE

Es competencia de nuestros compañeros de tesis de Ingeniería de Sistemas, explicar con profundidad la labor operativa de la herramienta DIGRAVI, sin embargo en la búsqueda de dar unas nociones acerca de lo realizado en esta fase daremos una breve explicación de la forma en la cual se ha trabajado, viéndose desde nuestra óptica Civil.

3.1 ANÁLISIS Y SISTEMA

El sistema operativo se desarrolla en un ambiente de tipo Java, el cual es un lenguaje de programación con el que se puede realizar cualquier tipo de programa.

Una de las principales características por las que Java se ha hecho muy famoso es que es un lenguaje independiente de la plataforma, por lo cual para nuestros intereses se ha prestado como herramienta no solo de cálculo, sino también de edición y graficación de objetos, además de permitir vínculos desde otros programas tales como Microsoft Office Excel, para el ingreso de Carteras de Campo.

Al ser este lenguaje, orientado a objetos (“OO”), diseña el software que queremos de forma que los distintos tipos de datos que se usen estén unidos a sus operaciones. Así, los datos y el código (funciones o métodos) se combinan en entidades llamadas objetos.

Un objeto puede verse como un paquete que contiene el “comportamiento” (el código) y el “estado” (datos). El principio es separar aquello que cambia de las cosas que permanecen inalterables. Frecuentemente, cambiar una estructura de datos implica un cambio en el código que opera sobre los mismos, o viceversa. Esta separación en objetos coherentes e independientes ofrece una base más estable para

el diseño de un sistema software. El objetivo es hacer que grandes proyectos sean fáciles de gestionar y manejar, mejorando como consecuencia su calidad y reduciendo el número de proyectos fallidos. Otra de las grandes promesas de la programación orientada a objetos es la creación de entidades más genéricas (objetos) que permitan la reutilización del software entre proyectos, una de las premisas fundamentales de la Ingeniería del Software.

De este modo DIGRAVI FASE 1, funciona a través de paquetes de carpetas que están enlazadas entre si, para el normal desarrollo de la creación de un proyecto de tipo vial, permitiendo a su vez enlazar objetos gráficos, en la parte del diseño donde estos se requieran.

3.2 REQUISITOS

Un programa en Java podrá funcionar en cualquier ordenador del mercado. Es una ventaja significativa para los desarrolladores de software, pues antes tenían que hacer un programa para cada sistema operativo, por ejemplo Windows, Linux, Apple, Chrome, etc. Esto se consigue porque se ha creado una Máquina de Java para cada sistema que hace de puente entre el sistema operativo y el programa de Java y posibilita que este último se entienda perfectamente.

Es decir nuestro programa DIGRAVI FASE 1, puede ubicarse en cualquier unidad que tenga simplemente acceso a la maquina virtual de JAVA y tenga perfectamente actualizadas sus versiones de sistema operativo, además con el pasar del tiempo y si la necesidad de la herramienta lo requiere se pueden facilitar enlaces con programas de apoyo que se encuentren en la Web.

3.3 DISEÑO

La importancia de la Ingeniería de Software desde el punto de vista de diseño esta en la implementación de un lenguaje acorde a las necesidades buscadas, que como mencionamos anteriormente es una de las bondades con las que cuenta Java y por el cual, se opto para la realización de DIGRAVI.

El lenguaje Java a modo general se creó con cinco objetivos principales:

1. Debería usar la metodología de la programación orientada a objetos.
2. Debería permitir la ejecución de un mismo programa en múltiples sistemas operativos.
3. Debería incluir por defecto soporte para trabajo en red.
4. Debería diseñarse para ejecutar código en sistemas remotos de forma segura.
5. Debería ser fácil de usar y tomar lo mejor de otros lenguajes orientados a objetos, como C++.

Desde este punto de vista Java no es un lenguaje absolutamente orientado a objetos, pero los trabaja como tal y eso lo hace importante, porque por motivos de eficiencia, Java ha relajado en cierta medida el paradigma de ello, y así por ejemplo, no todos los valores son objetos.

Entonces el diseño aplicado de Software a DIGRAVI, ha sido en la búsqueda de manejar objetos de cálculo, gráficos y enlaces con otras herramientas Web. Todo el compendio de programación se ha realizado bajo paquetes de carpetas programables en el lenguaje para el cual se requieren, dando una estructura organizada de árbol de proyecto,

desde cada una de las etapas de diseño vial hasta el cual se maneja el alcance de este proyecto.

Con el mismo se puede a futuro continuar con facilidad y siguiendo los mismos lineamientos desde la estructura interna de programación la complementación del diseño vial para esta herramienta como lo son la altimetría y el manejo de secciones transversales para la obtención de volúmenes.

Las ventanas de diálogo, en las cuales se digitan los datos, son creadas desde la plataforma Java, dándole así una familiaridad con todo el programa, haciendo todo ello ameno para el usuario. Del mismo modo los textos de ayuda son creados para permitir una versión de apoyo a quien este utilizando el programa y que de igual modo consulte en línea, lo que requiera.

3.4 IMPLEMENTACIÓN

La implementación del programa se genero de manera gradual, a partir de consultas y asesoría a documentación en libros e internet, con la guía del codirector y el apoyo entre el grupo de trabajo de la presente herramienta, intentando modelar de la manera mas acertada tanto los cálculos del diseño vial y la generación de un terreno, como la graficación de los mismos.

Las soluciones a problemáticas se fueron dando con el transcurrir del tiempo y permitieron darle credibilidad a la plataforma Java a medida que se fueron consolidando los procesos, para así terminar dándole vía libre al trabajo en un programa de accesibilidad segura, confiable y de garantía para los autores y usuarios en general.

Como tal se trabajo desarrollando carpetas de trabajo gradual, implementándose con el apoyo de programas como el Netbeans, las pruebas en diferentes equipos de computo, la compatibilidad con los programas de procesadores normales, que fueron dando a luz el proyecto que presentamos en esta fase mediante este libro y proyecto de grado.

3.5 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

Java es un lenguaje de programación con el que podemos realizar cualquier tipo de programa. En la actualidad es un lenguaje muy extendido y cada vez cobra más importancia tanto en el ámbito de Internet como en la informática en general. Está desarrollado por la compañía Sun Microsystems con gran dedicación y siempre enfocado a cubrir las necesidades tecnológicas más punteras.

La independencia de plataforma es una de las razones por las que Java es interesante para Internet, ya que muchas personas deben tener acceso con ordenadores distintos. Pero no se queda ahí, Java está desarrollándose incluso para distintos tipos de dispositivos además del ordenador como móviles, agendas y en general para cualquier cosa que se le ocurra a la industria.

Uno de los primeros triunfos de Java fue que se integró en el navegador Netscape y permitía ejecutar programas dentro de una página web, hasta entonces impensable con el HTML.

Actualmente Java se utiliza en un amplio abanico de posibilidades y casi cualquier cosa que se puede hacer en cualquier lenguaje se puede

hacer también en Java y muchas veces con grandes ventajas. Para lo que nos interesa a nosotros, con Java podemos programar páginas web dinámicas, con accesos a bases de datos, utilizando XML, con cualquier tipo de conexión de red entre cualquier sistema. En general, cualquier aplicación que deseemos hacer con acceso a través web se puede hacer utilizando Java.

El rendimiento de una aplicación está determinado por multitud de factores, por lo que no es fácil hacer una comparación que resulte totalmente objetiva. En tiempo de ejecución, el rendimiento de una aplicación Java depende más de la eficiencia del compilador (JVM), que de las propiedades intrínsecas del lenguaje. El bytecode de Java puede ser interpretado en tiempo de ejecución por la máquina virtual, o bien compilado al cargarse el programa, o durante la propia ejecución, para generar código nativo que se ejecuta directamente sobre el hardware. Si es interpretado, será más lento que usando el código máquina intrínseco de la plataforma destino. Si es compilado, durante la carga inicial o la ejecución, la penalización está en el tiempo necesario para llevar a cabo la compilación.

Algunas características del propio lenguaje conllevan una penalización en tiempo, aunque no son únicas de Java. Algunas de ellas son el chequeo de los límites de arrays, chequeo en tiempo de ejecución de tipos, y la indirección de funciones virtuales.

El uso de un recolector de basura para eliminar de forma automática aquellos objetos no requeridos, añade una sobrecarga que puede afectar al rendimiento, o ser apenas apreciable, dependiendo de la tecnología del recolector y de la aplicación en concreto. Las JVM (Java Virtual Machine) modernas usan recolectores de basura que gracias a

rápidos algoritmos de manejo de memoria, consiguen que algunas aplicaciones puedan ejecutarse más eficientemente.

El rendimiento entre un compilador JIT (Just in time) y los compiladores nativos puede ser parecido, aunque la distinción no está clara en este punto. La compilación mediante el JIT (Just in time) puede consumir un tiempo apreciable, un inconveniente principalmente para aplicaciones de corta duración o con gran cantidad de código. Sin embargo, una vez compilado, el rendimiento del programa puede ser comparable al que consiguen compiladores nativos de la plataforma destino, inclusive en tareas numéricas. Aunque Java no permite la expansión manual de llamadas a métodos, muchos compiladores JIT(Just in time) realizan esta optimización durante la carga de la aplicación y pueden aprovechar información del entorno en tiempo de ejecución para llevar a cabo transformaciones eficientes durante la propia ejecución de la aplicación. Esta recopilación dinámica, como la que proporciona la máquina virtual HotSpot de Sun, puede llegar a mejorar el resultado de compiladores estáticos tradicionales, gracias a los datos que sólo están disponibles durante el tiempo de ejecución.

Java fue diseñado para ofrecer seguridad y portabilidad, y no ofrece acceso directo al hardware de la arquitectura ni al espacio de direcciones. Java no soporta expansión de código ensamblador, aunque las aplicaciones pueden acceder a características de bajo nivel usando bibliotecas nativas (JNI, Java Native Interfaces).

3.6 DESARROLLO DEL PROYECTO

El proyecto se desarrollo desde la parte de software como un compendio de carpetas programadas en cada fase del diseño vial, apoyándose mediante la prueba de ejecutables del programa Netbeans,

tanto en su parte de graficación, como de inserción de datos y textos de vínculos para ayuda del diseño.

Se cubrieron cuatro etapas en esta fase de la herramienta, con la idea de darle continuidad a partir de la facilidad de permitir los códigos para la fase posterior de altimetría y secciones transversales, así como la labor de empalme tanto civil como de sistemas del proyecto.

Se trabajo en primera medida en clases de orientación acerca de lo que se pretendía como tal en el proyecto y como se daban desde la teoría, al igual que la Normativa nacional, lo que se buscaba con la programación numérica y grafica.

Teniendo nociones de lo que se buscaba se implemento mediante la investigación y la asesoría bibliografía, la implementación de la programación, llegando al encuentro del Java, como medio principal de lenguaje y el respaldo de programas como Netbeans, entre otros, que le fueran dando de a poco forma al proyecto y lo buscado desde los objetivos planteados.

Es así, como se comienza con la búsqueda de la generación del terreno desde el mismo programa, a partir de datos reales topográficos, que permitieran darle una credibilidad a los datos tomados en Campo y permitieran posteriormente el trazado de un proyecto de tipo vial. Mediante esta etapa del programa se pudo comprobar la compatibilidad del programa en enlaces con otros como el Excel para el ingreso de datos, comprobando también de otra parte herramientas graficas como capas, polilíneas, puntos, entre otras, en el apoyo del trazado de la vía.

Posterior a ello, se paso al ingreso de datos que sirvieran de alertas y ayudas, basados en el Manual de Diseño Geométrico de carreteras 2008, mediante el uso de notas, tablas y vínculos.

Luego se genero el diseño horizontal, dándole un valor agregado a la búsqueda del alineamiento desde la línea de ceros, línea de proyecto y el final dato del diseño de curvas en el trazado como tal.

