

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

JUAN CARLOS MANTILLA ROSAS

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA 2010**

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

AUTOR:

JUAN CARLOS MANTILLA ROSAS

**Proyecto de grado presentado como requisito parcial para optar el título de
Ingeniero Civil**

DIRECTOR

**GERMÁN GARCÍA VERA
INGENIERO CIVIL**

CODIRECTORES

**JORGE HERNANDO GÓMEZ GÓMEZ
INGENIERO CIVIL**

**ALFONSO MENDOZA CASTELLANOS
INGENIERO DE SISTEMAS E INFORMÁTICA**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA 2010**

*A mis padres, Julio e Isolina
Por el esfuerzo en tener
A todos sus hijos profesionales.*

*A mis hermanos, Iván, Julio y Javier
Quiénes aportaron un granito de arena
Con su sabiduría en sus experiencias vividas.*

*A mi novia Andrea
Por su apoyo y entendimiento
En todo momento.*

*A la Asociación Nacional de Estudiantes de Ing. civil
En los dos años de Presidente
Que me sirvieron en mi formación personal.*

*A mi Universidad
Que me brindó todas las posibilidades
Para ser uno de los mejores ingenieros del país.*

*A mis amigos y profesores de Ing. civil
Quiénes me ayudaron y creyeron
En todos los proyectos en los cuales trabajé.*

JUAN CARLOS MANTILLA.

AGRADECIMIENTOS

ALFONSO MENDOZA CASTELLANOS

JORGE HERNANDO GÓMEZ GÓMEZ

GERMÁN GARCÍA VERA

ÁLVARO CASTELLANOS RIVERO

ALUMNOS DEL PROFESOR JORGE, GERMÁN Y ÁLVARO

LIZ MAYDOLLY BARRERA ARDILA

FREDDY ALBERTO APARICIO SÁNCHEZ

SERGIO ANDRÉS HERNÁNDEZ CÁCERES

DIEGO ARMANDO VILLAREAL DÍAZ

CONTENIDO

| | Pág. |
|--|-----------|
| INTRODUCCIÓN | 16 |
| 1. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO | 19 |
| 1.1 TÍTULO..... | 19 |
| 1.2 JUSTIFICACIÓN..... | 19 |
| 1.2.1 Descripción..... | 19 |
| 1.2.2 Impacto..... | 20 |
| 1.2.3 Viabilidad..... | 21 |
| 1.2.4 Alcances..... | 21 |
| 1.2.5 Limitaciones..... | 22 |
| 1.3 OBJETIVO GENERAL..... | 22 |
| 1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS..... | 22 |
| 2. MARCO TEÓRICO | 24 |
| 2.1 FACTIBILIDAD VIAL | 24 |
| 2.1.1 Fase I..... | 25 |
| 2.1.2 Fase II..... | 25 |
| 2.1.3 Fase III..... | 26 |
| 2.2 ALINEAMIENTO HORIZONTAL | 26 |
| 2.2.1 VELOCIDAD DE DISEÑO..... | 26 |
| 2.2.1.1 Velocidad de diseño del tramo homogéneo (VTR)..... | 27 |
| 2.2.1.2 Velocidad Específica..... | 27 |
| 2.2.1.2.1 Velocidad Específica de la curva horizontal (VCH)..... | 28 |
| 2.2.1.2.2 Velocidad Específica de la entretangencia horizontal (VETH)..... | 28 |
| 2.2.1.2.3 Velocidad Específica de la curva vertical (VCV)..... | 29 |
| 2.2.1.2.4 Velocidad Específica de la tangente vertical (VTV)..... | 29 |
| 2.2.2 VEHÍCULO DE DISEÑO..... | 29 |
| 2.2.3 DISTANCIAS DE VISIBILIDAD..... | 29 |
| 2.2.3.1 Distancia de visibilidad de parada (DP)..... | 30 |
| 2.2.3.2 Distancia de visibilidad de adelantamiento (DA)..... | 31 |

| | |
|---|-----------|
| 2.3 DISEÑO EN PLANTA..... | 33 |
| 2.3.1 Curvas Horizontales..... | 33 |
| 2.3.1.1 Curva Circular Simple..... | 33 |
| 2.3.1.2 Curva Circular Compuesta..... | 35 |
| 2.3.1.2.1 Curva de Dos Radios..... | 35 |
| 2.3.1.2.2 Curva de Tres Radios..... | 37 |
| 2.3.1.3 Curvas Espiralizadas..... | 38 |
| 2.3.1.3.1 Curvas Espiral- Circulo- Espiral..... | 39 |
| 2.3.1.3.2 Curvas Espiral- Espiral..... | 41 |
| 2.3.2 Peraltes..... | 42 |
| 2.3.3 Fricción transversal..... | 43 |
| 2.3.4 Radio de curvatura (RC)..... | 43 |
| 2.3.5 Entretangencias..... | 47 |
| 2.4 TRANSICIÓN DE PERALTE..... | 51 |
| 2.4.1 Rampa de peralte (ΔS)..... | 51 |
| 2.4.2 Longitud de transición de peralte (L)..... | 53 |
| 2.4.2.1 Transición de peralte en curvas circulares..... | 53 |
| 2.4.2.2 Transición de peralte en curvas con espiral..... | 54 |
| 2.4.3 Métodos de realización de la transición de peralte..... | 55 |
| 2.5 DISEÑO DE PERFIL..... | 57 |
| 2.5.1 Tangente vertical..... | 57 |
| 2.5.1.1 Pendientes..... | 58 |
| 2.5.1.2 Longitud de la tangente vertical..... | 59 |
| 2.6 SECCIONES TRANSVERSALES..... | 60 |
| 2.6.1 Ancho de zona del corredor vial..... | 61 |
| 2.6.2 Corona..... | 62 |
| 2.6.3 Calzada..... | 62 |
| 2.6.4 Pendiente transversal..... | 63 |
| 2.6.5 Bermas..... | 64 |
| 2.6.6 Cunetas..... | 65 |
| 3. INGENIERÍA DE SOFTWARE..... | 66 |
| 3.1 ANÁLISIS Y SISTEMA..... | 66 |
| 3.2 REQUISITOS..... | 67 |

| | |
|---|------------|
| 3.3 DISEÑO..... | 67 |
| 3.4 IMPLEMENTACIÓN..... | 68 |
| 3.5 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA..... | 69 |
| 3.6 DESARROLLO DEL PROYECTO..... | 71 |
| 4. PRESENTACIÓN Y EJECUCIÓN DE SOFTWARE..... | 73 |
| 4.1 PRESENTACIÓN DE ENTRADA..... | 73 |
| 4.2 GENERACIÓN DE TERRENO..... | 76 |
| 4.2.1 CARTERA DE CAMPO..... | 76 |
| 4.2.1.1 IMPORTAR UN ARCHIVO..... | 76 |
| 4.2.1.2 GENERAR CARTERA DE CAMPO- EDITOR DEL PROGRAMA..... | 77 |
| 4.2.2 INTERPOLAR..... | 78 |
| 4.2.3 TIPO DE TERRENO..... | 83 |
| 4.3 ESPECIFICACIONES DEL PROYECTO..... | 83 |
| 4.4 DISEÑO EN PLANTA..... | 86 |
| 4.5 TRANSICIÓN DE PERALTE..... | 97 |
| CONCLUSIONES..... | 101 |
| RECOMENDACIONES..... | 103 |
| BIBLIOGRAFÍA..... | 104 |

LISTA DE TABLAS

| | Pág. |
|--|-------------|
| TABLA 2.1. Características del terreno..... | 25 |
| TABLA 2.2. Velocidades de diseño | 27 |
| TABLA 2.3. Velocidad específica de una curva horizontal (VCH) | 28 |
| TABLA 2.4. Distancias de visibilidad de parada en tramos a nivel..... | 30 |
| TABLA 2.5. Distancia de visibilidad de parada en tramos con pendiente..... | 31 |
| TABLA 2.6. Distancias de visibilidad de adelantamiento para carreteras de dos carriles dos sentidos (m)..... | 32 |
| TABLA 2.7. Oportunidades de adelantar por tramos de cinco kilómetros..... | 32 |
| TABLA 2.8. Visibilidad..... | 33 |
| TABLA 2.9. Cuerdas por radio..... | 34 |
| TABLA 2.10. Coeficiente fricción transversal máxima..... | 43 |
| TABLA 2.11. Radios mínimos para peralte 8% y fricción máxima..... | 44 |
| TABLA 2.12. Radios mínimos para peralte 6% y fricción máxima | 44 |
| TABLA 2.13. Radios (RC) según Velocidad Específica (VCH) y Peraltes (e) para emáx = 8%..... | 46 |
| TABLA 2.14. Radios (RC) según Velocidad Específica (VCH) y Peraltes (e) para emáx = 6%. | 47 |
| TABLA 2.15. Relación entre Radios de curvas horizontales consecutivas con entretangencia de longitud menor o igual a cuatrocientos metros (400 m)..... | 49 |
| TABLA 2.16. Radios para pequeñas deflexiones entre alineamientos rectos..... | 51 |
| TABLA 2.17. Pendientes relativas para transición de peralte..... | 52 |
| TABLA 2.18. Factor de ajuste para el número de carriles girados..... | 53 |
| TABLA 2.19. Pendiente media máxima según velocidad de diseño..... | 58 |
| TABLA 2.20. Pendientes máximas según velocidad específica tangente vertical VTV.... | 58 |
| TABLA 2.21. Longitud mínima de la tangente vertical..... | 59 |
| TABLA 2.22. Anchos de zona mínimos..... | 62 |
| TABLA 2.23. Anchos recomendados para calzada según VTR..... | 63 |
| TABLA 2.24. Bombeo por tipo de rodadura..... | 63 |

| | |
|---|----|
| TABLA 2.25. Anchos recomendados para bermas según VTR..... | 64 |
| TABLA 4.1. Variación de la Aceleración centrífuga (J)..... | 95 |

LISTA DE FIGURAS

| | Pág. |
|--|-------------|
| Figura 2-1. Curva circular simple..... | 34 |
| Figura 2-2. Curva compuesta de dos radios..... | 36 |
| Figura 2-3. Curva compuesta de tres radios..... | 37 |
| Figura 2-4. Curva espiral-circulo-espiral..... | 39 |
| Figura 2-5. Curva espiral-espiral..... | 42 |
| Figura 2-6. Transición en curva circular..... | 54 |
| Figura 2-7. Transición en curva espiral..... | 54 |
| Figura 2-8. Calzada girada alrededor del eje..... | 55 |
| Figura 2-9. Calzada girada alrededor del borde interno..... | 56 |
| Figura 2-10. Calzada girada alrededor del borde externo..... | 56 |
| Figura 2-11. Efectos de las pendientes en los vehículos con relación Peso / Potencia de 150 Kg/HP..... | 60 |
| Figura 2-12. Efectos de las pendientes en los vehículos con relación Peso / Potencia de 180 Kg/HP. | 60 |
| Figura 2-13. Sección transversal típica en vías Primarias y Secundarias..... | 61 |
| Figura 2-14. Sección transversal típica en vías terciarias. | 61 |
| Figura 4-1. Pantalla de Bienvenida Digravi Fase II..... | 73 |
| Figura 4-2. Pantalla de inicio Digravi Fase II..... | 74 |
| Figura 4-3. Icono Salvar Proyecto Digravi Fase II..... | 75 |
| Figura 4-4. Icono Ver Resumen Digravi Fase II..... | 75 |
| Figura 4-5. Icono Cargar Proyecto Digravi Fase II | 75 |
| Figura 4-6. Pantalla Generación del Terreno..... | 76 |
| Figura 4-7. Secuencia 1 Editor Interno Digravi Fase II..... | 77 |
| Figura 4-8. Secuencia 2 Editor Interno Digravi Fase II | 77 |
| Figura 4-9. Aviso de creación del eje de referencia Digravi Fase II | 78 |
| Figura 4-10. Pantalla Generación del Terreno datos de interpolación Digravi Fase II | 79 |
| Figura 4-11. Pantalla de Graficador de Terreno Digravi Fase II..... | 79 |
| Figura 4-12. Pantalla de Graficador de Terreno con aplicaciones Digravi Fase II..... | 80 |

| | |
|---|-----|
| Figura 4-13. Pantalla de Generación de Terreno con la cartera de cotas redondas Digravi Fase II..... | 81 |
| Figura 4-14. Ingreso de datos en la cartera de cotas redondas Digravi Fase II..... | 81 |
| Figura 4-15. Secuencia de ingreso de datos en la cartera de cotas redondas Digravi Fase II..... | 82 |
| Figura 4-16. Pantalla de Ayudas Digravi Fase II..... | 82 |
| Figura 4-17. Pantalla de Especificaciones del Proyecto Digravi Fase II..... | 85 |
| Figura 4-18. Aviso de aceptación de las Especificaciones Digravi Fase II..... | 85 |
| Figura 4-19. Submenú Diseño Horizontal Digravi Fase II..... | 86 |
| Figura 4-20. Opciones de Alineamiento Horizontal Digravi Fase II..... | 86 |
| Figura 4-21. Localización del punto inicial en el graficador Digravi Fase II..... | 87 |
| Figura 4-22. Confirmación del punto inicial y final Digravi Fase II | 88 |
| Figura 4-23. Indicador de pendiente media máxima en línea de ceros Digravi Fase II..... | 89 |
| Figura 4-24. Indicador pendiente mayor a media máxima en línea de ceros Digravi Fase II | 89 |
| Figura 4-25. Indicador falta de información para crear línea de ceros Digravi Fase II..... | 90 |
| Figura 4-26. Indicador de culminación de la línea de ceros proyecto Digravi Fase II..... | 90 |
| Figura 4-27. Confirmación para guardar la línea de ceros del proyecto Digravi Fase II.... | 91 |
| Figura 4-28. Trazado de la línea de proyecto Digravi Fase II..... | 91 |
| Figura 4-29. Culminación del Alineamiento Horizontal Digravi Fase II | 91 |
| Figura 4-30. Pantalla de Diseño de Curvas Horizontales Digravi Fase II..... | 92 |
| Figura 4-31. Pantalla de Diseño de Curva Circular Simple Digravi Fase II..... | 93 |
| Figura 4-32. Pantalla de Diseño de Curva de dos radios Digravi Fase II | 94 |
| Figura 4-33. Pantalla de Diseño de Curva Espiral-Circular-Espiral Digravi Fase II | 95 |
| Figura 4-34. Pantalla de Transición de Peralte Digravi Fase II..... | 97 |
| Figura 4-35. Pantalla de Transición de Peralte de Borde Interno Digravi Fase II..... | 98 |
| Figura 4-36. Pantalla de Transición de Peralte de Borde Externo Digravi Fase II..... | 99 |
| Figura 4-37. Pantalla de Transición de Peralte del Eje Digravi Fase II | 100 |

RESUMEN

TÍTULO: DISEÑO GEOMÉTRICO DE VÍAS ASISTIDO POR UNA HERRAMIENTA DE PROGRAMACIÓN: "DIGRAVI" (DISEÑADOR Y GRAFICADOR DE VÍAS)
FASE II¹

AUTOR: JUAN CARLOS MANTILLA ROSAS²

Palabras claves:

diseño geométrico de una vía, diseño asistido por computadora (CAD), normativas GEOM, diseño de curvas, transición de peralte, diseño vertical, secciones transversales, cálculo de áreas y de volúmenes, programa graficador, herramienta educacional.