Por último, se enlazo a las curvas horizontales, su respectiva transición de peraltado, con lo cual se termino esta fase del proyecto, esperando darle mediante un nuevo grupo de trabajo un termino a esta importante herramienta para la Escuela de Ingeniería Civil. Todo lo anterior, se dio con pruebas de presentación a estudiantes de la Escuela, como forma de ver su nivel de aceptación y familiarización con el programa.

4. PRESENTACIÓN Y EJECUCIÓN DE SOFTWARE

En este capítulo, veremos unas pequeñas pautas de cómo funciona el programa, a través de indicaciones textuales y pantallazos de la ejecución del programa. Como complemento del mismo se entregará un manual de ayuda.

4.1 PRESENTACIÓN DE ENTRADA

El usuario ubicará el programa en el lugar de conveniencia y desde allí empezara a trabajar sobre el mismo de la siguiente manera:

VENTANA 1: PANTALLA DE BIENVENIDA

Al hacer click en el vínculo del programa en el equipo se presenta formalmente el programa con su icono de presentación, nombre, datos de los autores y su objetivo general.



Figura 4-1. Pantalla de Bienvenida Digravi fase I

VENTANA 2: PANTALLA DE INICIO DE LA HERRAMIENTA

Aparecen los respectivos recuadros con las secciones a desarrollar para el proyecto vial: generación del terreno, especificaciones, diseño horizontal, diseño vertical, transición de peralte y secciones transversales.

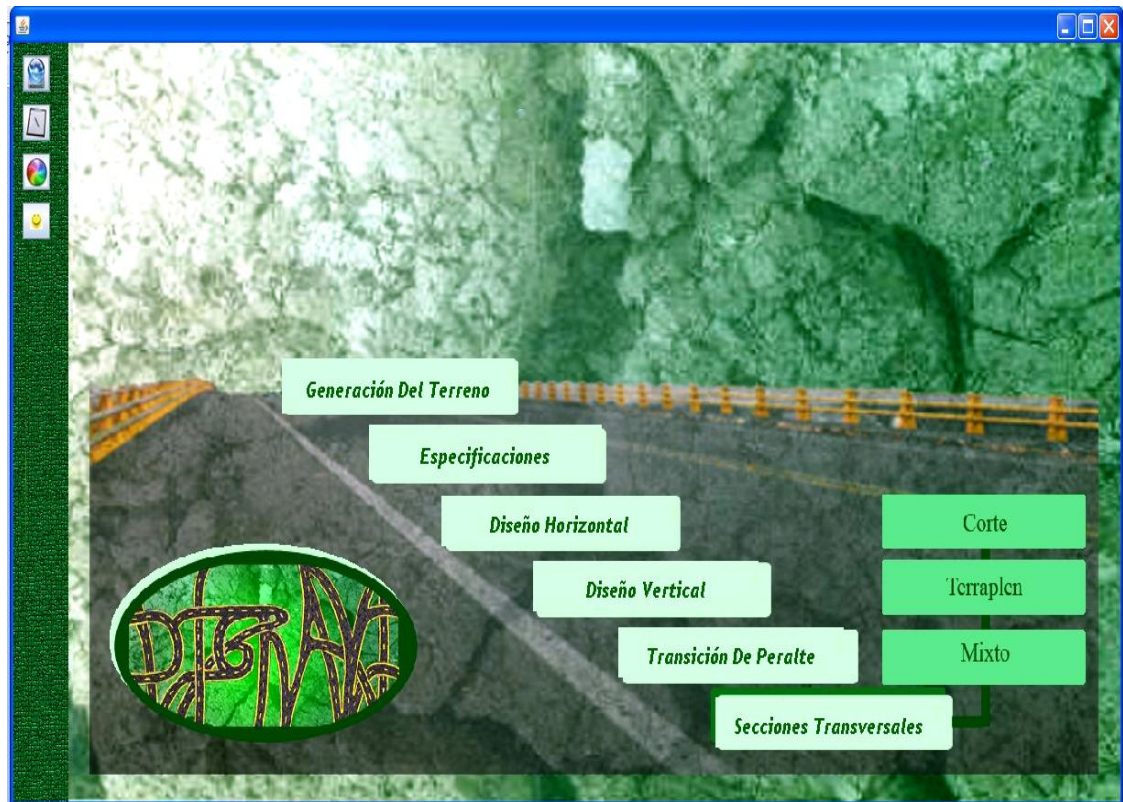


Figura 4-2. Pantalla de Inicio Digravi fase I

Generación del terreno: sobre el aparecen las instrucciones para generar el terreno sobre el cual se va a ejecutar el proyecto.

Especificaciones: al hacer click en el aparecen todas las indicaciones de inicio como caracterización del proyecto según el Diseño Geométrico de Carreteras 2008.

Diseño Horizontal: en este vínculo aparecen las respectivas pautas para el diseño y trazado sobre el terreno de las curvas horizontales del proyecto.

Diseño Vertical: espacio destinado para la creación del perfil de la vía y el diseño de curvas verticales del proyecto.

Transición de peralte: cuando se oprime en el se reflejarán las pautas para la transición de peralte de las curvas horizontales del proyecto.

Secciones transversales: es el vínculo que permite conocer las respectivas zonas de corte y terraplén del proyecto finalmente, mediante la toma de datos transversales en un abscisado definido y en puntos de referencia importantes.

Adicionalmente encontramos otros iconos a la izquierda de esta pantalla que aparecerán en otras ventanas del programa, las cuales tienen como uso específico realizar procesos internos del proyecto, los cuales describimos a continuación:

- **Salvar Proyecto:** Permite al hacer click sobre el guardar el proyecto y los cambios del mismo que se está realizando.



Figura 4-3. Icono Salvar Proyecto DigraVI fase I

- **Ver resumen:** Muestra los resultados del proyecto que se trabaja, mediante tablas de información.

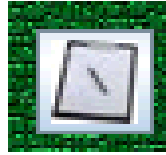


Figura 4-4. Icono Ver Resumen Digravi fase I

- **Cargar proyecto:** permite abrir un proyecto guardado con anterioridad en algún formato de disco que almacene, como el Disco C, Disco D, memoria o CD.

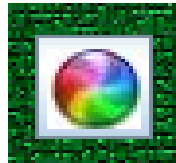


Figura 4-5. Icono Cargar Proyecto Digravi fase I

4.2 GENERACIÓN DE TERRENO

VENTANA 3: PANTALLA GENERACIÓN DE TERRENO

En esta se encontraran dos recuadros superiores llamados Cartera de Campo e Interpolar, además de unos vínculos inferiores llamados Aceptar, Ayuda y Cancelar.

A screenshot of a software window titled 'Pantalla de Generación de Terreno'. The window is divided into two main sections: 'Cartera De Campo' and 'Interpolar'.
The 'Cartera De Campo' section contains a text input field, an 'Importar...' button, a 'Puntos Laterales' input field, an 'Espacio:' input field, a 'Generar' button, and a 'Modificar...' button with a small square icon to its left.
The 'Interpolar' section contains four input fields: 'Equidistancia:', 'Azimut: 22°', 'Altura De Comienzo:', and 'Altura Final:'.
At the bottom of the window are three buttons: 'Aceptar' with a green circle icon, 'Ayuda' with a question mark icon, and 'Cancelar' with a red circle icon.

Figura 4-6. Pantalla de Generación de Terreno Digravi fase I

4.2.1 CARTERA DE CAMPO:

4.2.1.1 IMPORTAR UN ARCHIVO:

En Cartera de campo aparecerán dos filas, la primera para Importar la cartera desde un archivo de Excel con el método de distancias fijas o con el de cotas redondas. Para validar esta opción es necesario colocar en la casilla del recuadro inferior destinado para el azimut, el valor correspondiente a este tomado con referencia al norte del proyecto. Cuando se desea trabajar con esta opción aparece un recuadro que se denomina –“Modificar”, el cuadro se habilita, para mostrar la cartera y realizar cambios, en este momento si el usuario así lo requiere, con las mismas condiciones del editor que se explica a continuación.

4.2.1.2 EDITOR DEL PROGRAMA:

En la segunda fila, se da la opción de llenado desde un editor interno del programa para el método de distancias fijas, introduciéndose allí los puntos laterales a tener en cuenta a cada lado del eje y el espacio entre ellos. Teniendo esto definido en la segunda fila se oprime “Generar” para organizar la cartera desde este espacio con las pautas dadas. El usuario así introduce datos por filas y para continuar creando filas da ENTER hasta que culmine, permitiendo de esta forma avanzar al paso siguiente con la orden de guardar que es CTRL+ENTER, volviendo al recuadro de Generación de terreno.

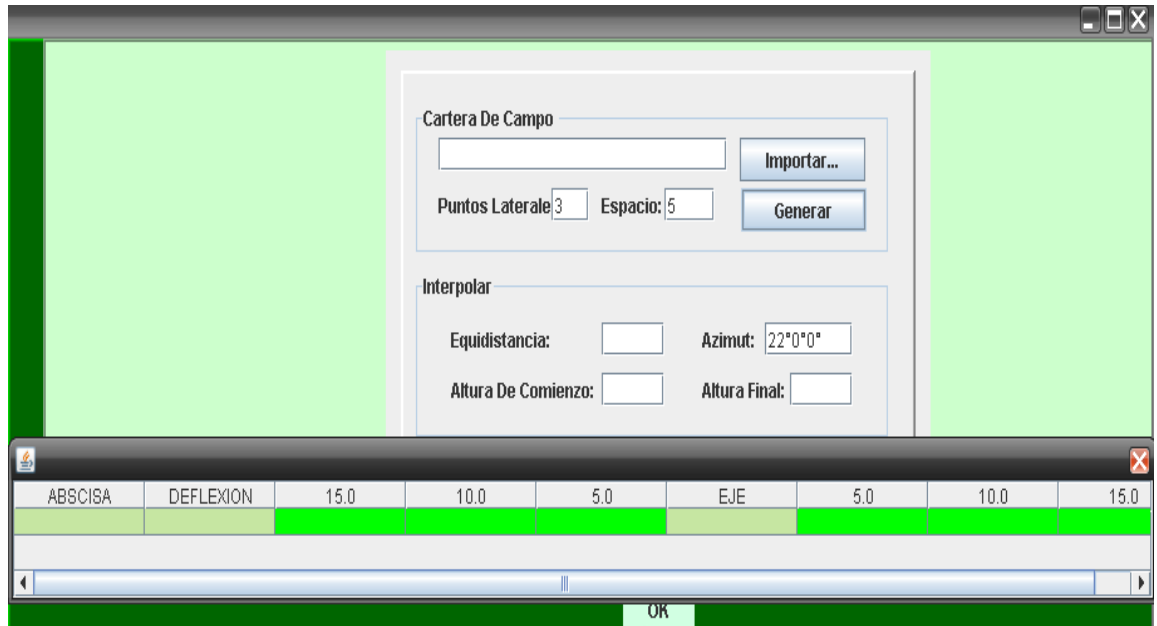


Figura 4-7. Secuencia 1 editor interno DigraVI fase I

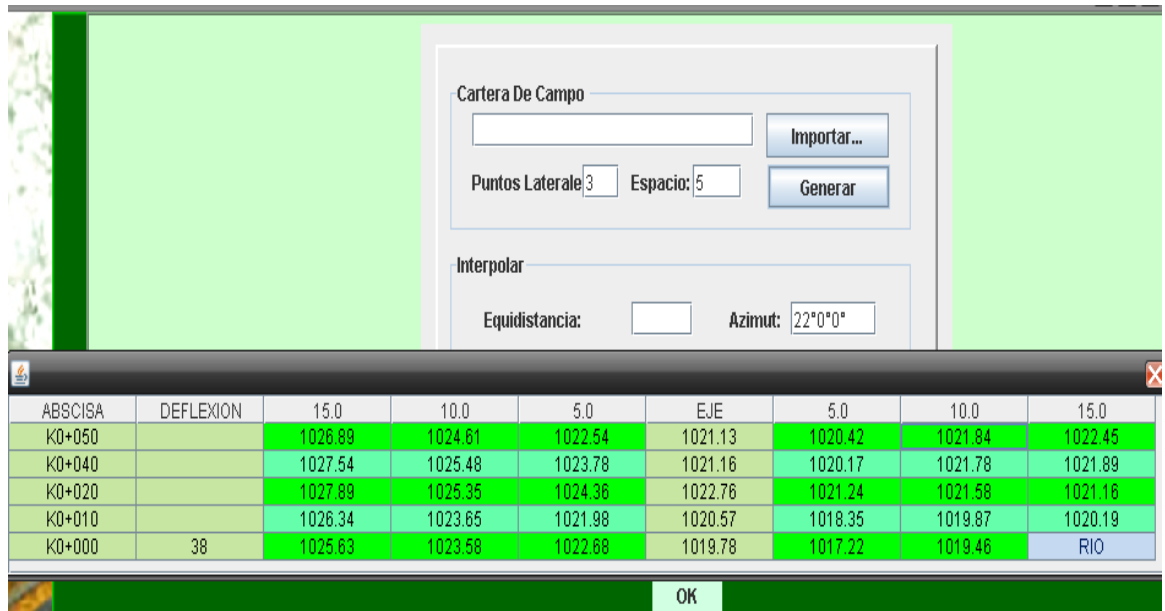


Figura 4-8. Secuencia 2 editor interno DigraVI fase I

Cuando en la parte de cartera de campo los datos están bien validados, el programa, muestra un mensaje como el siguiente, con el cual se puede continuar a la parte del recuadro inferior llamado interpolar.

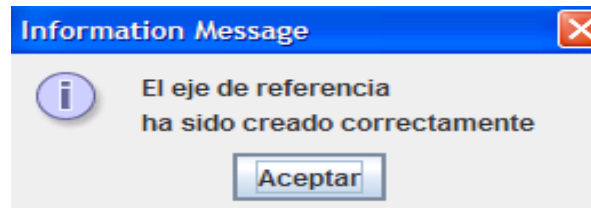


Figura 4-9. Aviso de creación del eje de referencia Digravi fase I

4.2.2 INTERPOLAR

En este recuadro, contamos también con dos filas de datos, que esta vez se llenan obligatoriamente, en la primera se deben llenar la Equidistancia a generar por el terreno y el Azimut de entrada del primer alineamiento con respecto al punto de referencia del proyecto. Mientras tanto, en la fila inferior de este recuadro tenemos que dar los datos de la altura de comienzo (curva de cota inicial) y la altura final (curva de cota final) para que se interpole y grafique el terreno para el proyecto.



Figura 4-10. Pantalla de Generación de Terreno datos de interpolación DigraVI fase I

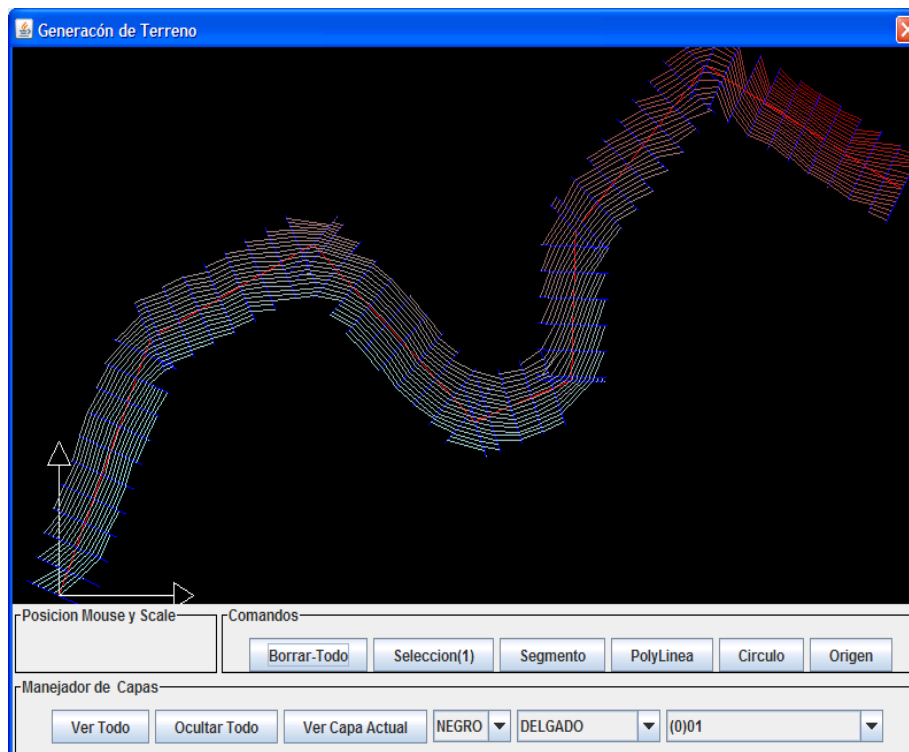


Figura 4-11. Pantalla de Graficador de Terreno DigraVI fase I

Finalmente en los vínculos inferiores le damos “Aceptar” para generar el terreno, “Ayuda” para saber como funciona el recuadro y “Cancelar” para omitir los datos que se suministraron y solucionar con datos nuevos acordes a mis necesidades de usuario para el terreno.

Cuando se grafica la generación del terreno encontramos una ventana que contiene vínculos de tipo gráfico distribuidos en recuadros inferiores llamados: Posición Mouse y Scale, Comandos y Manejador de Capas.

- **Posición Mouse y Scale:** Muestra la posición (X) y (Y) en el gráfico. Al situarse con el mouse sobre el gráfico, con el scroll se puede acercar o alejar y mover sobre el mismo.
- **Comandos:** Permite borrar todo lo graficado, seleccionar elementos del mismo, asignar segmentos, dibujar polilíneas o círculos y situar el origen.
- **Manejador de capas:** Con estos vínculos se puede ver todo lo que se quiere del gráfico, ocultar todos los elementos del mismo, ver los elementos mediante el empleo de capas, dar texturas a los elementos gráficos lineales como grosores o formas de trazado, así como asignar colores y escoger sobre cual se pueden realizar cambios. Son herramientas de graficación tipo CAD.

A continuación mostramos el ejemplo grafico de cómo se ve una línea a trazos verde desde DIGRAVI correspondiente a una

curva de nivel y otra línea que se borra en el extremo inferior izquierdo de la figura al darle CAPA ACTUAL OFF.

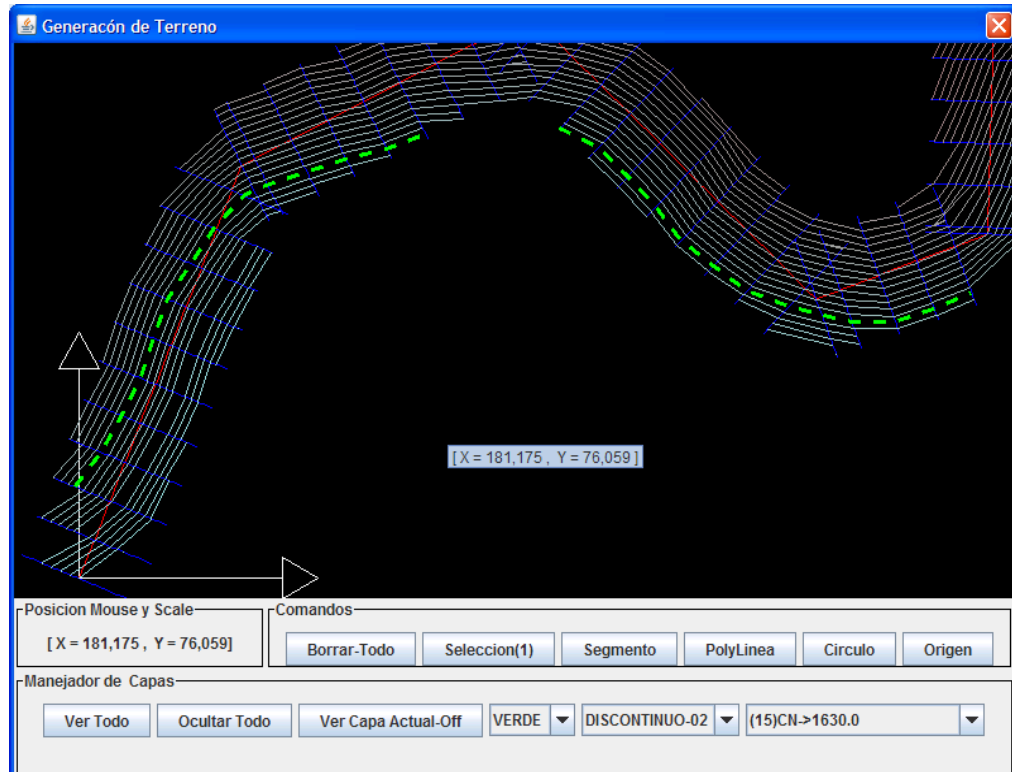


Figura 4-12. Pantalla de Graficador de Terreno con aplicaciones Digravi fase I

Al culminar si nos sentimos conformes para avanzar, oprimimos OK, retornando a la pantalla de inicio. Para continuar allí oprimimos el paso siguiente que es Especificaciones.

Por su parte si deseamos trabajar el editor interno de cotas redondas se requiere que en el recuadro inferior se tenga el dato de Azimut de entrada y luego en el recuadro de Generar le damos click, saliendo allí la opción para escribir nuestros datos.

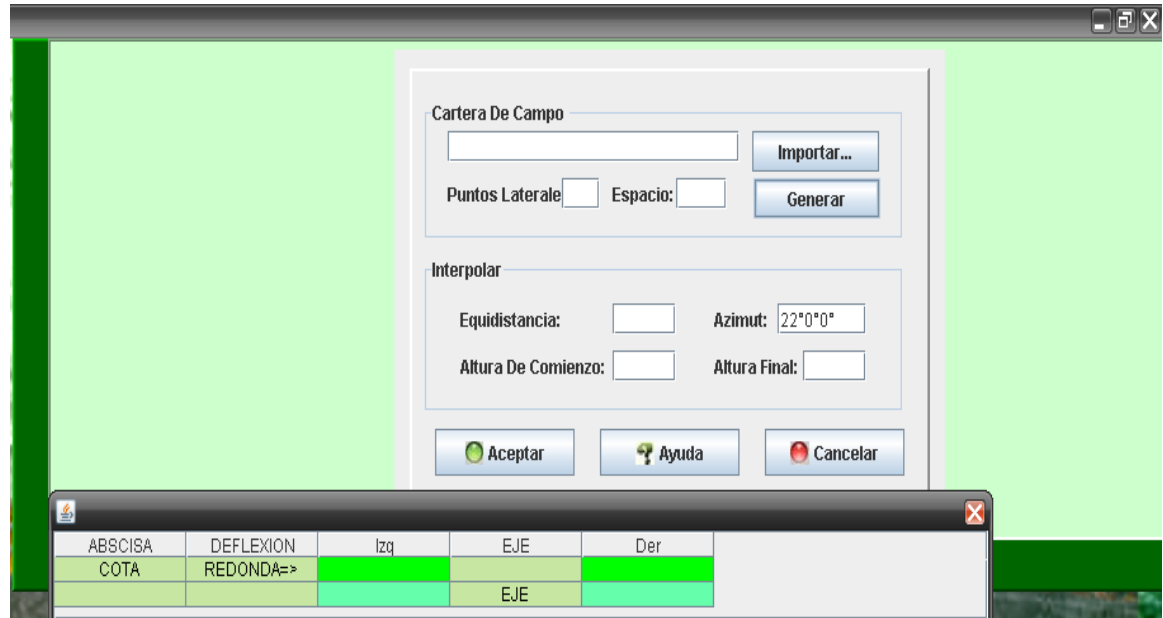


Figura 4-13. Pantalla de Generación de Terreno con la cartera de cotas redondas DigraVI fase I

En la primera fila colocamos las cotas y en la segunda las distancias con respecto el eje.