DESCRIPCIÓN:

DIGRAVI Fase II (Diseño gráfico de Vías) es una herramienta de diseño asistido por computadora para el diseño geométrico de carreteras, elaborado como tesis de grado en la Universidad Industrial de Santander, DIGRAVI Fase II está inspirado en las metodologías de enseñanza de las áreas de topografía y vías de la escuela de Ingeniería Civil de la misma universidad y ha sido desarrollado por estudiantes de la escuela de Ingeniería de Sistemas y de Ingeniería Civil de la UIS.

La aplicación permite la digitalización de terrenos por medio de carteras topográficas, elaboradas siguiendo el método de distancias fijas y cota redonda, a partir de ellas puede generar un plano de curvas de nivel del terreno. También se pueden definir las especificaciones de la vía según las normativas GEOM (Manual de Diseño Geométrico de Carreteras del INVIAS) versión 2008 y realizar las fases de Alineamiento horizontal, diseño de curvas Horizontales y Transición de peralte.

Su punto de partida es la herramienta graficadora interna que permite generar el terreno, hacer opciones de trazado, ubicar sus curvas de tipo horizontal, realizar el diseño vertical y poder visualizar las secciones transversales. Por último calcular las áreas y los volúmenes generados a través del proyecto. Además el software se podrá ejecutar en modo independiente, sin tener que generar todo un proyecto. Esto con el fin de poder hacer consultas durante los temas estudiados.

¹ Proyecto de Grado

² Facultad Ingeniería Físico Mecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Director Germán García Vera
Codirectores Alfonso Mendoza Castellanos - Jorge Gómez Gómez

SUMMARY

TITLE: GEOMETRIC DESIGN OF WAY FOR A TOOL FOR PROGRAMMING: "DIGRAVI" (Design & ROUTE) VERSION II.¹

AUTHORS: JUAN CARLOS MANTILLA ROSAS²

KEYWORDS:

Geometric design of Routes, computer aided design (CAD), "Manual de Diseño Geométrico de Carreteras del INVIAS" GEOM, design curves, cannot transition, vertical design, cross sections, calculating areas and volumes, graphics, educational tool.

ABSTRACT:

DIGRAVI (Graphical Routes Design) is a computer-aided designer tool for road geometric design, elaborated as a thesis for the "Universidad Industrial de Santander" UIS. DIGRAVI is inspired in educational methodologies such as topography and routes, from the Civil Engineering's school at the same university, and has been developed by students of the Systems Engineering's school of UIS.

The application allows the digitalization of areas through topographic portfolios, which are elaborated following the fixed-distances method and round-Heights method. From these portfolios, the application generates a plane containing a set of contour lines for a specific area. The application allows the definition of a route according to the regulations of GEOM (Manual of Geometric Design of Roads of the INVIAS), version 2008, and the realization of the phases of horizontal Alignment, horizontal curve Design and banking Transition.

Its starting point is the graphical tool for generating internal field, to track options, track the curves of horizontal, vertical and make the design and display of cross sections. Finally calculate areas and volumes are generated through the project. In addition the software can run in standalone mode without having to generate an entire project. This is to be able to query for the subjects studied.

¹ Graduation Project

² Physical Mechanical Engineering Faculty. School of Civil Engineering. Director Germán García Vera
Codirectores Alfonso Mendoza Castellanos- Jorge Gómez Gómez

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 un área 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 alguna manera lo que se está haciendo y el porqué 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 grafica, 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.

ESPECIFICACIONES DEL PROYECTO

TITULO:

HERRAMIENTA SOFTWARE PARA EL DISEÑO ASISTIDO DE VÍAS

DIRECCIÓN:

DIRECTORES: Profesores Escuela Ingeniería Civil. GERMÁN GARCÍA VERA - JORGE GÓMEZ GÓMEZ

CODIRECTOR: Profesor Escuela Ingeniería de Sistemas. ALFONSO MENDOZA CASTELLANOS

AUTOR: JUAN CARLOS MANTILLA ROSAS

ENTIDADES INTERESADAS EN EL PROYECTO:

Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad Industrial de Santander

Escuela de Ingeniería de Sistemas e Informática de la Universidad Industrial de Santander

Grupo de Investigación GEOMATICA.

Grupo de Investigación en Ingeniería Biomédica (GIIB).

1. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

1.1 TÍTULO

Diseño Geométrico de vías asistido por una herramienta de programación: "DIGRAVI" (Diseñador y graficador de vías) - FASE II.

1.2 JUSTIFICACIÓN

1.2.1 Descripción

Dentro de la Escuela de Ingeniería Civil se está implementando el uso de software como soporte educacional de las asignaturas ofrecidas en el pensum académico, siendo así un apoyo vital para la formación del futuro profesional. Queriendo incursionar dentro del área vial y con el apoyo de estudiantes de Ingeniería de Sistemas, se presenta este plan de trabajo de grado con el propósito de:

1. Complementar la herramienta diseñadora y graficadora de vías "DIGRAVI" creando la versión "FASE II", que contempla un graficador que partiendo de una entrada de datos conocidos tomados en el terreno y de acuerdo con sus condiciones genere el alineamiento Vertical de un proyecto vial.
2. Adicionalmente, y a partir de diseños anteriores, genere las secciones transversales, determinando las áreas y volúmenes.

El software será reformado en su entorno GRAFICO, para que cuente con ayudas didácticas como iconos, imágenes y avisos normativos que guíen al usuario en su propio proceso de diseño y además le sean de apoyo para tomar la opción óptima entre las posibles.

La herramienta está soportada en principios fundamentales de diseño 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 estará limitado hasta el cálculo de la transición de peralte, dejando espacio para una fase posterior, realizar una aplicación que facilite el análisis del diseño vertical, las secciones transversales y el movimiento de tierras mediante la optimización de un diagrama de masas.

1.2.2 Impacto

DIGRAVI Fase II 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 II” 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 más 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

DIGRAVI Fase II 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, de dos y tres radios, espiral clotoide de tipo: espiral-circular-espiral (E-C-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, diseño horizontal, transición de peralte mediante gráficos y tablas de resumen.

1.2.5 Limitaciones

Por su parte DIGRAVI Fase II presenta como limitantes para este tipo de proyectos en su segunda versión lo siguiente:

- La franja de terreno para las alternativas está 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.
- No existe una aplicación que facilite el análisis del movimiento de tierras mediante la optimización de un diagrama de masas

1.3 OBJETIVO GENERAL

Implementar una herramienta de diseño de carreteras con su propio software de graficación, en todas sus fases de diseño (topografía de terreno, planimetría, 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

- Proponer los diseños de acuerdo con el tipo de carretera que se desee elaborar con la ayuda de la herramienta.
- Aplicar los conocimientos aprendidos en las asignaturas afines al campo de proyecto.

- Colaborar en la metodología aplicada a las asignaturas relacionadas con el área vial, partiendo de conceptos teóricos básicos.
- Documentar los procesos del diseño vial.
- Generar documentos con las especificaciones de requisitos.
- Integrar a la interfaz de usuario ayudas, tanto de uso de la aplicación así como información concerniente al diseño vial.
- Desarrollar la aplicación, de tal forma que permita su uso en distintos sistemas operativos.
- Asistir la generación de terreno, especificaciones de planta y peralte, diseño horizontal.
- Diseñar y realizar talleres de socialización de la aplicación con los estudiantes de las asignaturas topografía y diseño vial.

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 civil, 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 el cual adaptamos a nuestro programa “DIGRAVI Fase II”.

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 al Manual de Diseño Geométrico de Carreteras 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° |

Tomado de 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, 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 más profundo de todo el conjunto de diseño de la carretera. Aquí se desarrollan procesos más técnicos tales como levantamientos de precisión topográfica de las alternativas contempladas, con lo que posteriormente se presentan las poligonales mediante cálculos de 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, el horizontal y el vertical. 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 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 en el diseño 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

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 (KM/H) | | | | | | | | | | | |
|--|-----------------|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|-----|
| 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 (VTR) 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 (VCH) y de estas se coloquen las de entretangencias horizontales (VETH). Mientras tanto para el diseño de perfil el orden a seguir es de analizar las velocidades de las curvas horizontales (VCH) o entretangencias horizontales (VETH) y dar el valor de la velocidad específica a las curvas verticales (VCV), y para generar el de las entretangencias verticales (VTV), partir de las entretangencias horizontales (VETH).

2.2.1.2.1 Velocidad Específica de la curva horizontal (VCH)

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:

| VELOCIDAD ESPECÍFICA DE LA CURVA HORIZONTAL ANTERIOR V _{CH} | VELOCIDAD DE DISEÑO DEL TRAMO (V _{TR}) ≤ 50KPH | | | | | VELOCIDAD DE DISEÑO DEL TRAMO (V _{TR}) > 50KPH | | | | |
|--|--|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|--|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| | LONGITUD DEL SEGMENTO RECTO ANTERIOR (m) | | | | | LONGITUD DEL SEGMENTO RECTO ANTERIOR (m) | | | | |
| | L ≤ 70 | 70 < L ≤ 250 | | 250 < L ≤ 400 | L > 400 | L ≤ 150 | 150 < L ≤ 400 | | 400 < L ≤ 600 | L > 600 |
| | | Δ < 45° | Δ ≥ 45° | | | | Δ < 45° | Δ ≥ 45° | | |
| CASO | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 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 |

Tomado de Manual de Diseño Geométrico de Carreteras 2008

2.2.1.2.2 Velocidad Específica de la entretangencia horizontal (VETH)

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 (VA).

2.2.1.2.3 Velocidad Específica de la curva vertical (VCV)

Sirve para elegir la longitud de la curva vertical, bien sea cóncava o convexa, sirviendo también para verificar la distancia de visibilidad de parada (VP). El valor que toma está ligado a sí está 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 (VTV)

Asume el mismo valor de la velocidad específica de la entretangencia horizontal (VETH), 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 sobreancho, 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, porque la última es más de uso urbano.

2.2.3.1 Distancia de visibilidad de parada (DP)

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 (KM/H) | DISTANCIA PERCEPCIÓN-REACCIÓN(m) | DISTANCIA DURANTE EL FRENADO A NIVEL (m) | DISTANCIA VISIBILIDAD CALCULADA (m) | DISTANCIA VISIBILIDAD REDONDEADA (m) |
| 20 | 13.9 | 4.6 | 18.5 | 20 |
| 30 | 20.90 | 10.300 | 31.20 | 35 |
| 40 | 27.80 | 18.400 | 46.20 | 50 |
| 50 | 34.80 | 28.700 | 63.50 | 65 |
| 60 | 41.70 | 41.300 | 83.00 | 85 |
| 70 | 48.70 | 56.200 | 104.90 | 105 |
| 80 | 55.60 | 73.400 | 129.00 | 130 |
| 90 | 62.60 | 92.900 | 155.50 | 160 |
| 100 | 69.50 | 114.700 | 184.20 | 185 |
| 110 | 76.50 | 138.800 | 215.30 | 220 |
| 120 | 83.40 | 165.200 | 248.60 | 250 |
| 130 | 90.40 | 193.800 | 284.20 | 285 |

Tomado de Manual de Diseño Geométrico de Carreteras 2008

| Tabla 2.5 DISTANCIA DE VISIBILIDAD DE PARADA DE TRAMOS CON PENDIENTE | | | | | | |
|--|--|-----|-----|---------|-----|-----|
| VELOCIDAD ESPECÍFICA Ve (KM/H) | 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 (DA) 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} (KM/H) | VELOCIDAD VEHÍCULO ADELANTADO(KM/H) | VELOCIDAD DEL VEHÍCULO QUE ADELANTA (KM/H) | MÍNIMA DISTANCIA DE VISIBILIDAD DE | |
| | | | 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 (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, 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 está compuesta por un arco circular de radio único, lo que hace que sea constante e inversamente proporcional a este último. Es la más sencilla de diseñar y que se genera a gusto del diseñador, buscando comodidad, seguridad y economía. Los elementos de la curva circular están descritos en la siguiente grafica:

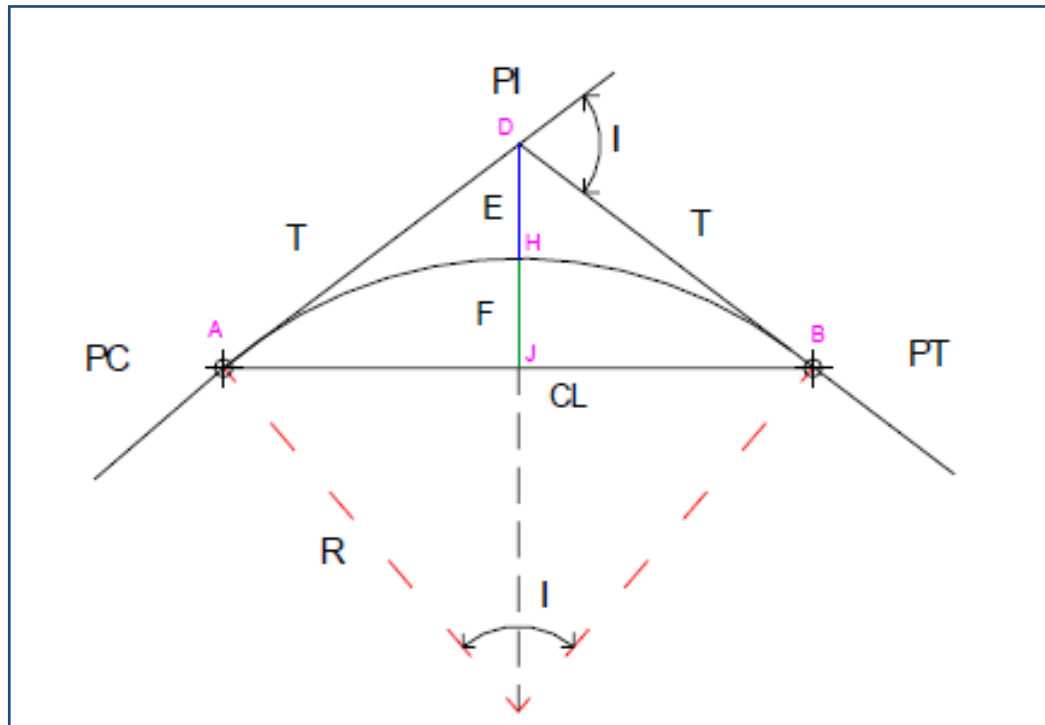


Figura 2-1. Elementos de empalme circular simple. Tomado de Manual de Diseño Geométrico de Carreteras 2008

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.

I: 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.

CL: Cuerda Larga,

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 |

Tomado del libro 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:

$$PC = PI - T$$

$$PT = PC + Lc$$

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 Curva de 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.

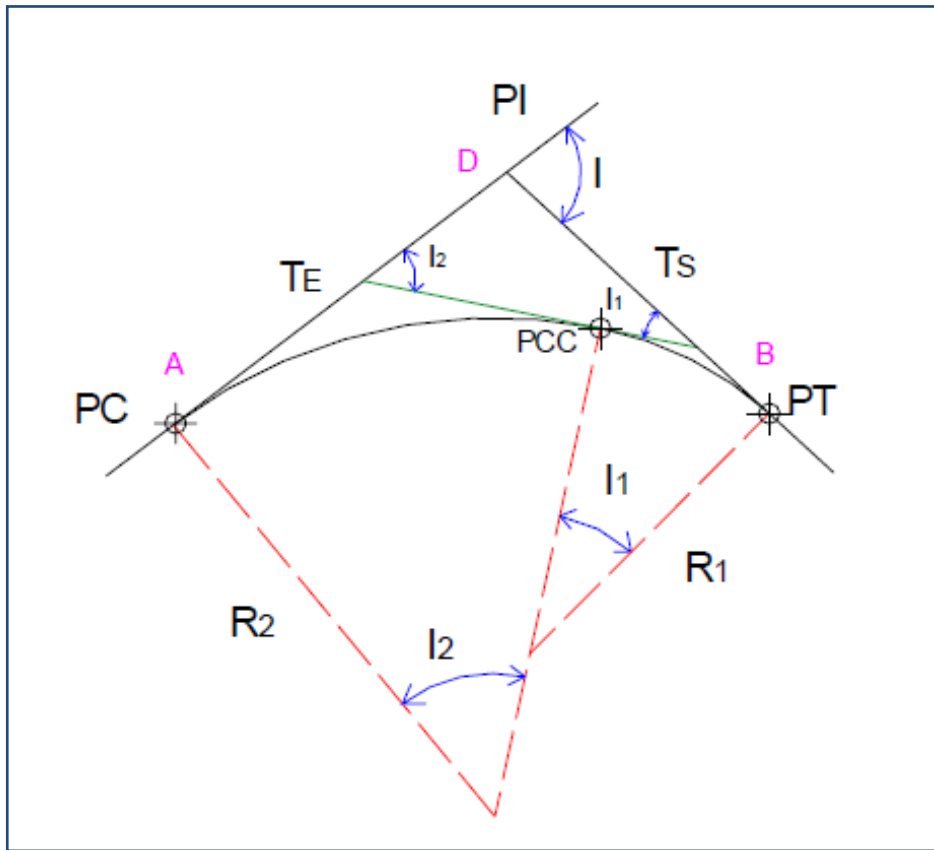


Figura 2-2. Elementos de empalme circular compuesto de dos radios.

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

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

I: Ángulo de deflexión en el PI, dado en grados o radianes. ($I = I_1 + I_2$)

I₁: Ángulo de deflexión curva inicial, dado en grados o radianes.

I₂: Ángulo de deflexión curva final, dado en grados o radianes.

R₁: Radio de curvatura inicial, originada en metros.

R₂: Radio de curvatura final, originada en metros.

Otros parámetros que no están en la grafica:

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:

$$PC = PI - T_1$$

$$PCC = PC + LC_1$$

$$PT = PCC + LC_2$$

2.3.1.2.2 Curva de Tres Radios

Las curva con más 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:

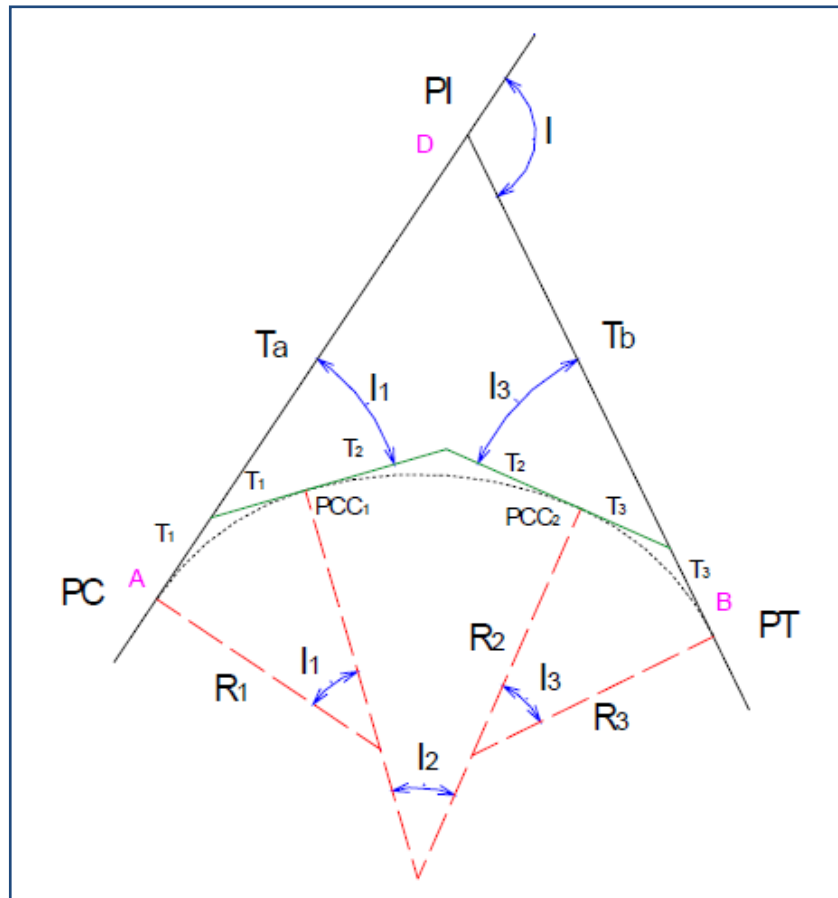


Figura 2-3. Elementos de empalme circular compuesto de tres radios.

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.

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

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

I: Ángulo de deflexión en el PI, dado en grados o radianes. ($I = I_1 + I_2 + I_3$)

I1: Ángulo de deflexión curva inicial, dado en grados o radianes.

I2: Ángulo de deflexión curva intermedia, dado en grados o radianes.

I3: Ángulo de deflexión curva final, dado en grados o radianes

R1: Radio de curvatura inicial, originada en metros.

R2: Radio de curvatura intermedio, originada en metros.

R3: Radio de curvatura intermedio, originada en metros.

El abscisado de los puntos principales se da como:

$$PC = PI - T_1$$

$$PCC1 = PC + LC1$$

$$PCC2 = PCC1 + LC2$$

$$PT = PCC2 + LC3$$

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

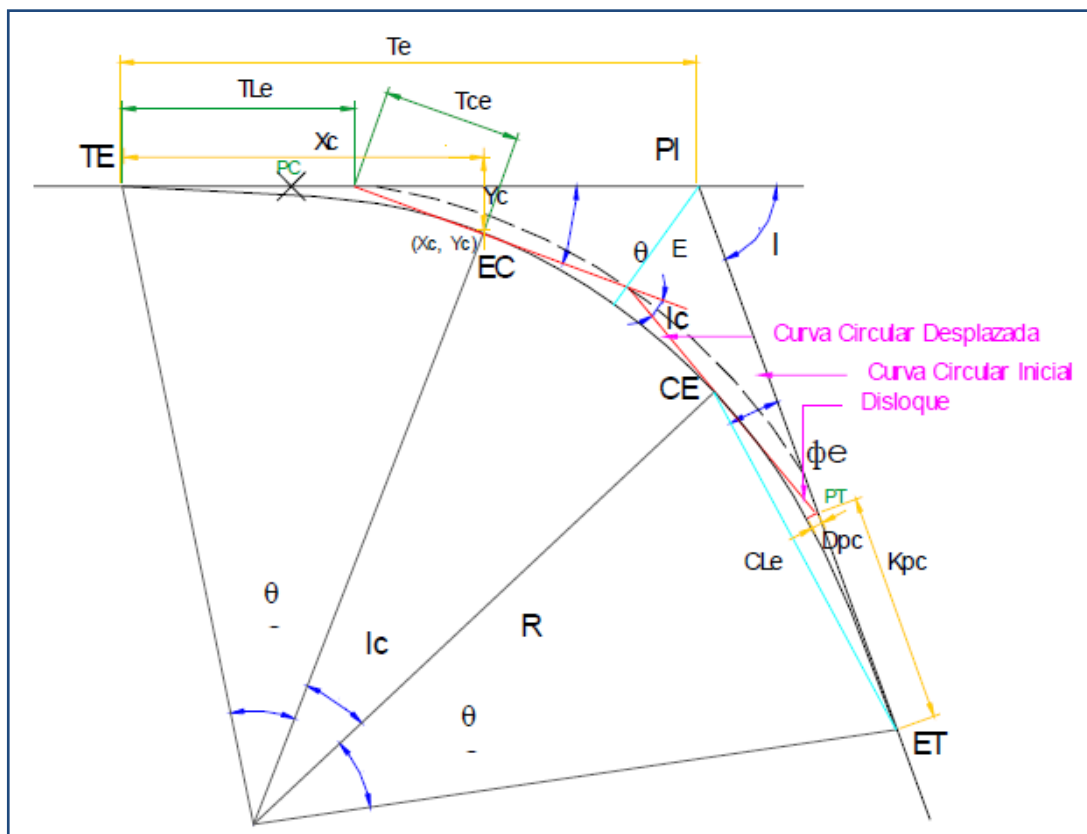


Figura 2-4. Elementos del empalme espiral – círculo - espiral (simétrico). Tomado de de Manual de Diseño Geométrico de carreteras 2008

Constituida por la curva que une dos líneas rectas, con un ángulo de deflexión (I), a través de dos segmentos de espiral clotoide y uno más 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.

RC: 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.

θ' : 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 RC.

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

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

CLe : Cuerda larga de la espiral total desde el origen hasta el EC.

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

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

Te: Tangente de la espiral.

E: Externa de la espiral.

El abscisado para este tipo de curva es:

$$TE = PI - Te$$

$$EC = TE + Le$$

$$CE = EC + LC$$

$$ET = CE + Le$$

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: $\Delta = 2\theta_e$ para simétricas, y $\Delta = \theta_{e1} + \theta_{e2}$ para asimétricas.

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

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:

| VELOCIDAD ESPECÍFICA V_{CH} | 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 (RC)

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 última opción para el proyecto en un tramo circular. La ecuación que rige esta relación de radios es la siguiente:

$$R_c \min = \frac{V_e^2}{127(e_{\max} + f_{T \max})}$$

En las siguientes tablas tomadas del Diseño Geométrico Colombiano de 2008, se dan de acuerdo a la 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 Ve (KM/H) | PERALTE RECOMENDADO e _{max} | COEFICIENTE FRICCIÓN TRANSVERSAL (Ft _{max}) | 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 e _{max} | COEFICIENTE FRICCIÓN TRANSVERSAL (Ft _{max}) | 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.

Las siguientes 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:

| Tabla 2.13 Radios (RC [R (m)]) según Velocidad Específica (VCH) y Peraltes (e) para emáx = 8%. | | | | | | | | | | |
|--|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| e (%) | VCH 40km/h (m) | VCH 50km/h (m) | VCH 60km/h (m) | VCH 70km/h (m) | VCH 80km/h (m) | VCH 90km/h (m) | VCH 100km/h (m) | VCH 110km/h (m) | VCH 120km/h (m) | VCH 130km/h (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)[R (m)] según Velocidad Específica (VCH)[km/h] y Peraltes (e) para e máx = 6%. | | | | | |
|---|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| e (%) | VCH 20km/h R(m) | VCH 30km/h R(m) | VCH 40km/h R(m) | VCH 50km/h R(m) | VCH 60km/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 Entre tangencias

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 | RADIO DE SALIDA (m) | | RADIO DE ENTRADA | 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 |

Tomado De Manual de Diseño Geométrico de Carreteras 2008

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

| | | | | | |
|-----|------|-----|------|-------|-----|
| 310 | | 190 | 510 | 859 | 338 |
| 320 | | 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 |
| 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 | | 453 |
| 480 | | 253 | 740 | | 462 |
| 490 | >670 | 256 | 760 | | 471 |
| 500 | | 259 | 780 | | 479 |
| 510 | | 262 | 800 | | 488 |
| 520 | | 265 | 820 | | 495 |
| 530 | | 267 | 840 | | 503 |
| 540 | | 270 | 860 | | 510 |
| 550 | | 273 | 880 | | 517 |
| 560 | | 275 | 900 | | 524 |
| 570 | | 278 | 920 | >1720 | 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 (ΔS)

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 (ef) el peralte máximo, (ei) 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, (ei) es igual al peralte de la curva inicial y (ef) el peralte de la curva siguiente; mientras para curvas espiralizadas o circulares simples (ei) es igual a cero (0%) y (ef) 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 PARA TRANSICIÓN DE PERALTE | | |
|--|------------------|------------------|
| 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.