ABSCISA	DEFLEXION	lzq	EJE	Der
k0+000	48°	1024	1022	1023
		5.9	EJE	3.8

Figura 4-14. Ingreso de datos en la cartera de cotas redondas DigraVI fase I

Para introducir un nuevo par de filas se da ENTER, para introducir columnas se da CTRL+I a la derecha del lugar que desea colocarla, se remueven columnas con CTRL+R, se quitan filas con CTRL+D y se guarda la cartera con CTRL+ENTER. Con estas ordenes la cartera queda de la siguiente manera:

ABSCISA	DEFLEXION	lzq	lzq	EJE	Der	Der
k0+040		1024	1024	1023.5	1022	1022.5
			4	EJE	2	4.7
k0+020		1024	1025	1023		1023.5
		5.4	4.9	EJE		5.4
k0+000	45°		1024	1022		1023
			5.9	EJE		3.8

Figura 4-15. Secuencia de ingreso de datos en la cartera de cotas redondas Digravi fase I

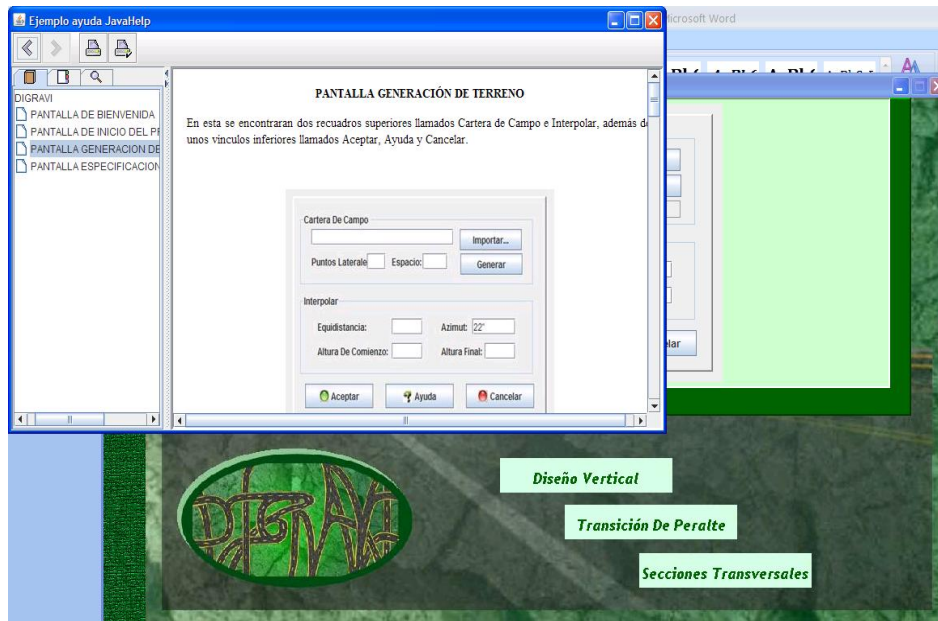


Figura 4-16. Pantalla de Ayudas Digravi fase I

Después de esto se grafica y se continua con el diseño de manera similar al método de distancias fijas, llenando el recuadro de interpolar y siguiendo las ordenes de aceptar o cancelar, pasando luego a las Especificaciones.

Nota: Si en algún momento, se requieren indicaciones para trabajar alguno de los parámetros de esta ventana se puede remitir al vinculo AYUDA, el cual dará una visualización textual de las pautas a seguir para un correcto uso del programa.

4.3 ESPECIFICACIONES DE PROYECTO

VENTANA 4: PANTALLA ESPECIFICACIONES DE PROYECTO

Al llegar allí, encontramos características generales para el diseño las cuales deben ser llenadas en el espacio frente a ellas en blanco, siguiendo las pautas de nuestro Manual de Diseño Geométrico de carreteras Colombiano 2008, para lo cual cada una tiene un signo interrogante que suministra la tabla con la cual se puede apoyar el usuario extractada de dicha Normativa.

Los datos a llenar son los siguientes:

Nombre del proyecto: definición dada por el usuario de acuerdo al lugar donde va a ejecutar el trazado. Por ejemplo: Transversal Oriental-Lagos del Cacique.

Tipo de vía: despliega una flechita con las opciones de principal de una calzada, principal de dos calzadas, secundaria o terciaria, de acuerdo a la necesidad del proyecto.

Velocidad de diseño: Para definir la velocidad de diseño remitirse a la información de tablas de esta condición en tramo homogéneo (V_{TR}), según las condiciones de terreno y el tipo de vía a diseñar.

Ancho de banca: Para definir el ancho de banca remitirse a la información de tablas en anchos recomendados para calzada, de acuerdo al tipo de carretera, tipo de terreno y la velocidad de diseño que se haya escogido en el criterio anterior.

Pendiente máxima horizontal: Para definir la pendiente máxima se puede remitir en información tablas en esta condición según velocidad de diseño (V_{TR}) y el tipo de carretera o la que indica la condición para velocidad en tangente vertical (V_{TV}), siguiendo también al tipo de carretera.

Pendiente mínima horizontal: Para definir la pendiente mínima, el Manual de Diseño Geométrico de carreteras 2008 nos reseña que para terreno plano es de 0.3% y para ondulado, montañoso o escarpado se debe tomar 0.5%.

Tipo de terreno: El programa lo da por defecto, de acuerdo a la pendiente longitudinal y transversal del terreno generado.

Peralte máximo: Para definir peralte máximo, el Manual de Diseño Geométrico de carreteras 2008 nos indica que para carreteras primarias o secundarias este sea del 8%, mientras que para terciarias sea del 6%.

Bombeo: Para definir el bombeo, tomamos según el Manual de Diseño Geométrico de carreteras 2008 la tabla que relaciona el bombeo con el tipo de rodadura.

Longitud circular mínima: Para definir la longitud mínima de curva circular, se tiene en cuenta la tabla del Manual de Diseño Geométrico 2008, que referencia ello, para ángulos de deflexión entre tangentes menores a 6°.

Para curvas Espiralizadas en el tramo circular, se debe revisar para esta longitud, la distancia recorrida a la Velocidad específica (V_{CH}) durante dos segundos, tal como lo señala el Manual de Diseño Geométrico de Carreteras de 2008 en su capítulo 3 de diseño en planta.

Longitud espiral mínima: Para definir la longitud espiral mínima se debe mirar el criterio inicial de estos casos que es aquel que dice:

$$L_S = (b \cdot e) / Pr;$$

Donde: b: Semibanca

e: peralte

Pr: Pendiente relativa

Longitud vertical mínima: Para definir la longitud vertical mínima se puede remitir a información tablas en aquella que dice longitud mínima de tangente vertical, la cual se establece comparando con la velocidad en tangente vertical (V_{TV})

Abscisado: Espacio definido por el usuario para tener información de la vía. Generalmente para efectos académicos se utilizan los 20 metros en el sentido de avance.

Punto de referencia: Lugar u objeto de coordenadas y cota conocidas que sirve para localizar los puntos del proyecto.

Norte: Punto de referencia en el sentido norte para dar paso mas adelante a las coordenadas de los respectivos puntos y elementos del proyecto.

Este: Punto de referencia en el sentido Este para dar paso más adelante a las coordenadas de los respectivos puntos y elementos del proyecto.

Altura: Cota de referencia para dar paso más adelante a las coordenadas de los respectivos puntos y elementos del proyecto.

Nombre Del Proyecto:

Tipo De via:

Velocidad De Diseño [Km/h]:

Ancho De Banca [m]:

Pendiente Maxima Horizontal [%]:

Pendiente Minima Horizontal [%]:

Tipo De terreno =>Montañoso

Peralte Máximo e.max [%]:

Bombeo [%]:

Longitud Circular Mínima [m]:

Longitud Espiral Mínima [m]:

Longitud Vertical Mínima [m]:

Abscisado [m]:

BM

Coordenada Norte [Mm]: Coordenada Este [Mm]:

Figura 4-17. Pantalla de Especificaciones del Proyecto DigraVI fase I

Finalmente en la parte inferior de la ventana aparecen los vínculos CANCELAR para no guardar los datos especificados y ACEPTAR para guardarlos, anexándolos a mi proyecto y mostrando el siguiente mensaje:

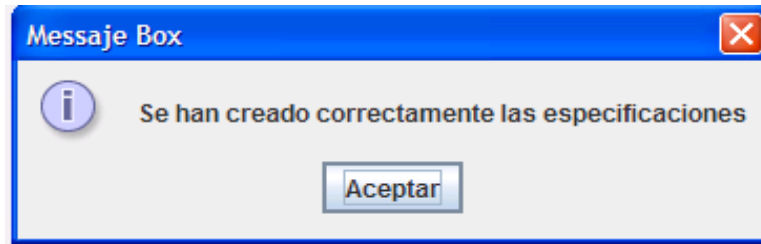


Figura 4-18. Aviso de aceptación de Especificaciones del Proyecto Digravi fase I

En el link OK continuó mi proyecto regresando a la ventana de inicio, para continuar con mi diseño en la parte Horizontal.

4.4 DISEÑO PLANTA

VENTANA 5: ALINEAMIENTO HORIZONTAL

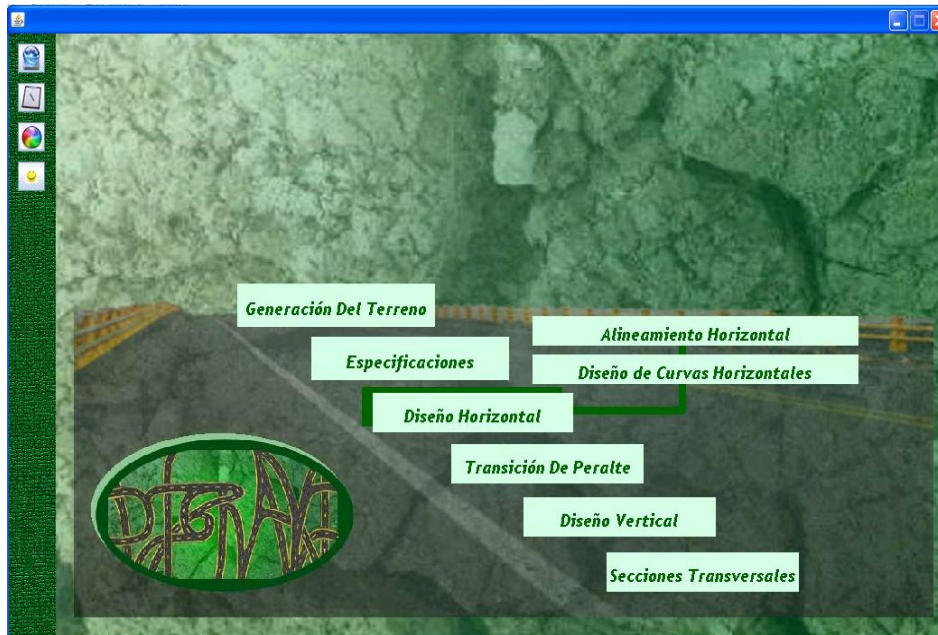


Figura 4-19. Submenú Diseño Horizontal Digravi fase I

Después de volver a la pantalla de menú principal, se pica en diseño horizontal, en la parte de alineamiento y se encuentra la siguiente ventana:

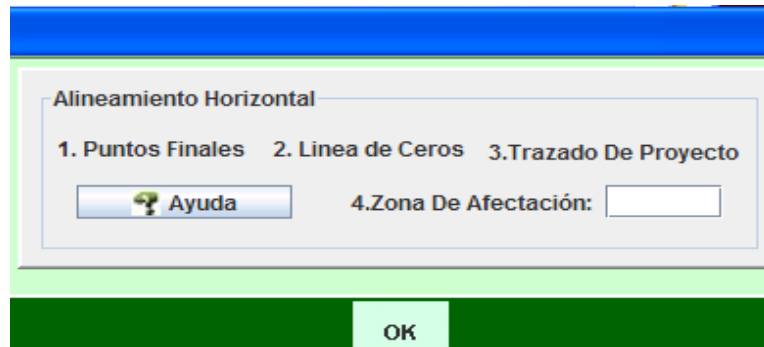


Figura 4-20. Opciones de alineamiento Horizontal Digravi fase I

En ella se encuentran tres opciones de trabajo: puntos finales, línea de ceros y trazado de proyecto, además el espacio para colocar la zona de de ancho de afectación y el vínculo para las ayudas.