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

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

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

Siendo en esta ecuación (bw) 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 |

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:

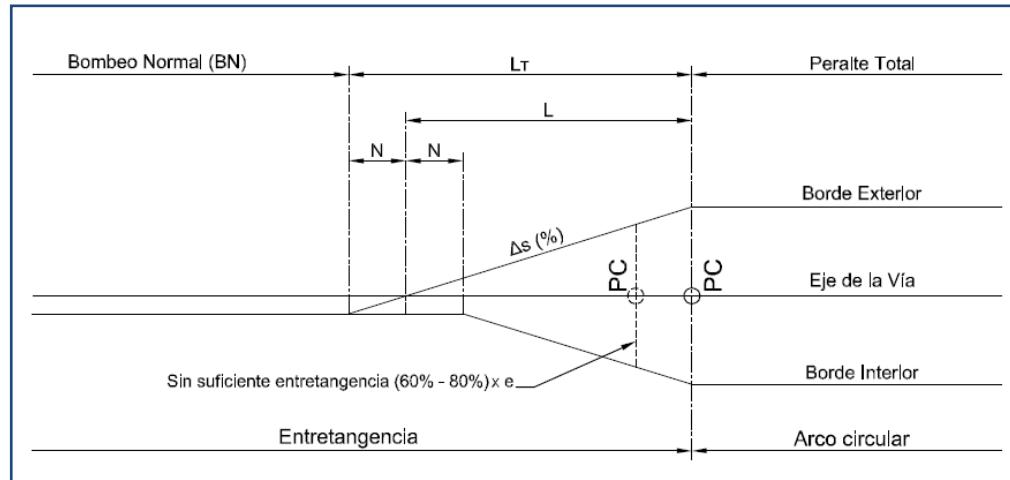


Figura 2-6. Diagrama de transición de peraltes para curvas circulares. Tomado de Manual de Diseño Geométrico de carreteras 2008

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 ($L_e = L + N$).

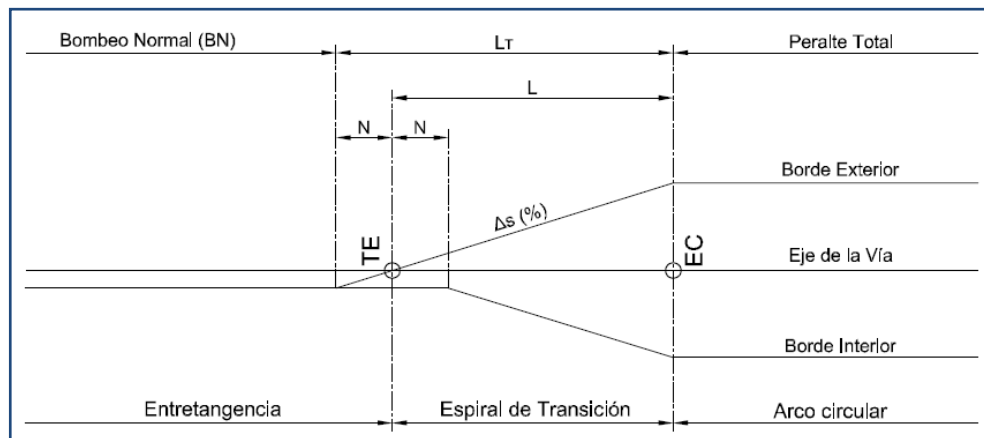


Figura 2-7. Diagrama de transición de peraltes para curva espiral. Tomado de Manual de Diseño Geométrico de carreteras 2008

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:

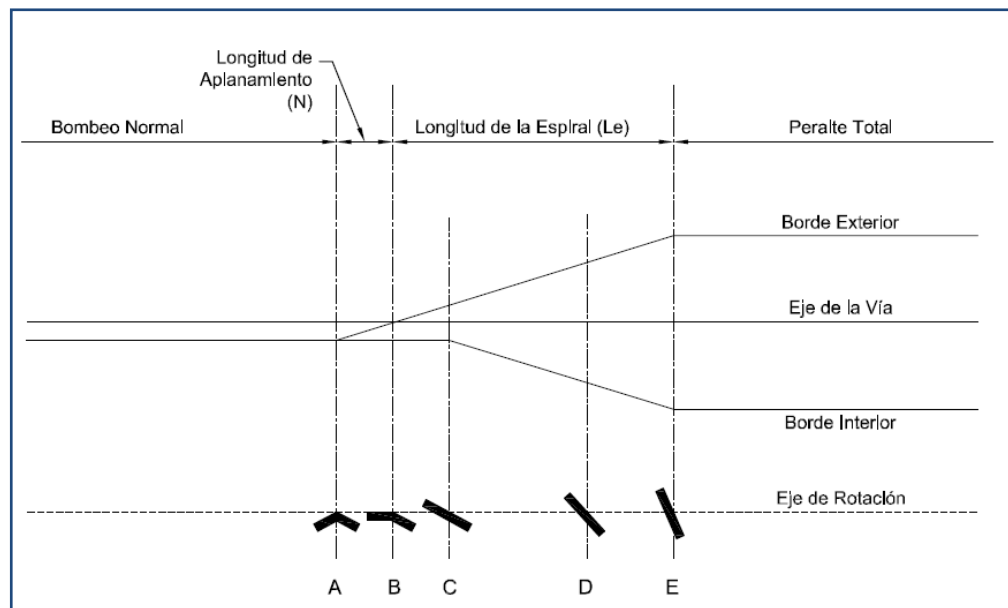


Figura 2-8. Calzada girada alrededor del eje. Tomado de Manual de Diseño Geométrico de carreteras 2008

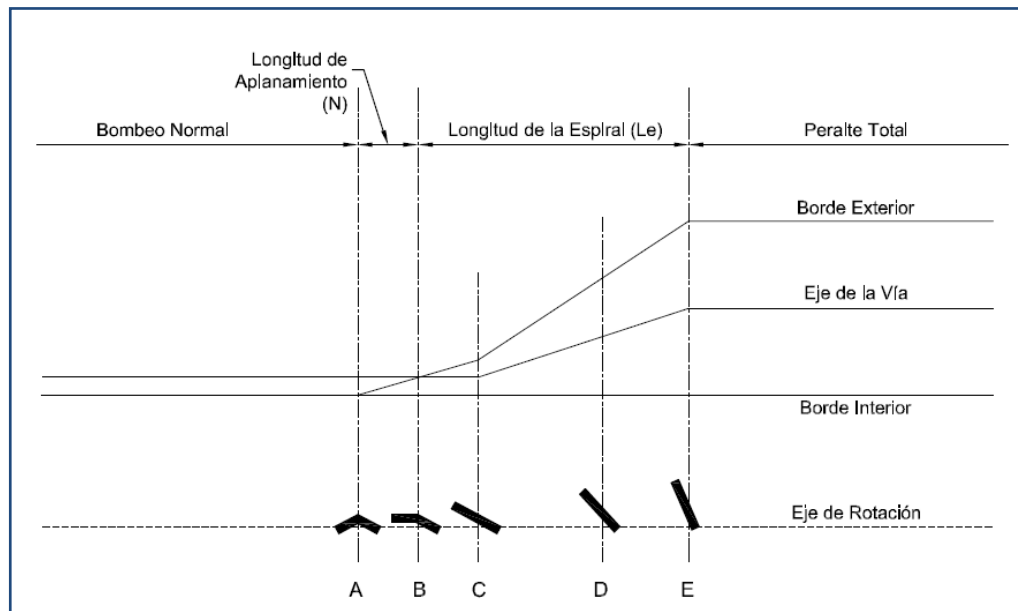


Figura 2-9. Calzada girada alrededor del borde interior. Tomado de Manual de Diseño Geométrico de carreteras 2008

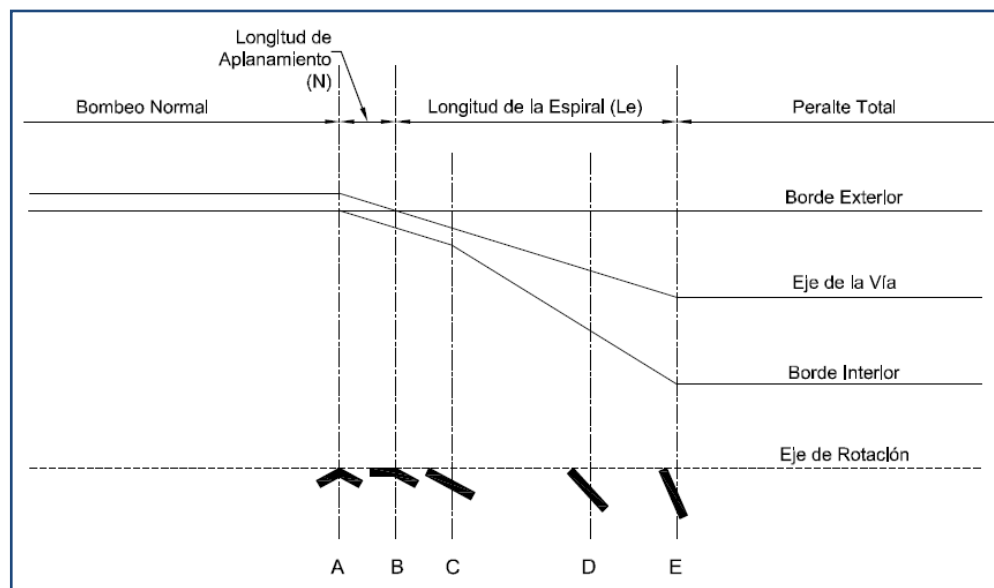


Figura 2-10. Calzada girada alrededor del borde exterior. Tomado de Manual de Diseño Geométrico de carreteras 2008

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 tangente 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.

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. Además debemos tener presente que la Velocidad se involucra con la pendiente y la longitud 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 MÁXIMA SEGÚN VELOCIDAD DE DISEÑO | | | | | | | | | | |
|--|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|-----|
| 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 | | | | | | 6 | 6 | 6 | 5 | 5 | 4 | 4 |
| PRINCIPAL DE UNA | | | | | 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} (KM/H) | 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:

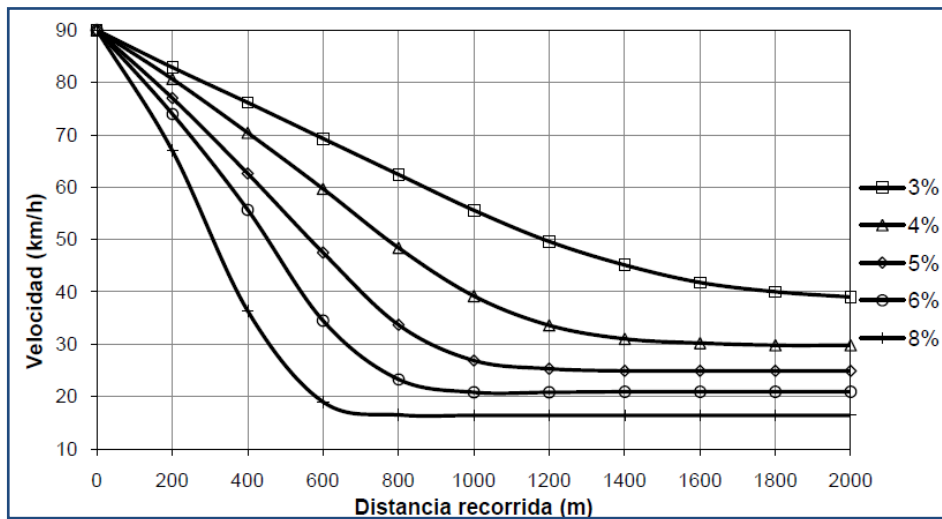


Figura 2-11. Efectos de las pendientes en los vehículos con relación Peso / Potencia de 150 Kg/HP. Tomado de Manual de Diseño Geométrico de carreteras 2008

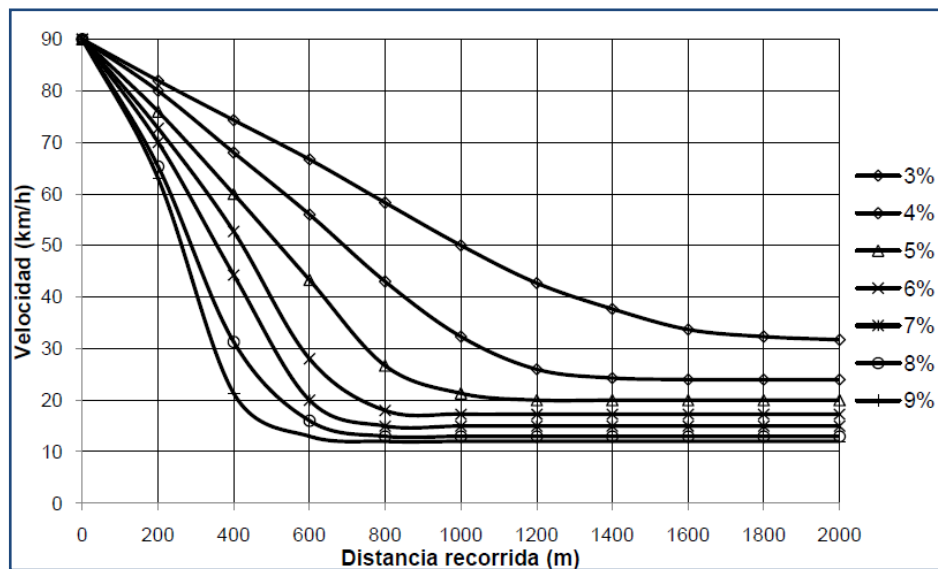


Figura 2-12. Efectos de las pendientes en los vehículos con relación Peso / Potencia de 180 Kg/HP. Tomado de Manual de Diseño Geométrico de carreteras 2008

2.6 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:

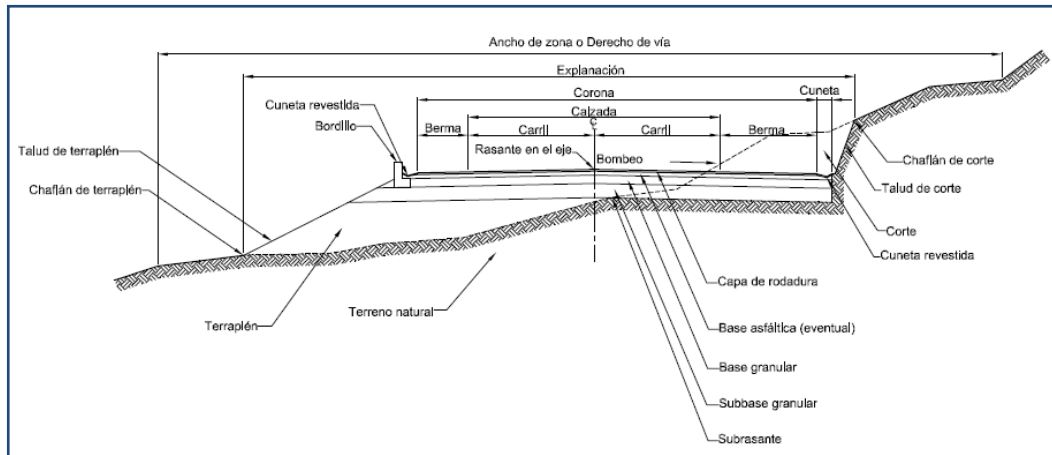


Figura 2-13. Sección transversal típica en vías Primarias y Secundarias. Tomado de Manual de Diseño Geométrico de carreteras 2008

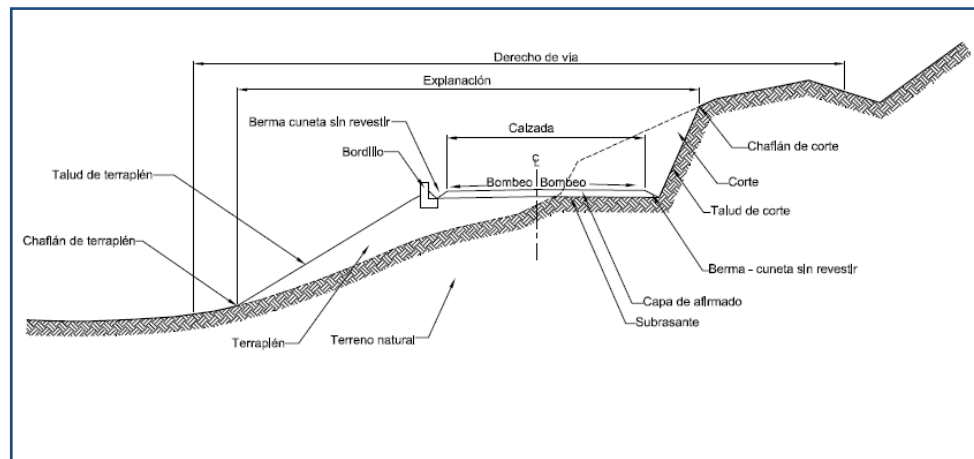


Figura 2-14. Sección transversal típica en vías terciarias. Tomado de Manual de Diseño Geométrico de carreteras 2008

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 está establecido de la siguiente manera, a menos que se requiere sobrepasar estos límites por necesidad:

| Tabla 2.22 ANCHOS DE ZONA MINIMOS | |
|--|---------------------|
| TIPO DE VIA | LONGITUD (m) |
| PRINCIPAL DE DOS CALZADAS | >30 |
| PRINCIPAL DE UNA CALZADA | 24-30 |
| SECUNDARIA | 20-24 |
| TERCIARIA | 15-20 |

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 2.23 ANCHOS RECOMENDADOS PARA CALZADA SEGÚN VTR (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 2-24. 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% |

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 2.25 ANCHOS 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 transversal y longitudinal de la cuneta, el área drenada, entre otros factores.

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 Fase II, sin embargo en la búsqueda de dar unas nociones acerca de lo realizado en esta fase se presentará una breve explicación de la forma en la cual se ha trabajado, viéndose desde la óptica del Ingeniero 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 bondades 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 II, funciona a través de paquetes de carpetas que están enlazadas entre sí, 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 proyecto de grado DIGRAVI Fase II, 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 está 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 optó para la realización de DIGRAVI Fase II. 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 el lenguaje de programación "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 Fase II, 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 con una aplicación que facilite el análisis del movimiento de tierras mediante la optimización de un diagrama de masas.

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 esté utilizando el programa y que de igual modo consulte en línea, lo que requiera.

3.4 IMPLEMENTACIÓN

La implementación del programa se generó 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 más 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 se presenta 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 Navegador 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 las matrices, 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 modernas ("Java Virtual Machine"), 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 seis 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 movimientos de tierras, 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.

Se enlazo a las curvas horizontales, su respectiva transición de peraltado, mostrándonos en pantalla el grafico en escala real de la transición.

Para el diseño vertical, el usuario, deberá ingresar el trazado vertical del proyecto, mediante una polilinea. Teniendo en cuenta el cambio de pendiente y si es necesario, se realizara el diseño de las curvas verticales. Adicionalmente, el programa dibujará las secciones transversales del proyecto y hará los cálculos de las áreas y los volúmenes respectivos.

Con lo cual se termino esta fase del proyecto, esperando darle mediante un nuevo grupo de trabajo un final 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:

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 II

PANTALLA DE INICIO DE LA HERRAMIENTA

Nos presenta en un entorno amigable, los respectivos recuadros con los temas a desarrollar en el proyecto vial: generación del terreno, especificaciones, diseño horizontal, diseño vertical, transición de peralte y secciones transversales.

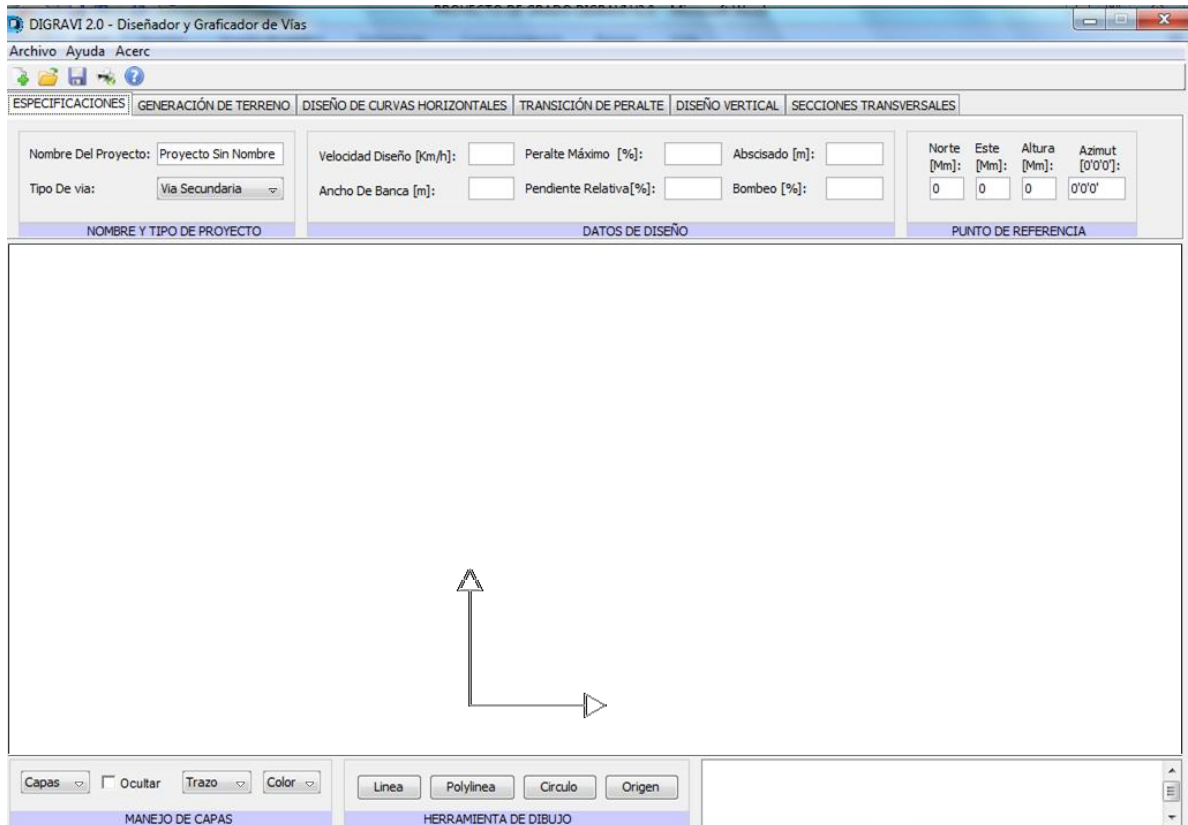


Figura 4-2. Pantalla de Inicio Digravi Fase II

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

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

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: al hacer click en él, se reflejaran 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 en la parte superior de esta pantalla, 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 II

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



Figura 4-4. Icono Ver Resumen Digravi Fase II

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 II

4.2 GENERACIÓN DE TERRENO

PANTALLA GENERACIÓN DE TERRENO: En esta se encontraran cuatro recuadros superiores llamados Importar Cartera de Campo, Generar Cartera de Campo, Interpoliar Curvas de Nivel, Tipo de Terreno. Además los paneles inferiores llamados Manejo de Capas, Herramienta de Dibujo y el Recuadro de Mensajes de AYUDA en ejecución del programa.

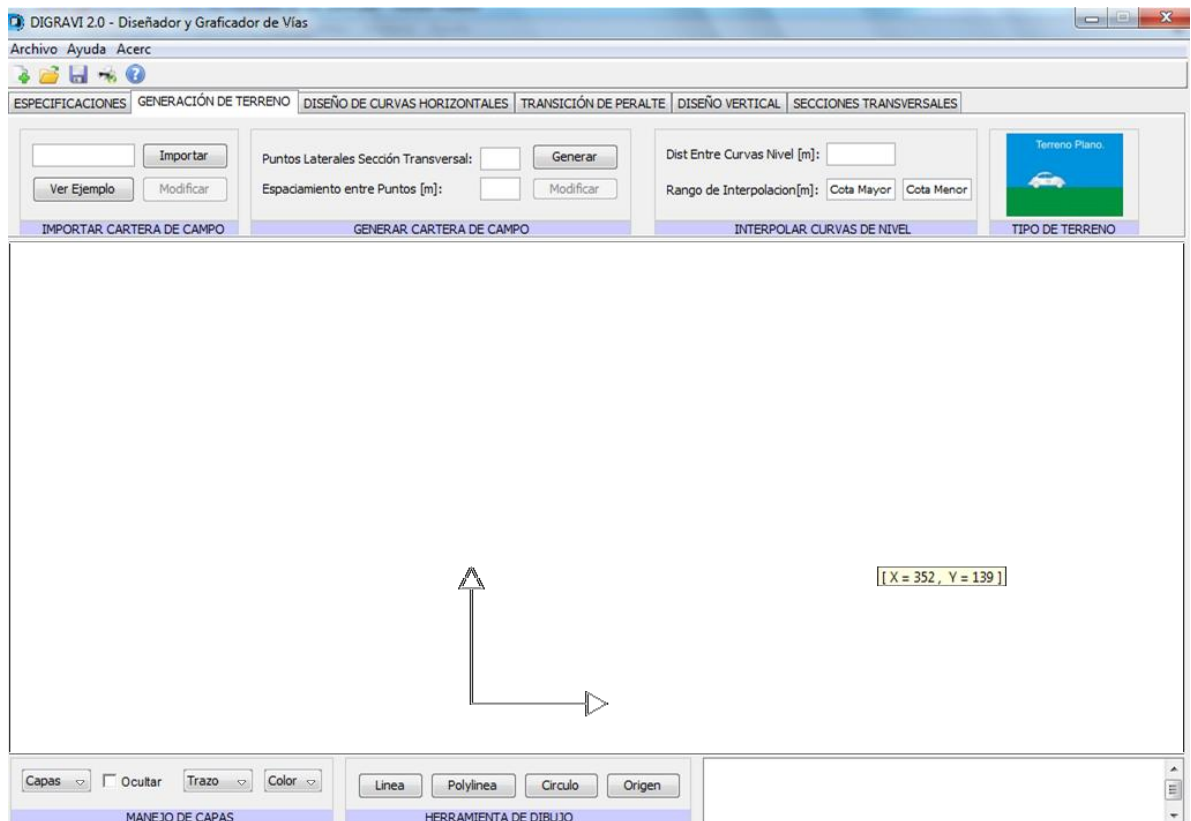


Figura 4-6. Pantalla de Generación de Terreno Digravi Fase II

4.2.1 CARTERA DE CAMPO:

4.2.1.1 IMPORTAR UN ARCHIVO

En el recuadro Importar Cartera de campo, el botón importar permite traer 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 haber llenado la casilla del recuadro anterior destinado para el azimut, el valor correspondiente a este tomado con referencia al norte del proyecto.

Cuando se desea Modificar, debes hacer click en el botón Modificar, para mostrar la cartera y realizar cambios, teniendo en cuenta el editor que se explica a continuación.

4.2.1.2 GENERAR CARTERA DE CAMPO- EDITOR DEL PROGRAMA

En el segundo recuadro, esta la opción para realizar el llenado de la Cartera de Campo desde un editor interno del programa con el método de distancias fijas o el de cota redonda, si se introducen allí los puntos laterales a cada lado del eje y el espacio entre ellos, este generará el método de distancias fijas, de lo contrario se generará el otro método automáticamente.