Puntos finales: al dar click sobre este se regresa a la grafica del terreno generado, visualizando únicamente las curvas de nivel. Se localizan entonces, un punto de inicio (C) de mi proyecto sobre el terreno y un punto final (F), localizado en el mismo, para que el programa no nos arroje un error. Para eso, se cuenta con herramientas gráficas como las capas que permiten dar visualizaciones de acuerdo a las necesidades que se tengan y las posiciones en (X) y (Y) del mouse.

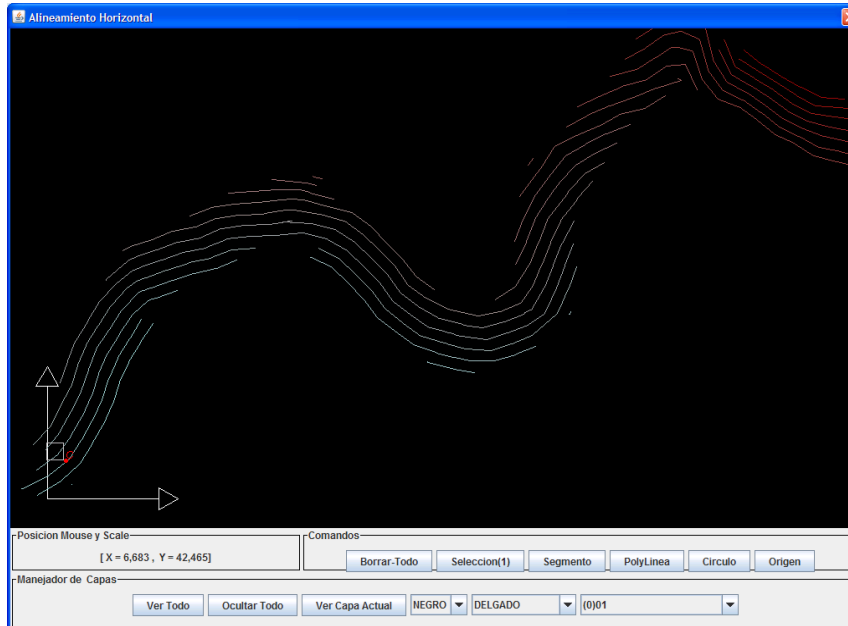


Figura 4-21. Localización del punto inicial en el graficador Digravi fase I

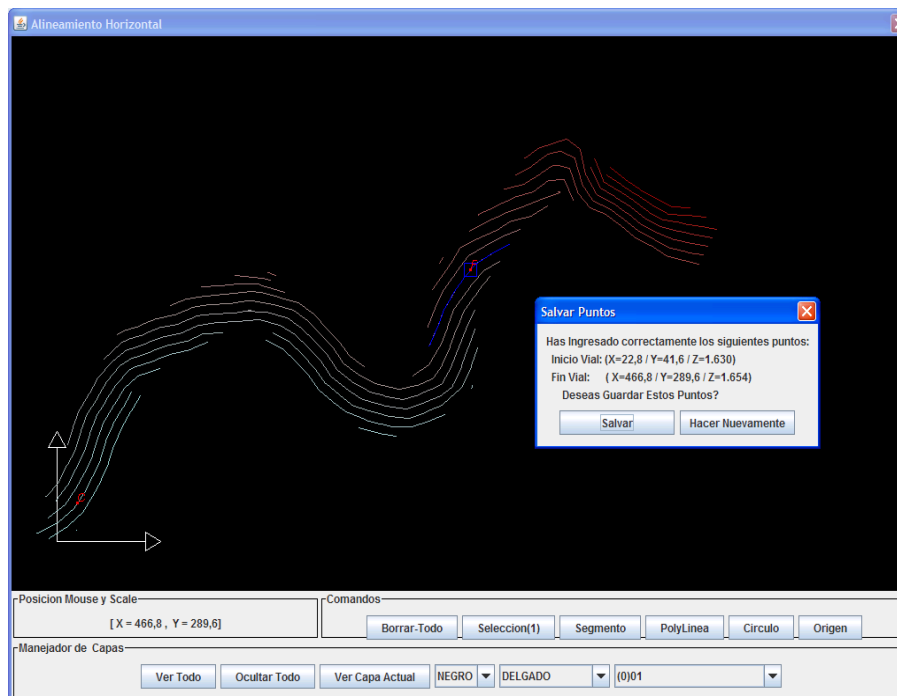


Figura 4-22. Confirmación del punto inicial y final del proyecto Digravi fase I

Línea de ceros: Permite que el usuario trace a través de una polilínea desde el inicio (C) hasta el final (F), la línea entre cada curva de nivel de pendiente aceptada para el proyecto de acuerdo a lo estipulado en las especificaciones y sin perder el espacio del terreno, momento en el cual de darse se originara el cambio de colores de la línea a trazar como pauta para la definitiva del proyecto. Si la pendiente es la media máxima entre curvas la línea se mostrara verde

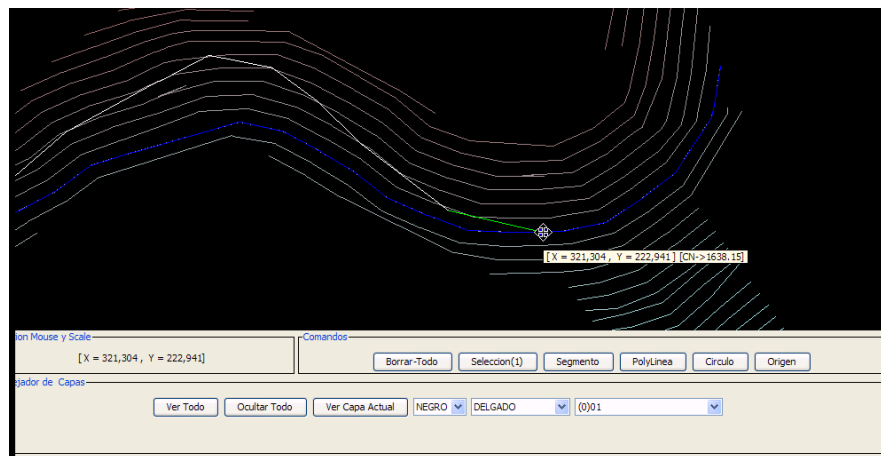


Figura 4-23. Indicador de pendiente media máxima en la línea de ceros del proyecto DigraVI fase I

Si es una pendiente alta que se sale de lo estipulado se mostrara amarilla

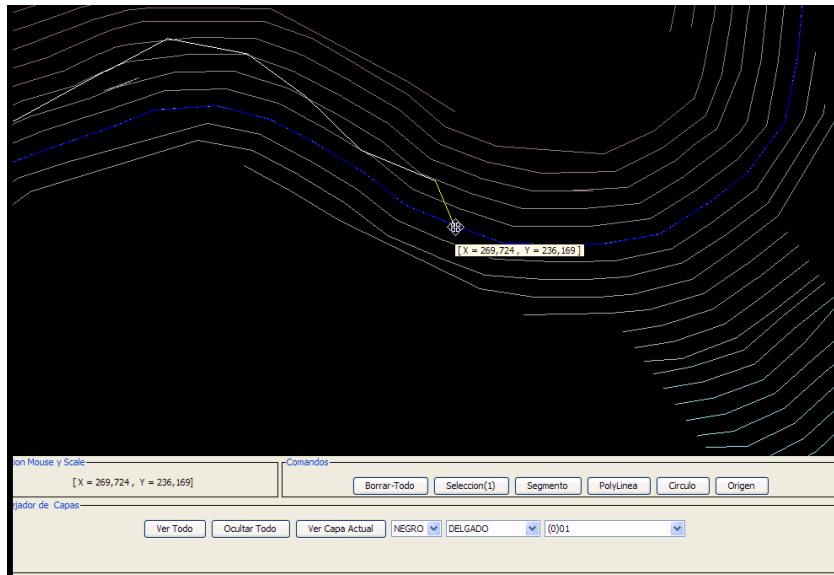


Figura 4-24. Indicador de pendiente mayor a la media máxima en la línea de ceros del proyecto Digravi fase I

Y si esta por fuera del terreno se colocara roja.

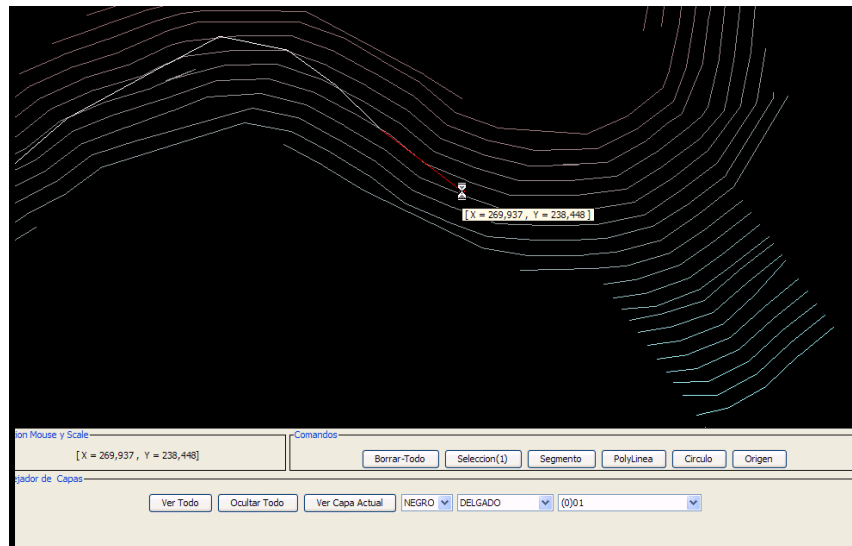


Figura 4-25. Indicador de falta de información para crear la línea de ceros del proyecto Digravi fase I

Cuando se culmina todo el alineamiento quedara de color naranja. Esta nomenclatura de colores es análoga para el trazado de proyecto.