El manejo de la edición de la cartera de campo sigue las siguientes pautas:

- Tecla **ENTER**: crea una nueva fila (Una nueva Abscisa)
- Tecla **Ctrl+D**: Remueve una Fila (Elimina una Abscisa)
- Tecla **Ctrl+I**: Crea una nueva Columna (un nuevo punto Lateral)
- Tecla **Ctrl+R**: Remueve una Columna (elimina un Punto Lateral)
- Tecla **Ctrl+ENTER**: Guarda el Archivo.

| ABSCISA | DEFLEXION | 20.0 | 15.0 | 10.0 | 5.0 | EJE | 5.0 | 10.0 | 15.0 | 20.0 |
|---------|-----------|------|------|------|-----|-----|-----|------|------|------|
| | | | | | | | | | | |

Figura 4-7. Secuencia 1 editor interno Digravi Fase II

| ABSCISA | DEFLEXION | 15.0 | 10.0 | 5.0 | EJE | 5.0 | 10.0 | 15.0 |
|---------|-----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| k0+080 | | 1026.89 | 1024.61 | 1022.54 | 1021.13 | 1020.42 | 1021.84 | 1022.45 |
| k0+060 | | 1027.54 | 1025.48 | 1023.78 | 1021.16 | 1020.17 | 1021.48 | 1021.89 |
| k0+040 | | 1027.89 | 1025.35 | 1024.36 | 1022.76 | 1021.24 | 1021.58 | 1021.16 |
| k0+020 | | 1026.34 | 1023.65 | 1021.98 | 1020.57 | 1018.35 | 1019.87 | 1020.19 |
| k0+000 | | 1025.63 | 1023.58 | 1022.65 | 1019.78 | 1017.22 | 1019.46 | Rio |

Figura 4-8. Secuencia 2 editor interno Digravi Fase II

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 siguiente llamado interpolar.

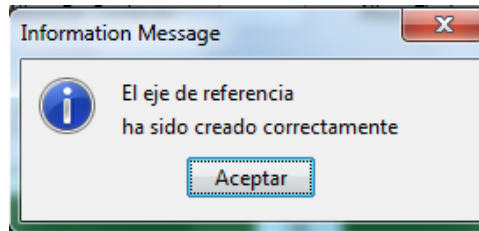


Figura 4-9. Aviso de creación del eje de referencia Digravi Fase II

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 Distancia entre curvas de Nivel del proyecto. Mientras tanto, en la fila inferior de este recuadro tenemos el Rango de Interpolación, los datos de la altura final (cota Mayor) y la altura de comienzo (cota Menor), para que se interpole y grafique el terreno del proyecto.

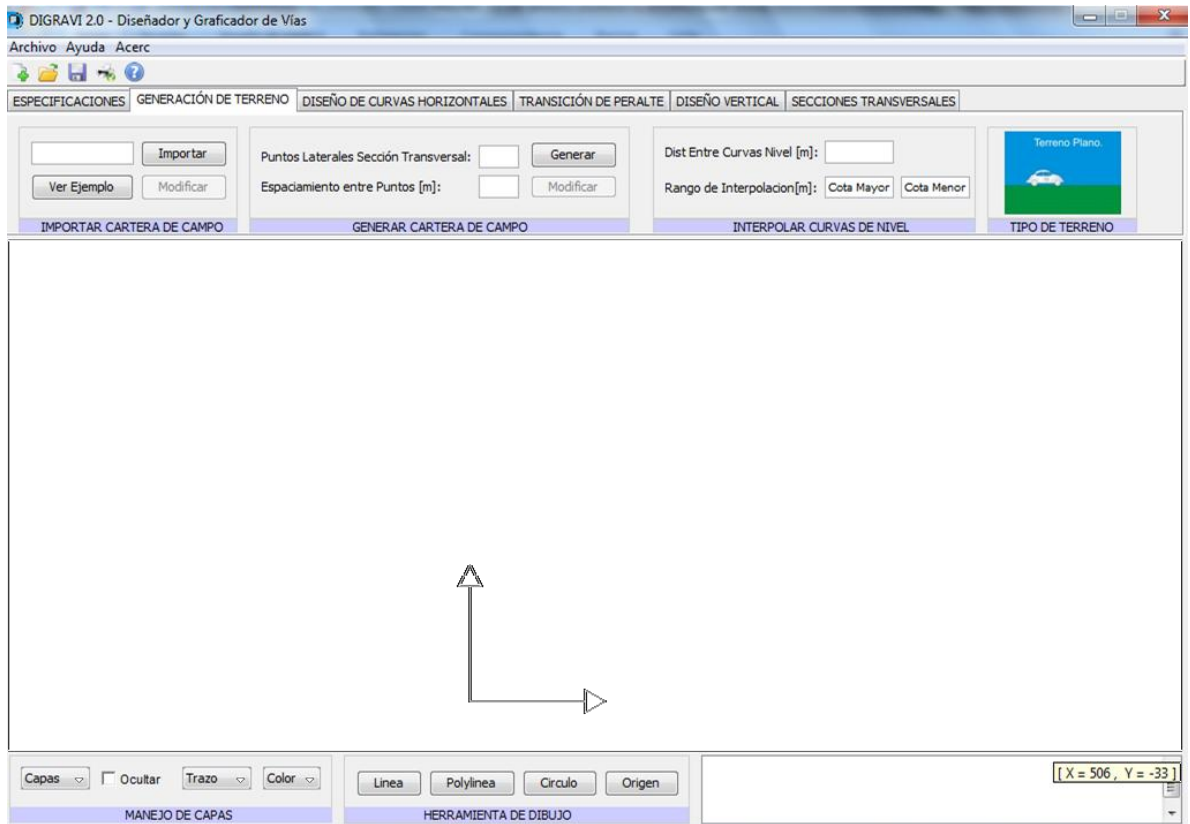


Figura 4-10. Pantalla de Generación de Terreno datos de interpolación Digravi Fase II

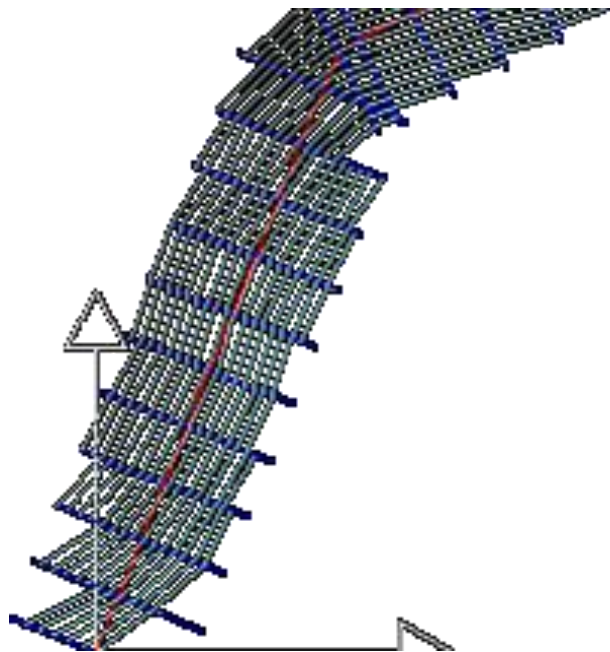


Figura 4-11. Pantalla de Graficador de Terreno Digravi Fase II

Cuando se genera el terreno, encontramos un panel inferior que contiene el manejo de tipo gráfico distribuidos en recuadros inferiores llamados: Manejo de Capas y Herramienta de Dibujo.

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 graficas tipo CAD.

Herramienta de Dibujo: Permite, dibujar líneas, polilíneas, círculos y situar el origen.

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

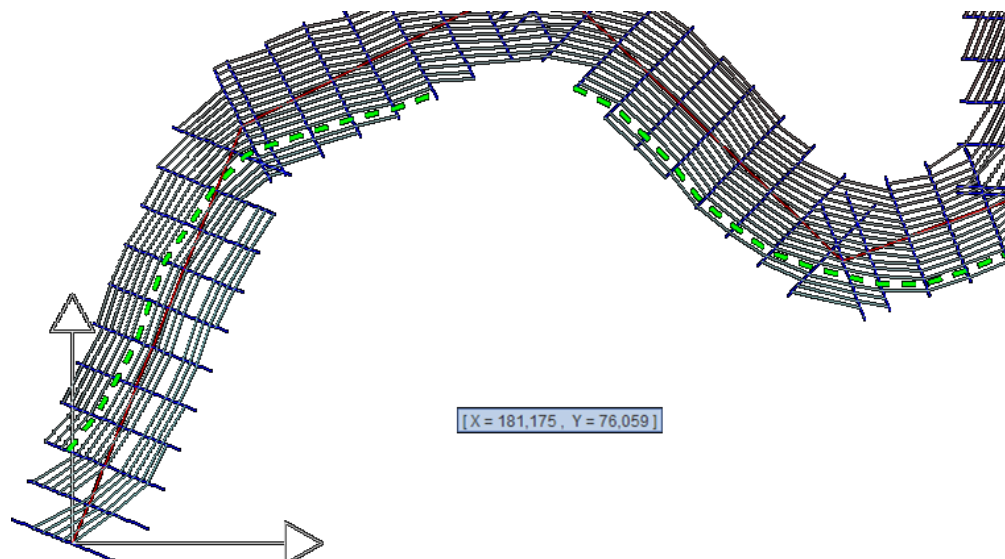


Figura 4-12. Pantalla de Graficador de Terreno con aplicaciones Digravi Fase II

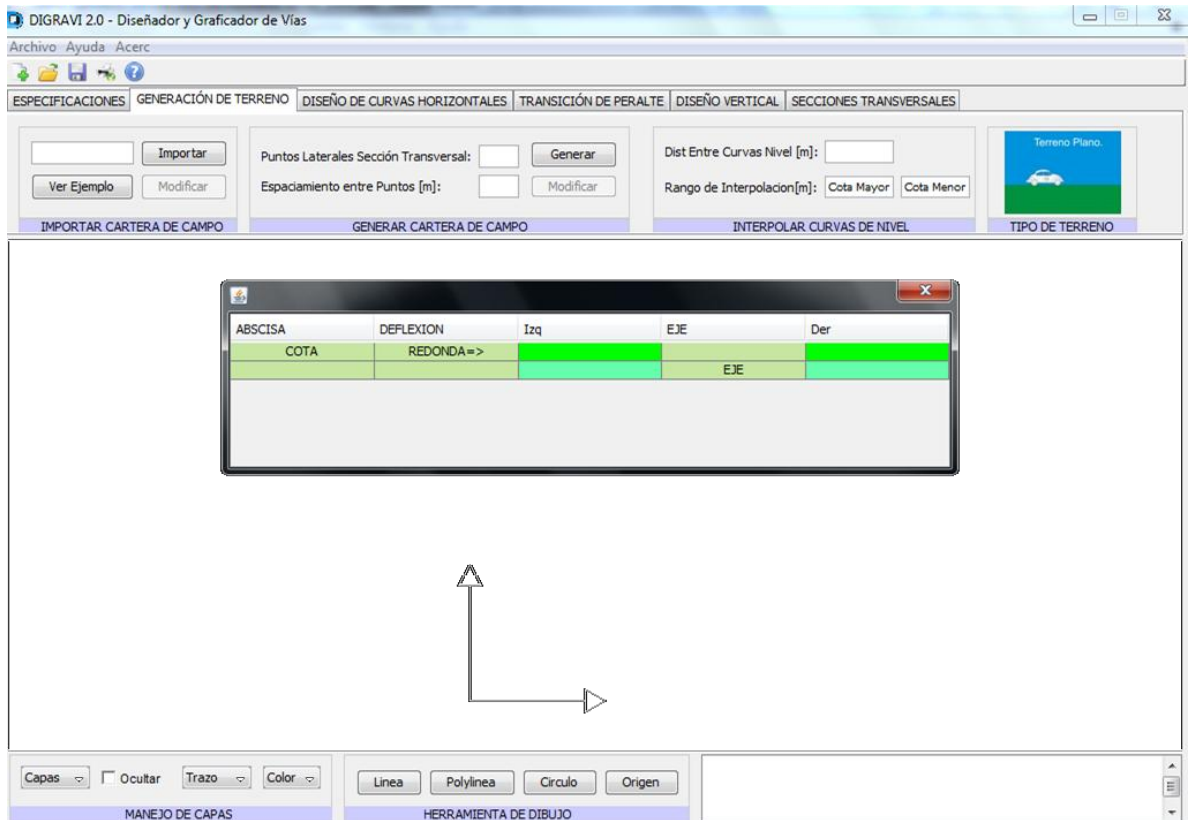


Figura 4-13. Pantalla de Generación de Terreno con la cartera de cotas redondas Digravi Fase II

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

| ABSCISA | DEFLEXION | Izq | EJE | Der |
|---------|-----------|-------|------|------|
| COTA | REDONDA=> | 10.24 | 1022 | 1023 |
| | | 5.9 | EJE | 3.8 |

Figura 4-14. Ingreso de datos en la cartera de cotas redondas Digravi Fase II

Retomando el manejo de la edición de la cartera de campo, ella sigue las siguientes pautas:

- Tecla **ENTER**: crea una nueva fila (Una nueva Abscisa)
- Tecla **Ctrl+D**: Remueve una Fila (Elimina una Abscisa)
- Tecla **Ctrl+I**: Crea una nueva Columna (un nuevo punto Lateral)
- Tecla **Ctrl+R**: Remueve una Columna (elimina un Punto Lateral)
- Tecla **Ctrl+ENTER**: Guarda el Archivo.

Con estas ordenes la cartera queda de la siguiente manera:

| ABSCISA | DEFLEXION | Izq | Izq | EJE | Der | Der |
|---------|-----------|------|------|------|------|------|
| COTA | | | 1024 | 1024 | 1021 | 1020 |
| K0+040 | | | 4 | EJE | 4.7 | 7.6 |
| COTA | | 1024 | 1025 | 1023 | 1022 | 1023 |
| K0+020 | | 5.4 | 4.9 | EJE | 5.4 | 8.5 |
| COTA | | | 1024 | 1022 | 1023 | |
| K0+000 | | | 5.9 | EJE | 3.8 | |

Figura 4-15. Secuencia de ingreso de datos en la cartera de cotas redondas Digravi Fase II



Figura 4-16. Pantalla de Ayudas Digravi Fase II

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.

4.2.3 TIPO DE TERRENO.

El programa mostrará un dibujo indicando el tipo de terreno, de acuerdo a la pendiente longitudinal y transversal del terreno generado.