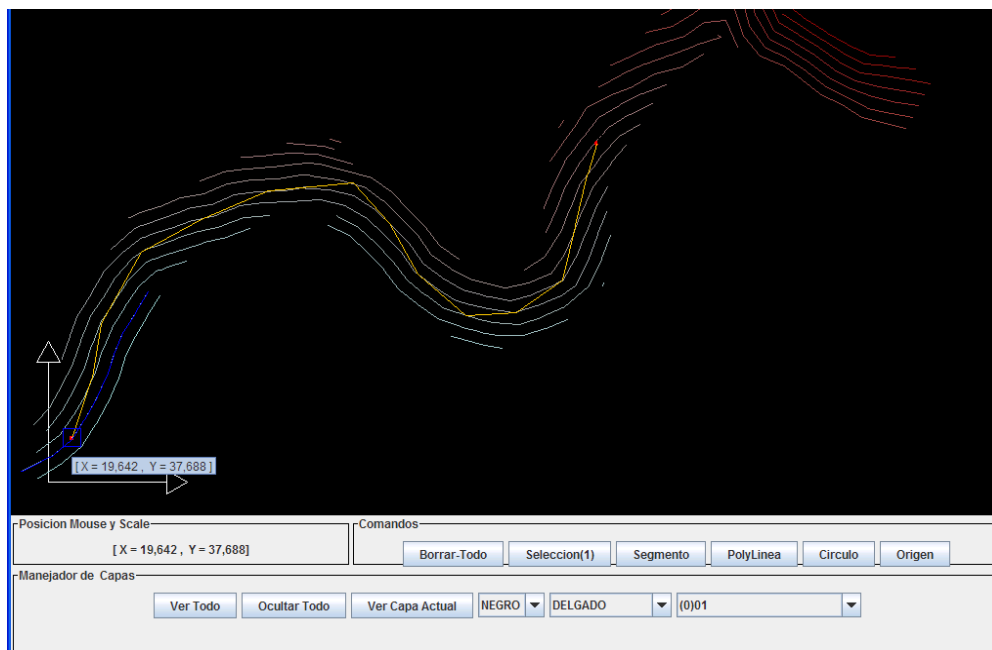


Figura 4-26. Indicador de culminación de la línea de ceros del proyecto Digravi fase I

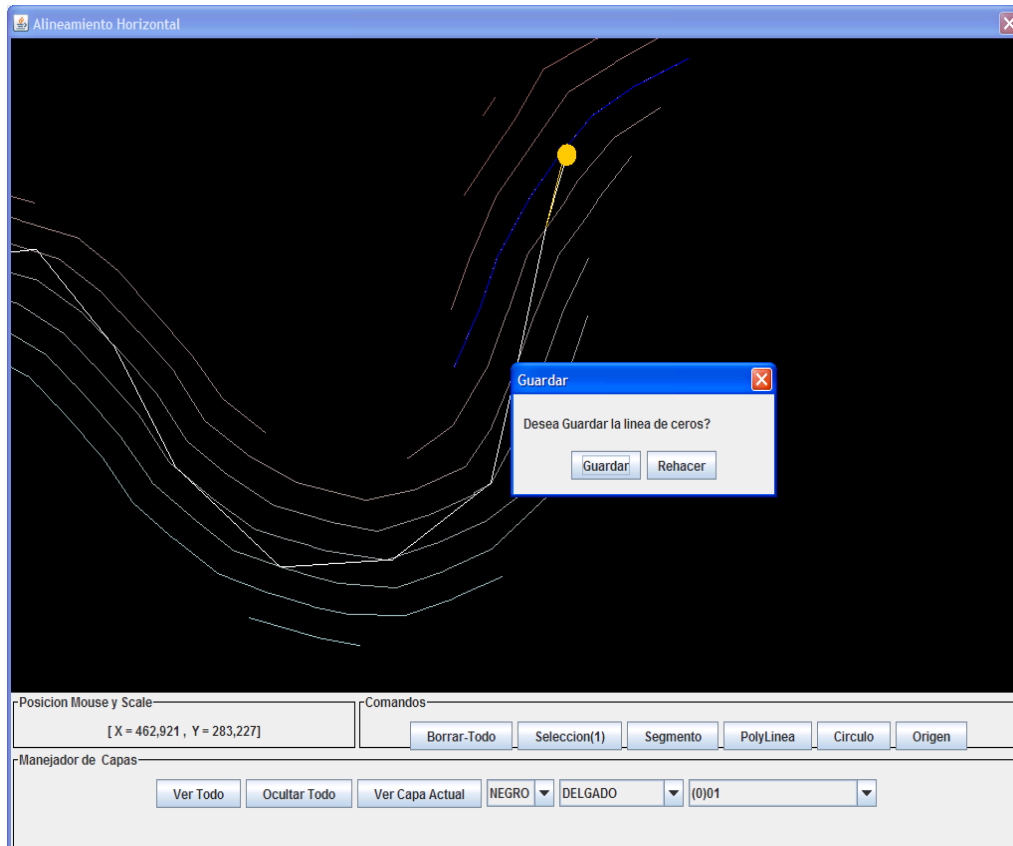


Figura 4-27. Confirmación para guardar la línea de ceros del proyecto Digravi fase I

Trazado de proyecto: Permite que el usuario una con líneas mas largas y sin salir de su longitud critica de pendiente los puntos que construyen el alineamiento horizontal final del proyecto, guiados por la línea de ceros.

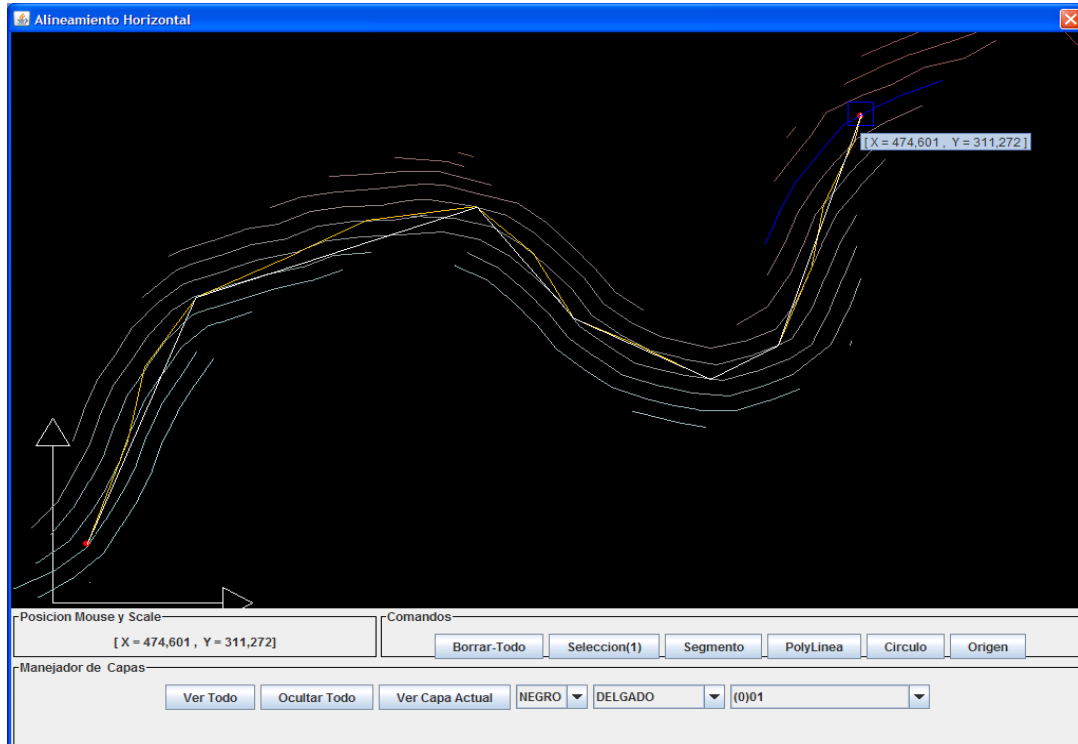


Figura 4-28. Trazado de la línea de proyecto Digravi fase I

Zona de afectación: Es un dato numérico, introducido por el usuario, que indica el ancho sobre el cual se van a necesitar datos para la construcción del perfil y de las secciones transversales

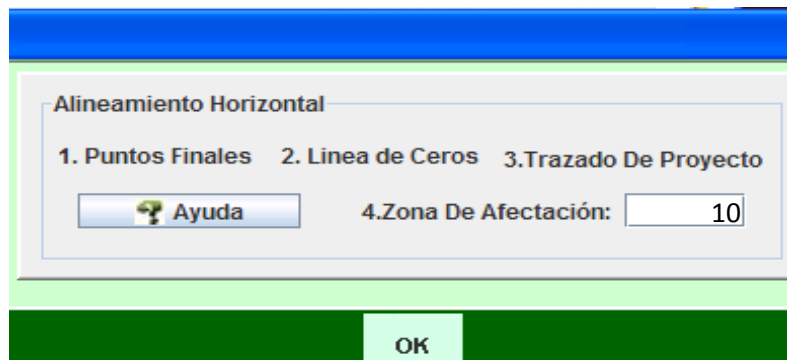


Figura 4-29. Culminación del Alineamiento Horizontal Digravi fase I

Con esto se da OK y se pasa a la segunda parte del diseño horizontal que es el diseño de las curvas horizontales de acuerdo a los requerimientos del trazado de proyecto.

VENTANA 6: DISEÑO DE CURVAS HORIZONTALES.

En esta parte se realiza el Diseño de las curvas horizontales del proyecto, encontrándose la siguiente ventana:

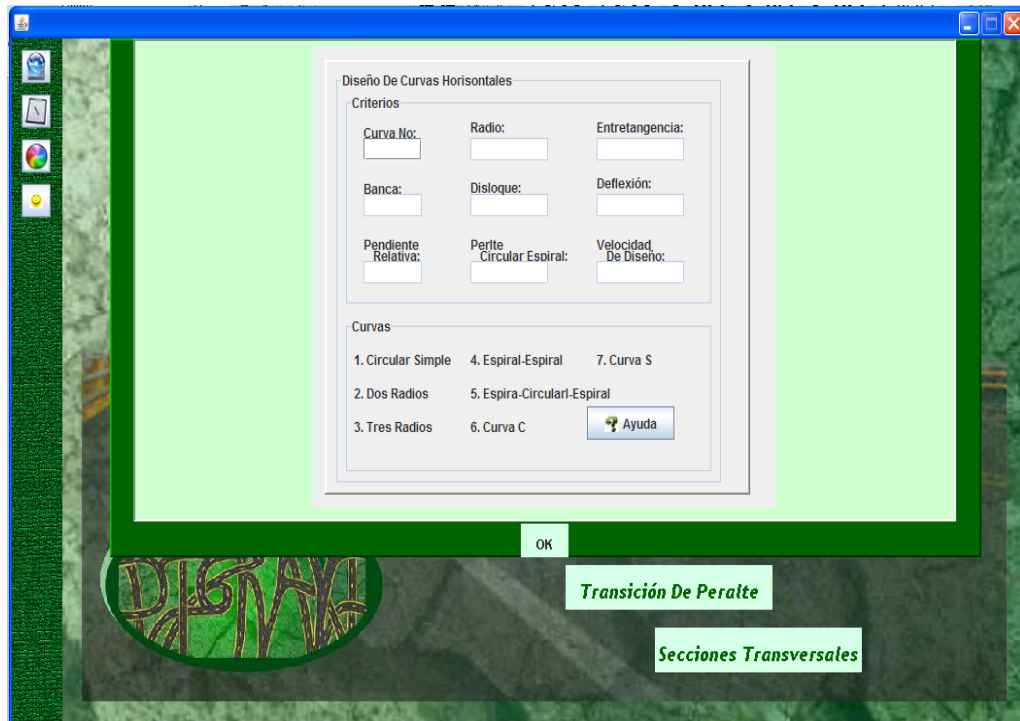


Figura 4-30. Pantalla de Diseño de Curvas Horizontales DigraVi fase I

En esta ventana del programa se tienen dos recuadros, uno superior llamado Criterios y uno inferior denominado Curvas, el primero habilitado para introducir datos en algunos espacios (otros que aparecen por defecto de acuerdo a las especificaciones); mientras

que el segundo con vínculos para calcular los parámetros de acuerdo a la curva que deseo establecer para un tramo de mi proyecto.

- **Criterios:**

- ❖ **Curva No:** Lugar destinado para colocar el nombramiento de las curvas de cada proyecto a diseñar.
- ❖ **Radio:** Espacio destinado para colocar el radio de la curva a diseñar.
- ❖ **Entretangencia:** Proyecta el valor de la entretangencia entre el final de una curva y el punto de intersección (PI) siguiente, siendo esta la magnitud del espacio disponible entre curvas. Si apenas se comienza el proyecto esta será el inicio del proyecto y el inicio de la primera curva.
- ❖ **Banca:** Visualiza el valor de banca definido en las especificaciones anteriormente.
- ❖ **Disloque:** Calcula el valor del mismo con los datos suministrados de banca, peralte y pendiente relativa de la curva seleccionada.
- ❖ **Deflexión:** Toma el valor del ángulo entre los alineamientos que forman parte de la curva a diseñar.

- ❖ **Pendiente relativa:** Se toma de acuerdo a la tabla del Manual de Diseño Geométrico 2008, suministrada anteriormente en la parte de Especificaciones.
 - ❖ **Peralte Circular Espiral:** Imprime el dato de peralte establecido en las Especificaciones.
 - ❖ **Velocidad de Diseño:** Toma el valor de la velocidad asignado desde las Especificaciones. De igual manera, si las condiciones se dan para cambiarla en algún tramo del proyecto, esta se puede cambiar desde este recuadro para estos segmentos.
- **Curvas:**
 - ❖ **Circular Simple:** Al picar allí aparece la ventana para su diseño en este tipo si ese es el pensamiento del usuario, la cual se muestra de la siguiente manera:

Curva Circular Simple

Datos de Entrada

PI N: 1

DEFLEXIÓN: 41°4'28°

ABCISA: K0+193.021

CUERDA: 10

PARAMETRO: 98

Calculo Inicial

GRADO

RADIO

TANGENTE

EXTERNA

LONGITUD

CALCULE

GRAFIQUE

AYUDA

ELEMENTOS

OK

CANCELAR

Figura 4-31. Pantalla de Diseño de Curva Circular Simple DigraVI fase I

Como vemos los datos a introducir son: el punto de intersección (PI), la abscisa del mismo, el ángulo de deflexión (Δ) de la curva, la cuerda y la velocidad a tener en cuenta durante este tramo del proyecto.

Para calcular los elementos se pasa al recuadro de Calculo Inicial, definiendo en el mediante un click en uno de los parametros: Grado, Longitud, Radio, Tangente o Externa, escribiendo su valor en el espacio dejado para ello en la casilla inferior.

Posterior a ello se oprime CALCULE para operar internamente el resto de elementos, GRAFIQUE para mostrar la curva dentro del trazado del proyecto, TABLA ELEMENTO para ver los resultados de los Elementos, AYUDA para mirar como funciona esta parte del programa, OK para continuar y CANCELAR para borrar los resultados y volver a diseñar.

❖ **Dos Radios:** Si escogemos esta opción se reproducirá sobre la pantalla de l usuario la siguiente ventana:

Figura 4-32. Pantalla de Diseño de Curva de dos radios Digravi fase I

Tenemos allí entonces 6 recuadros, de los cuales tres son para introducir datos, los cuales se describen a continuación:

- ❖ **ELEMENTOS DE ENTRADA:** Espacio destinado para que el usuario ingrese los datos de: el número de curva en el proyecto, la abscisa del Pi de la curva, la deflexión de la misma, la distancia (D) y la velocidad del proyecto para esta parte.

- ❖ **CALCULO INICIAL C1 Y C2:** Allí, al igual que en la ventana de curva circular simple se sombrea un parámetro y se introduce el valor en el recuadro inferior para calcular el resto de elementos.

Los otros son para reproducir resultados de elementos tanto de la curva 1, como de la curva 2 y de la curva en general (distancia X, distancia y, tangente al punto de comienzo (PC), tangente al punto de terminación 1 (PT), Abscisa al punto de comienzo (PC), Abscisa al punto de intersección entre curvas (PCC) y Abscisa punto de terminación 2 (PT)). Todos ellos se imprimen al oprimir la tecla CALCULE.

Si deseo ayuda para el manejo de la ventana doy click sobre el vínculo derecho alusivo para ello. En GRAFIQUE se reproduce la imagen de la curva sobre el proyecto, la TABLA ELEMENTOS reproduce el resumen de datos de la curva y sus respectivas abscisas tipo cartera.

Finalmente si se esta de acuerdo con lo diseñado se selecciona ACEPTAR o en su defecto CANCELAR.

- ❖ **Tres Radios:** La ventana para este tipo de curva reproduce un recuadro similar al anterior, ya que para facilitar los cálculos la primer y ultima curva tienen los mismos datos. En la impresión de resultados se deja a un lado el recuadro de distancias, ya que no se requieren y simplemente se reproducen los valores de las abscisas y tangentes.

- ❖ **Espiral-Circular-Espiral:** Para esta curva encontramos la siguiente ventana:

The screenshot shows a software window for curve design. It is organized into three main panels. The top-left panel, titled 'Datos Entrada', contains seven input fields: 'No de Curva', 'Abscisa PI', 'DELTA', 'RADIO', 'CUERDA', 'PERALTE', and 'PEND RELATIVA'. The top-right panel, titled 'Anexo', contains three input fields: 'VELOCIDAD', 'BANCA', and 'BOMBEO'. The bottom-left panel, titled 'Longitud Espiral', contains five input fields: 'SMIRNOFF', 'BARNETT', 'LS', 'DISLOQUE', and 'LE MAX'. A central column of buttons includes 'CALCULO', 'AYUDA', 'TABLA ELEMENTO', 'GRAFICAR', 'OK', and 'CANCELAR'. At the bottom left, there are 'AYUDA' and 'CALCULAR' buttons.

Figura 4-33. Pantalla de Diseño de Curva Espiral-Circular-Espiral DigraVI fase I

Contamos entonces con tres recuadros los cuales son Datos de Entrada, como el número de curva, la abscisa del punto de intersección (PI), la cuerda, el radio, el peralte y la pendiente relativa. El siguiente recuadro que se denomina Anexo también permite ingresar datos como la velocidad, la banca y el bombeo. Finalmente el recuadro de longitud espiral, muestra al dar click en calcular los datos más representativos de los elementos de la curva como son el

disloque y la propia longitud después de revisar las tres opciones de la misma, de donde se escoge la máxima.

Para mayor ayuda de cada método, podemos revisar en el cuadro de ayudas las pautas dadas por el Manual de Diseño Geométrico de carreteras de 2008 de INVIAS, las cuales se resumen a continuación y son de revisión del usuario, así como la homologación de los métodos, con los respectivos autores.

Criterio I. Variación uniforme de la aceleración centrífuga (J), no compensada por el peralte; su valor se determina mediante la siguiente relación:

$$A_{\min} = \sqrt{\frac{V_{CH} * R_C}{46.656 * J} * \left[\frac{V_{CH}^2}{R_C} - 0.27 * e \right]}$$

V _{CH} (kph)	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130
J(m/s ³)	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,6	0,6	0,5	0,5	0,4	0,4

Criterio II. Limitación por transición del peralte, en la determinación de los valores del parámetro mínimo. Se tendrá en cuenta la inclinación máxima permitida de la rampa de peraltes (Δs), ver Tabla 2.17 de este libro. Así mismo, la distancia del eje de giro al borde de calzada (a), la cual toma valores de tres metros (3.0 m), tres metros con treinta centímetros (3.30 m), tres metros con cincuenta centímetros (3.50 m) y tres metros con sesenta y cinco centímetros (3.65 m).

$$A_{\min} = \sqrt{R_C * \left[\frac{e * a}{\Delta s} \right]}$$

Criterio III. Condición de percepción y de estética, la longitud de la curva de transición ha de ser suficiente para que se perciba de forma clara el cambio de curvatura, orientando adecuadamente al conductor y creando alineamientos armoniosos. Para ello, es necesario que se cumplan los siguientes requisitos:

- **Criterio III.1.** Se asume el disloque mínimo de veinticinco centímetros (0.25 m).

$$A_{\min} = \sqrt[4]{6 * R_C^3}$$

- **Criterio III.2.** Ángulo de giro de la espiral mínimo de tres grados (3°)

$$A_{\min} = 0.3236 * R_C$$

Escogiéndose de ellos el mayor para llevar a la formula:

$$L = \frac{A^2}{R}$$

Después, se puede en CÁLCULO visualizar los demás elementos de la curva espiral-circular-espiral, en AYUDA se dan las pautas para el trabajo de esta ventana y TABLA ELEMENTOS, GRAFICAR OK Y CANCELAR funcionan de la misma manera que en las otras curvas horizontales, pero adaptadas a la Espiral-Circular-Espiral (E-C-E).

- ❖ **Espiral-Espiral:** Visualiza una ventana que contempla trabajar dos espirales, sin el segmento central curvo, la cual funciona de

manera similar a la explicada anteriormente. Se debe trabajar solo cuando el ángulo de deflexión (Δ) es menor que 20° .

Después de nombrar cada una de las curvas del proyecto y diseñarlas se guardan en el proyecto, se oprime OK y se pasa a la última etapa contemplada en esta Versión de DIGRAVI FASE I que es la Transición de Peralto.

4.5 TRANSICIÓN DE PERALTE

Al picar allí encontramos un recuadro inicial de la siguiente forma:

Figura 4-34. Pantalla de Transición de Peralte Digravi fase I

Cuenta con un recuadro que permite escoger la ubicación de la Curva Horizontal que se desee y el Método de transición de preferencia (alrededor del eje, girando el borde interior y girando el borde exterior). Así mismo, cuenta con el vínculo de AYUDA que describe el funcionamiento de la ventana y los de OK y CANCEL para aceptar lo realizado y continuar o cancelar la orden.

Después el programa reenvía al siguiente panel donde se diseña la transición mostrando el grafico con su respectiva tabla de elementos:

❖ Transición Borde Interno:

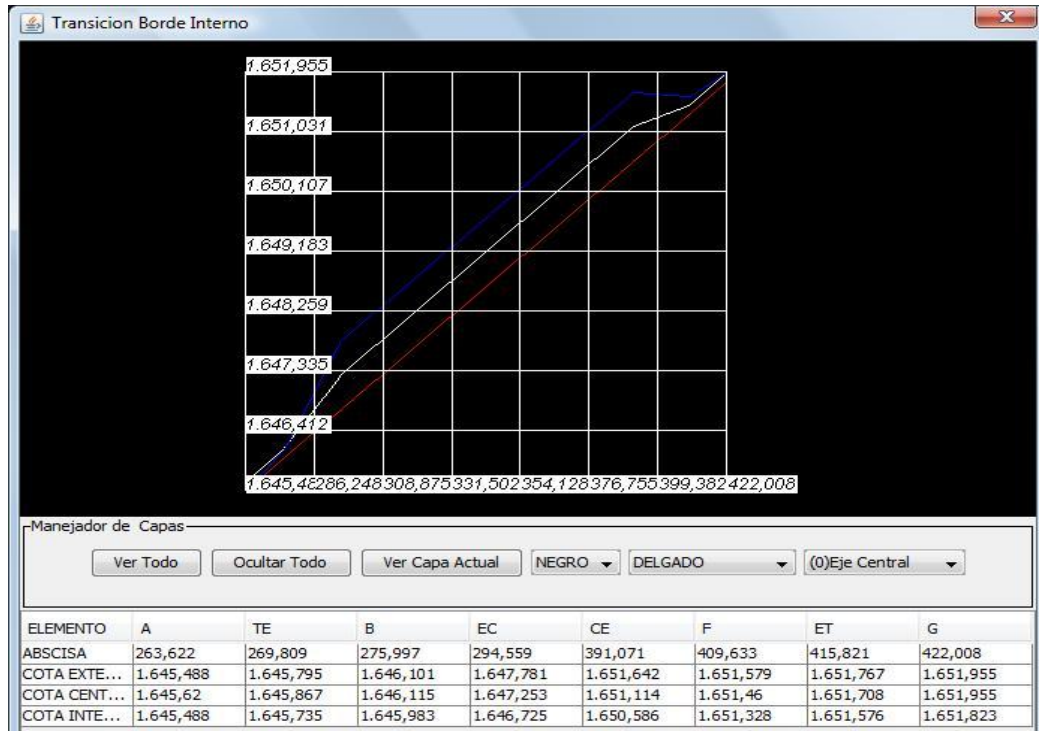


Figura 4-35. Pantalla de Transición de Peralte de Borde Interno Digraivi fase I

En la parte inferior se visualizan los datos de la transición con las respectivas cotas del eje y los bordes en cada abscisa. Con el manejador de capas se pueden visualizar de la manera que dese el usuario cada línea.