4.3 ESPECIFICACIONES DE PROYECTO.

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 existe un botón de ayuda 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 (VTR), 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.

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.

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 más 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.

Azimut: Angulo de Referencia con respecto al Norte del Proyecto. (Parámetro necesario para la generación del terreno)

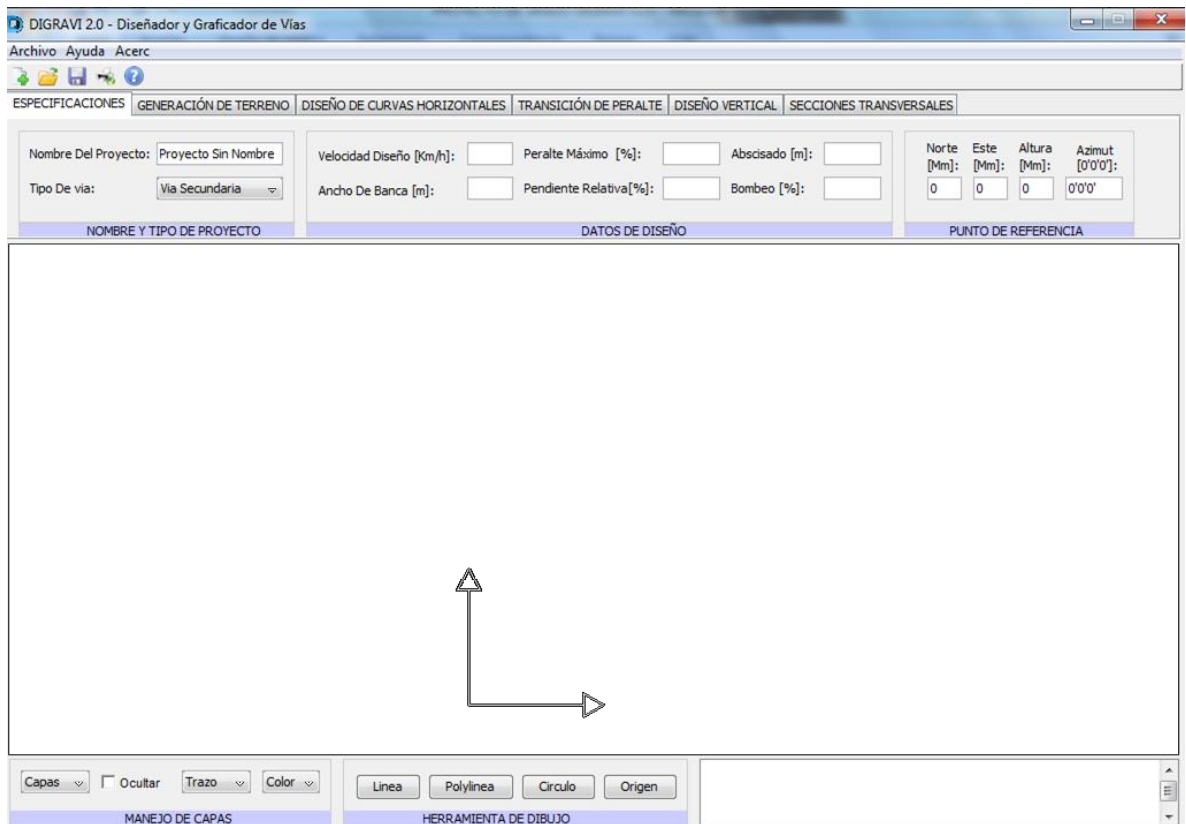


Figura 4-17. Pantalla de Especificaciones del Proyecto Digravi Fase II

Finalmente al concluir el llenado, el programa nos muestra el siguiente mensaje:

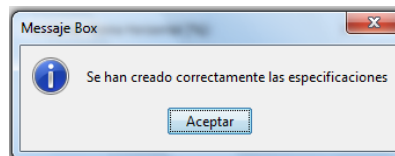


Figura 4-18. Aviso de aceptación de Especificaciones del Proyecto Digravi Fase II

4.4 DISEÑO PLANTA

ALINEAMIENTO HORIZONTAL

En ella se encuentran tres opciones de trabajo: Puntos de Referencia, 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.

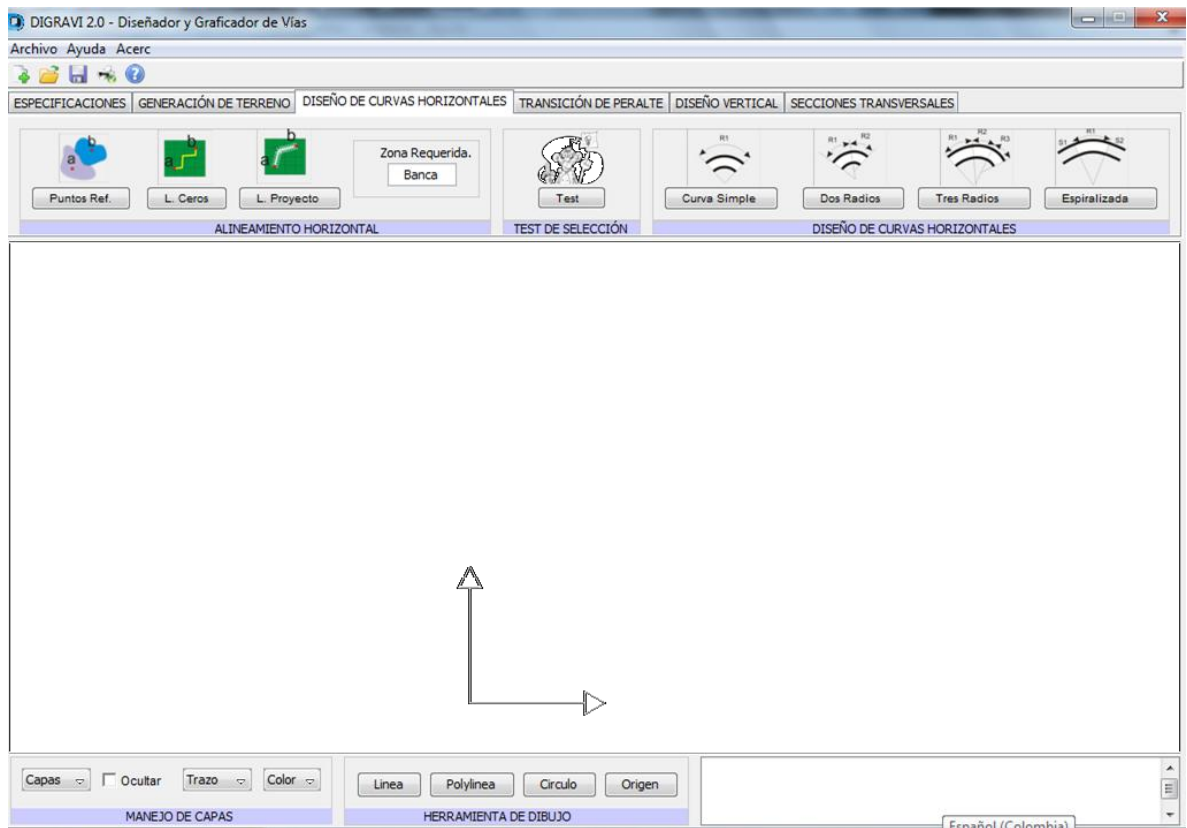


Figura 4-19. Submenú Diseño Horizontal Digravi Fase II

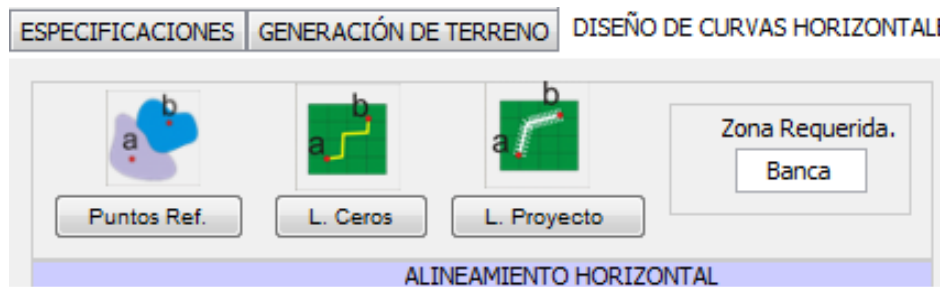


Figura 4-20. Opciones de alineamiento Horizontal Digravi Fase II

Puntos de Referencia: 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.