❖ Transición Borde Externo:

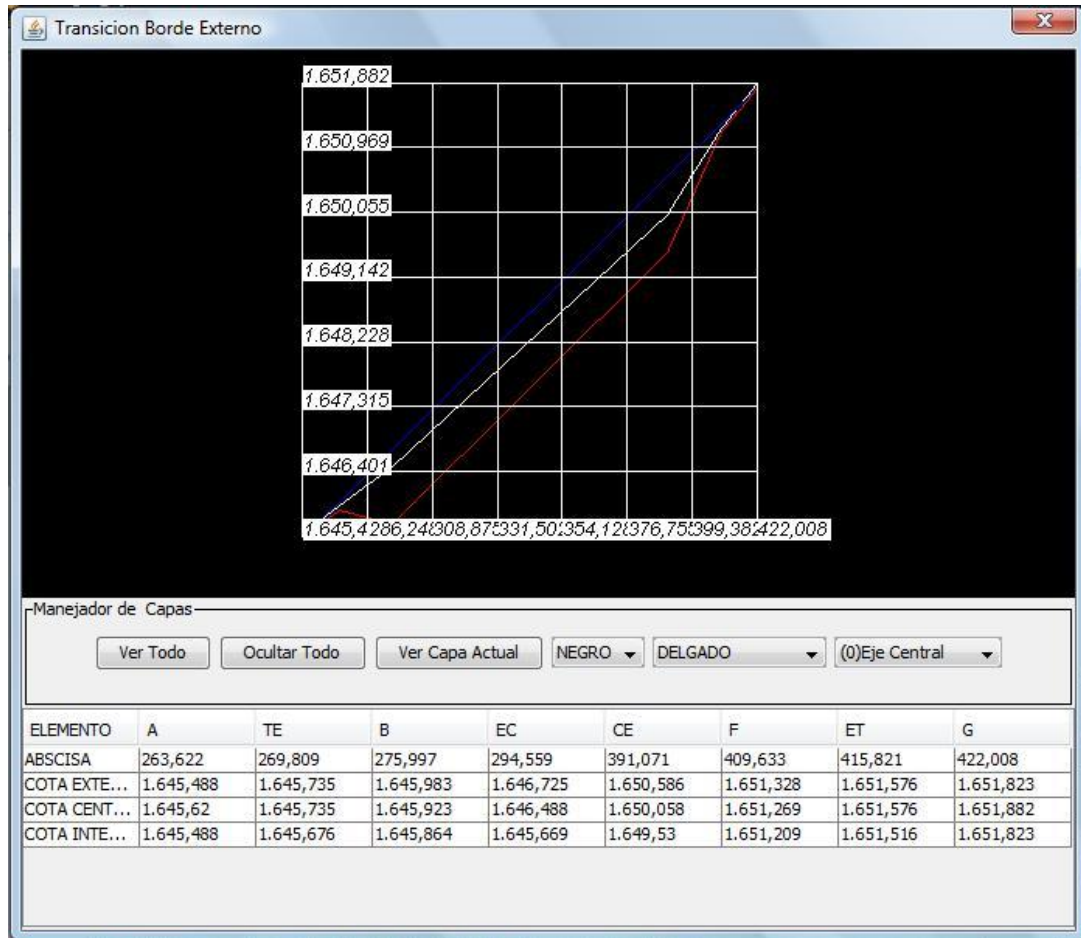


Figura 4-36. Pantalla de Transición de Peralte de Borde Externo Digraivi fase I

❖ Transición Eje:

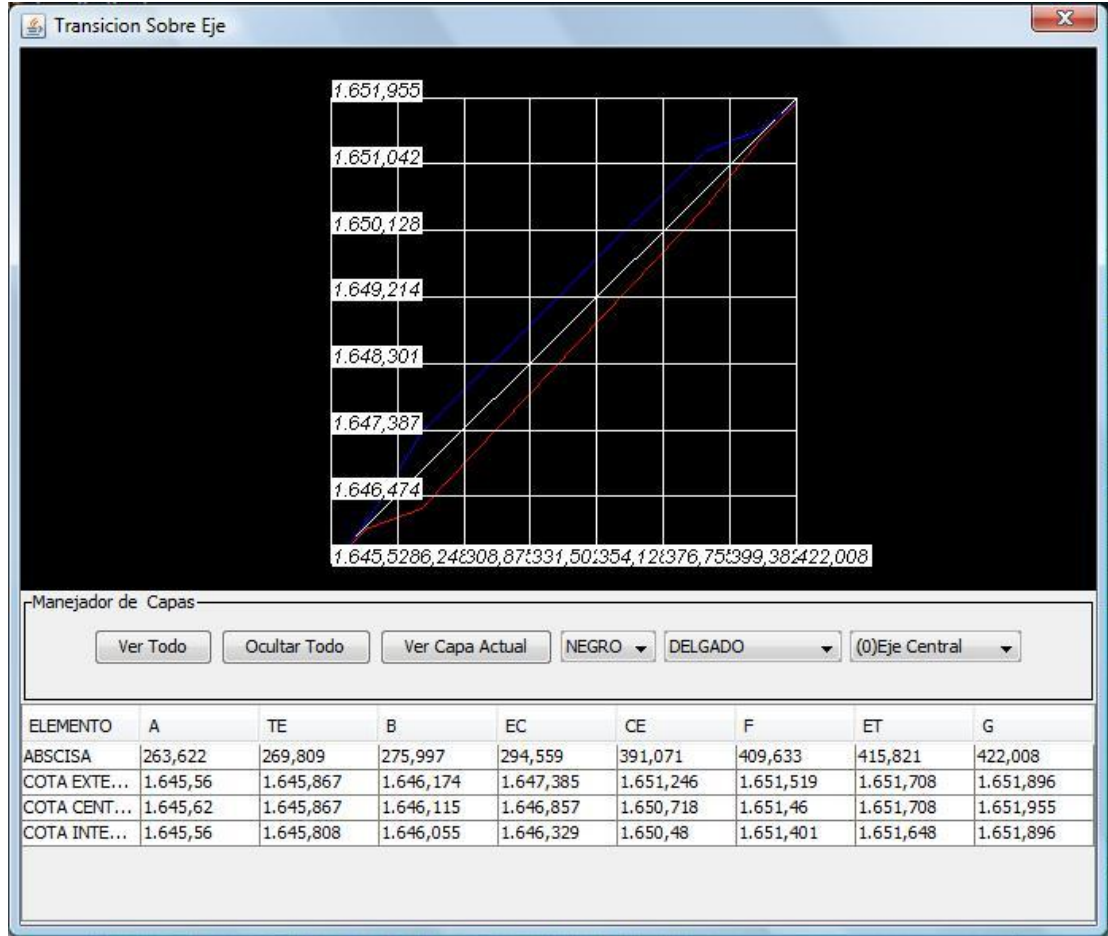


Figura 4-37. Pantalla de Transición de Peralte del Eje Digravi fase I

CONCLUSIONES

- DIGRAVI FASE 1, es la primera parte de un programa que logra interactuar los cálculos del diseño de una vía con la graficación del mismo, generando una herramienta de apoyo para la pedagogía del área vial de la Escuela de Ingeniería Civil.
- Esta fase presenta aproximaciones de generación de terrenos reales, a través de los métodos empleados en la asignatura de topografía, en el campo de los levantamientos, los cuales se denominan cotas redondas y distancias fijas, visualizándose un buen contorno de los mismos.
- Este programa permite ingresar datos de una manera cómoda para el usuario, consultar aspectos de normativa y de aplicación del programa dentro de iconos, proyectar gráficos de las etapas que se están ejecutando y mostrar resúmenes de datos del diseño con cuadros y carteras.
- Fue de vital importancia para el avance de esta fase leer, comprender y contextualizar el Manual de Diseño Geométrico de carreteras 2008, para así producir resultados ajustados a nuestra normativa nacional.
- La parte del diseño horizontal, tanto en el alineamiento, como en las curvas horizontales, se encuentra realizada para dar libertad de creación al usuario, siendo apoyado desde el programa por las ayudas del mismo y brindando así un espacio de interacción ante las dudas con el docente.

- La transición de peraltado que resuelve DIGRAVI FASE I, esta hecha para trabajar tanto en el eje, como en los hombros, dando a los usuarios la posibilidad de acomodar a su entendimiento la manera de dejarlo para su proyecto.
- DIGRAVI FASE I permite en su parte grafica trabajar con puntos, polilíneas, medir distancias, ángulos, dar estilos de capa y grosores.
- Esta herramienta busca no solo permitir la interacción del alumno con sus presaberes de diseño vial, sino que también le permite obtener alternativas minimizando tiempos de trabajo.
- El desarrollo interdisciplinario propuesto para este trabajo de grado, resulto grato, desde el punto de vista de aprender a darle valor a la complementación de puntos de vista e ideas, para el éxito de un proyecto real.
- Las nuevas tecnologías se encuentran a la vanguardia de nuestro mundo y como tal, debemos aprender a buscar en nuestro perfil profesional darle integración a las mismas, por ende con este proyecto buscamos darle un paso más a la Escuela de Ingeniería Civil en la aplicación de estas como herramientas de ayuda en la enseñanza.
- Este trabajo de grado termina siendo nuestro punto final de una fase de pregrado que nos permitió enfrentarnos a nuestros conceptos adquiridos en el área vial y entender de mayor proximidad la vida profesional.

- El programa en su parte grafica arroja un error mínimo, que se da por la acumulación en la exactitud de datos en cuanto a decimales y grados, sin embargo este es aceptable y permite, que aún así la ayuda de forma pedagógica no se pierda.

RECOMENDACIONES

- Para su ejecución DIGRAVI FASE I requiere tener instalado la maquina virtual del programa JAVA, la cual es gratuita y de fácil accesos y manejo para los usuarios.
- DIGRAVI FASE I permite en su fase de generación de terreno hacer enlaces con programas como EXCEL, para importar datos, así que se requiere que sea una versión actualizada del año 2003.
- Para el trabajo con decimales, no interesa como este configurado el teclado, ni la unidad de disco, porque igual el programa reconoce ambos como configuración valedera para hacer este tipo de separaciones, en el aspecto numérico.
- La idea de DIGRAVI FASE I es llegar a tener múltiples herramientas de graficación, así que como tal no requiere en estos momentos del apoyo del programa de AUTOCAD. Sin embargo, de requerirse en su momento, se tomara la decisión de implementarse la opción de relacionarse entre si.
- Queda para una próxima fase del programa: el diseño vertical, con su respectiva creación de perfil, generándose desde los datos ya obtenidos en planimetría y diseño de curvas verticales, la graficación de secciones transversales que permitan dar lectura a datos para el posterior cálculo de áreas y volúmenes, que por ultimo y quizás como fase final puedan optimizar los movimientos de tierra de un proyecto vial.

- Es importante que se sepa que el código fuente del proyecto queda abierto para consultas a quienes deseen darle un mejoramiento a este programa, con lo cual se ahorra tiempo de trabajo.
- Es importante que el usuario de DIGRAVI FASE I lea las ayudas y el manual expuesto dentro del programa para un buen funcionamiento de la herramienta, evitando así tener inconvenientes y pérdidas de tiempo a la hora de trabajar con el programa.

BIBLIOGRAFÍA.

- ❖ BRAVO Paulo Emilio. Diseño de carreteras técnica y análisis del proyecto. Sexta Edición, Bogotá, 1998.
- ❖ MINISTERIO DE TRANSPORTE E INSTITUTO NACIONAL DE VIAS. Manual de Diseño Geométrico de Carreteras, Bogotá, 1998.
- ❖ MINISTERIO DE TRANSPORTE E INSTITUTO NACIONAL DE VIAS. Manual de Diseño Geométrico de carreteras, Bogotá, 2008.
- ❖ NARANJO M., Cleber Enrique. Curvas de transición de carreteras. Manual Espirales Clotoides, Armenia 1992.
- ❖ SALAS RONDON, Miller Humberto. Diseño Geométrico de carreteras, Primera Edición, Bucaramanga, 2003.
- ❖ AGUDELO, John Jairo. Manual del Software de Diseño de vías, Universidad EAFIT, Primera Edición, Medellín, 2008.
- ❖ CASTELLANOS NIÑO, Víctor Manuel. Principios fundamentales del Diseño vial, Bucaramanga, 1991.
- ❖ CÁRDENAS GRISALES, James. Diseño Geométrico de Carreteras, Bogotá, 2003.

WEBGRAFÍA

- ❖ www.programacion.com/java, 2008.
- ❖ www.java.sun.com, 2009.
- ❖ www.monografias.com/trabajos/java, 2008.