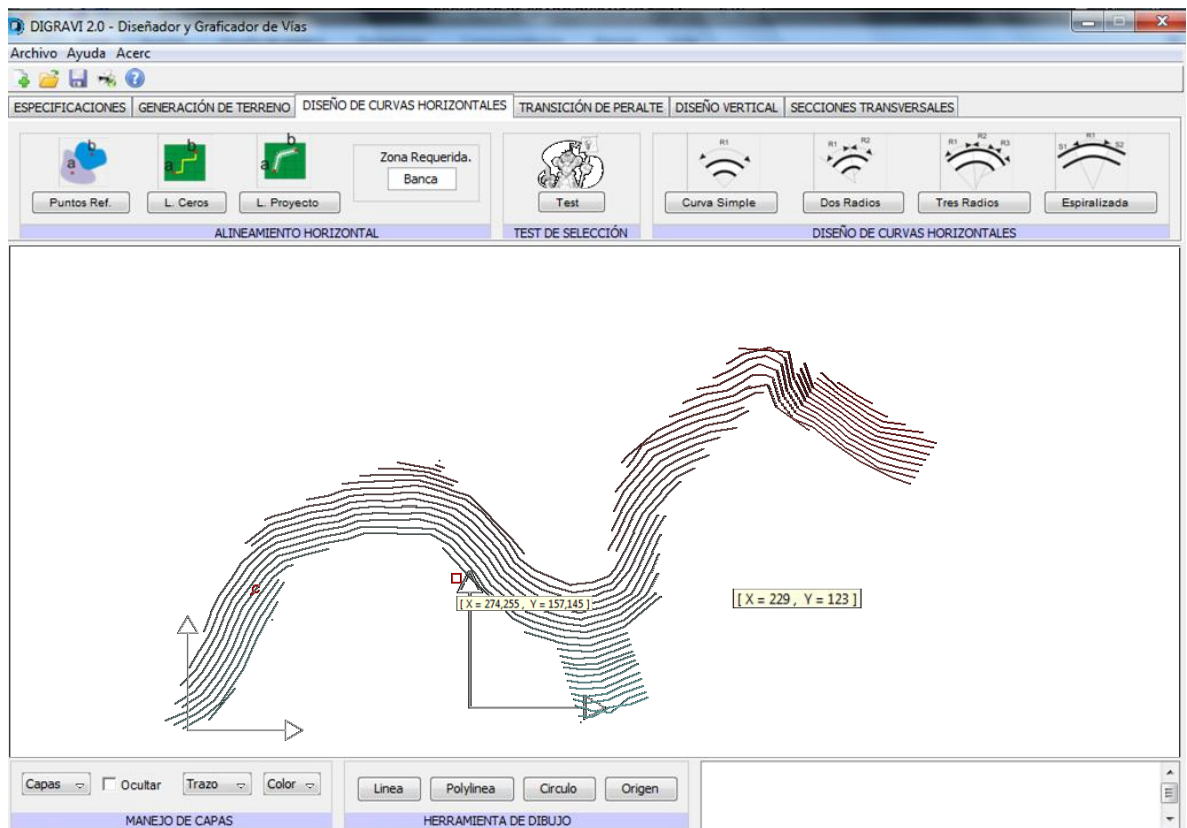


Figura 4-21. Localización del punto inicial en el graficador Digravi Fase II

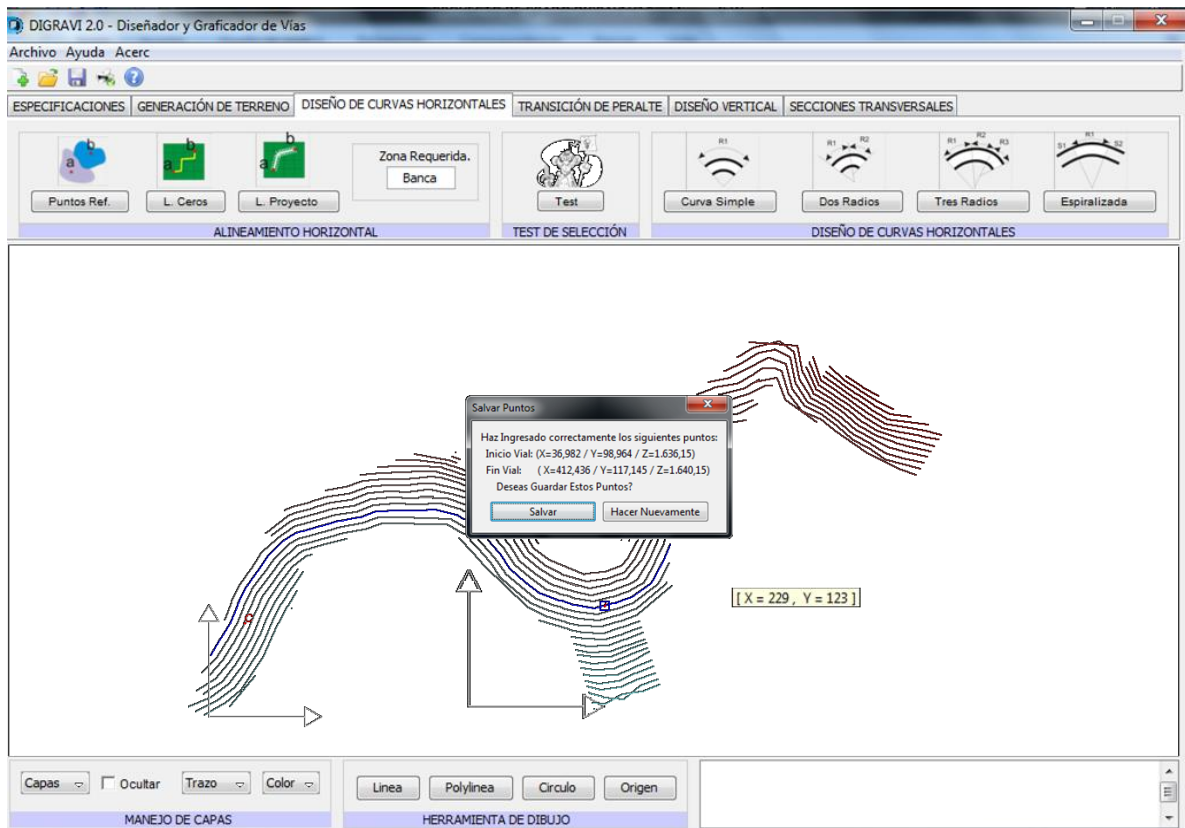


Figura 4-22. Confirmación del punto inicial y final del proyecto Digravi Fase II

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

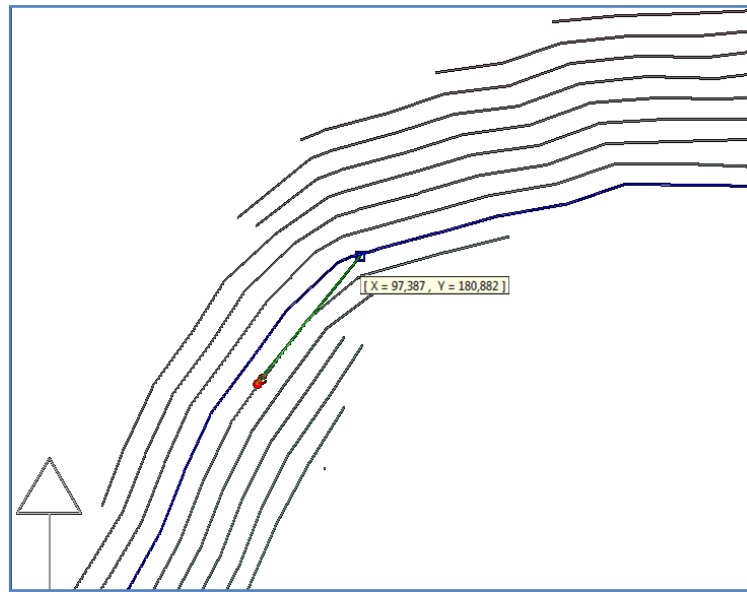


Figura 4-23. Indicador de pendiente media máxima en la línea de ceros del proyecto Digravi Fase II

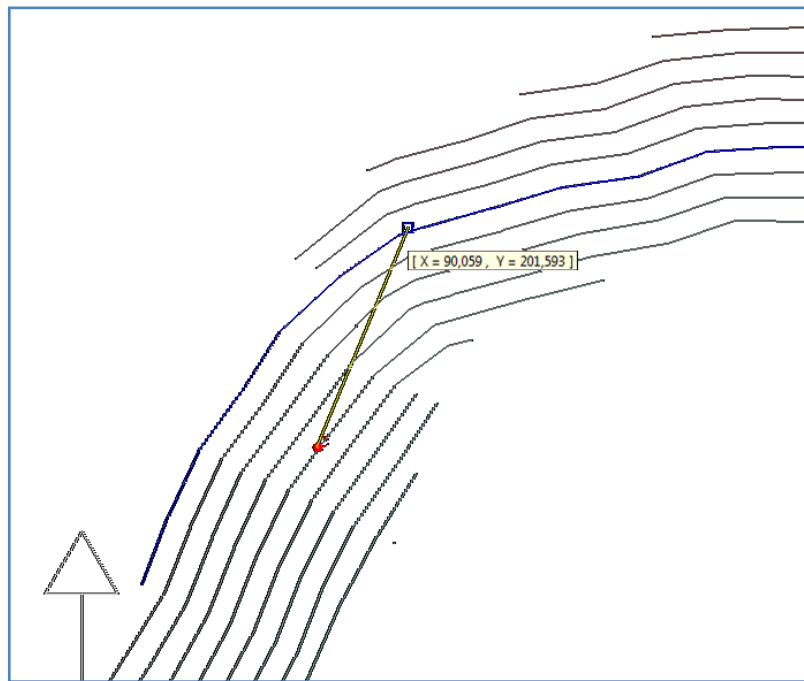


Figura 4-24. Indicador de pendiente mayor a la media máxima en la línea de ceros del proyecto Digravi Fase II

Y si esta por fuera del terreno se colocara roja.

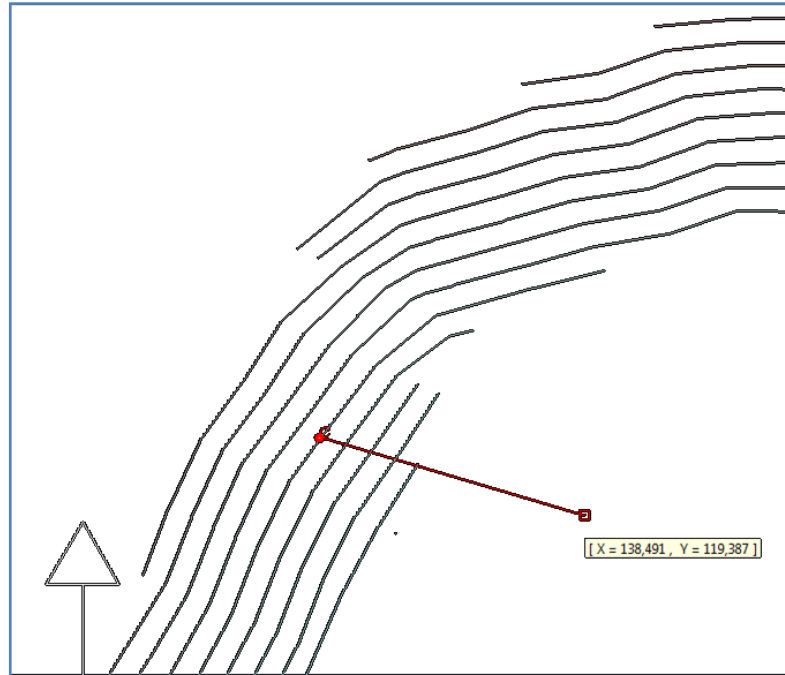


Figura 4-25. Indicador de falta de información para crear la línea de ceros del proyecto Digravi Fase II

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

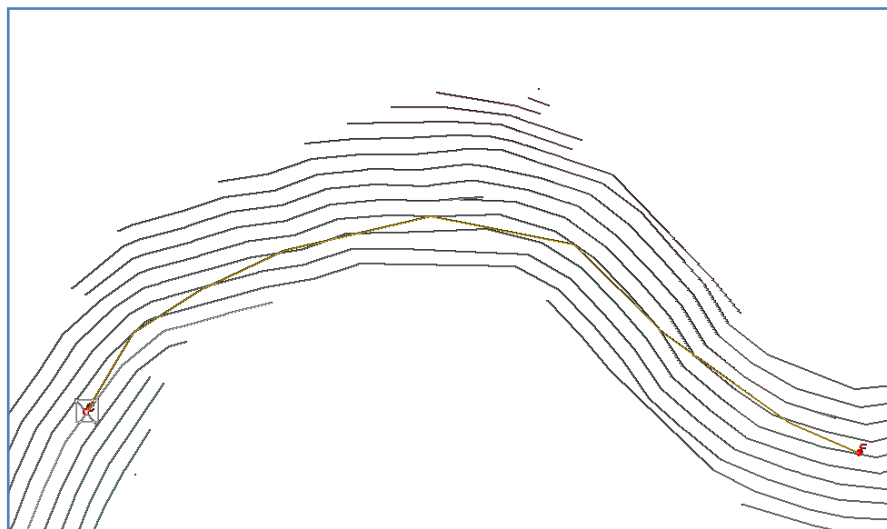


Figura 4-26. Indicador de culminación de la línea de ceros del proyecto Digravi Fase II

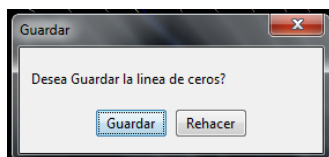


Figura 4-27. Confirmación para guardar la línea de ceros del proyecto Digravi Fase II

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

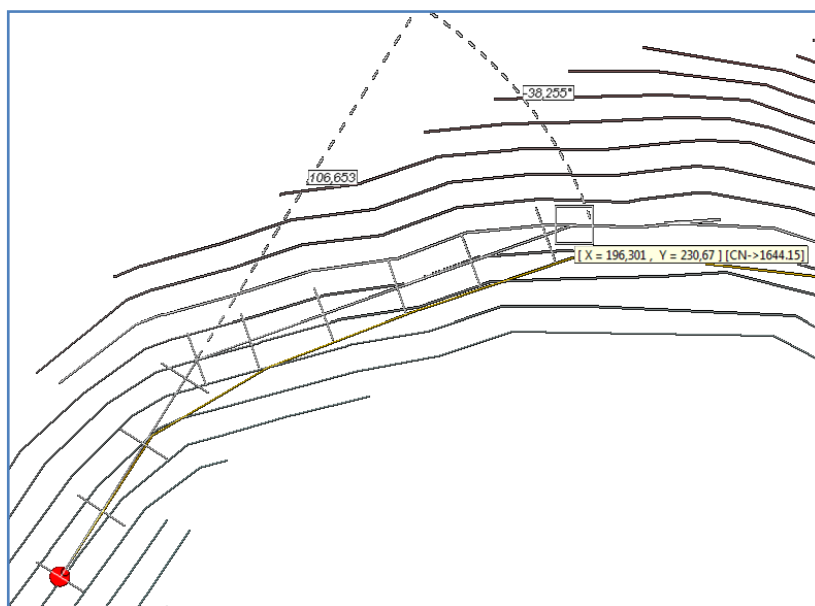


Figura 4-28. Trazado de la línea de proyecto Digravi Fase II

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 II

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 II

En esta ventana del programa se tienen dos recuadros, uno llamado Test de Selección y otro denominado Diseño de Curvas Horizontales, el primero habilitado para introducir los datos y realizar un pre-diseño de las curvas, determinando así, cual tipo de curva es la mejor opción. Mientras el segundo, tiene los vínculos directos para calcular las curvas según lo que deseo establecer para un tramo de mi proyecto.

Criterios:

- **Pi 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.

Clase de 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:

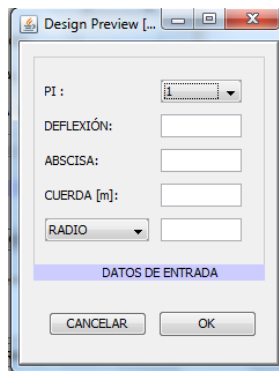


Figura 4-31. Pantalla de Diseño de Curva Circular Simple Digravi Fase II

Como vemos los datos a introducir son: el punto de intersección (PI), el ángulo de deflexión (Δ), la abscisa y la cuerda. Mediante un click, podemos seleccionar uno de los parámetros: Grado, Longitud, Radio, Tangente o Externa, tomando su valor en el espacio designado. OK para continuar y CANCELAR para borrar los resultados y volver a diseñar.

- **Dos Radios:** Si escogemos esta opción se reproducirá sobre la pantalla del usuario la siguiente ventana:

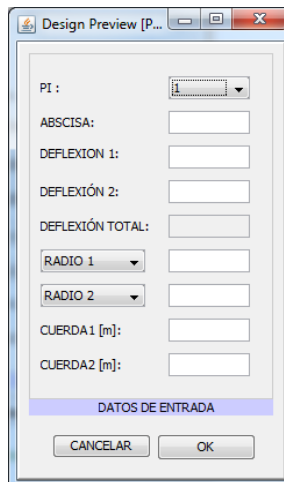


Figura 4-32. Pantalla de Diseño de Curva de dos radios Digravi Fase II

- **ELEMENTOS DE ENTRADA:** Espacio destinado para que el usuario ingrese los datos de: el número de Pi en el proyecto, la abscisa del Pi de la curva, la deflexión, los parámetros seleccionados y las cuerdas.
- **SELECCIÓN DEL PARÁMETRO:** Se selecciona un parámetro (Grado, Longitud, Radio, Tangente o Externa) y se introduce el valor en el recuadro para calcular el resto de elementos.

Los resultados de elementos de la de la curva en general: distancia X, distancia y, tangente al punto de comienzo (PC), tangente al punto de terminación (PT) y Abscisa al punto de intersección entre curvas (PCC), todos ellos se imprimen al oprimir la tecla OK

Si deseo AYUDA para el manejo de la ventana doy click sobre el Icono alusivo para ello. Finalmente si está de acuerdo con lo diseñado, selecciona OK ó 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 última 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:

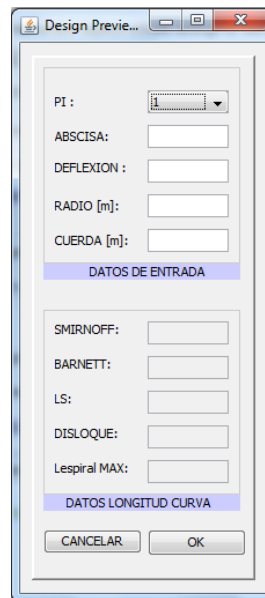


Figura 4-33. Pantalla de Diseño de Curva Espiral-Circular-Espiral Digravi Fase II

Contamos entonces con dos recuadros los cuales son Datos de Entrada, como el número del PI, la abscisa del punto de intersección (PI), La deflexión, el radio y la cuerda. El siguiente recuadro que se denomina Datos longitud Curva, muestra al dar click en “ok”, 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:

$$A_{min} = \sqrt{\frac{(V_{ch} * R_c)}{46.656 * J} * \left[\frac{V_{ch}^2}{R_c} - (1.27 * e) \right]}$$

Amín: Parámetro mínimo, en metros.

VCH: Velocidad Específica de la curva horizontal, en km/h.

RC: Radio de cálculo de la clotoide, en metros.

J: Variación de la aceleración centrífuga, en m/s³.

e: Peralte de la curva, en porcentaje (%).

| VCH (km/h) | 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 |

Tomado de Manual de Diseño Geométrico de Carreteras 2008

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 de diseñar cada una de las curvas del proyecto se guardan en el proyecto, se oprime OK y se pasa a la Transición de Peralto.

4.5 TRANSICIÓN DE PERALTO

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

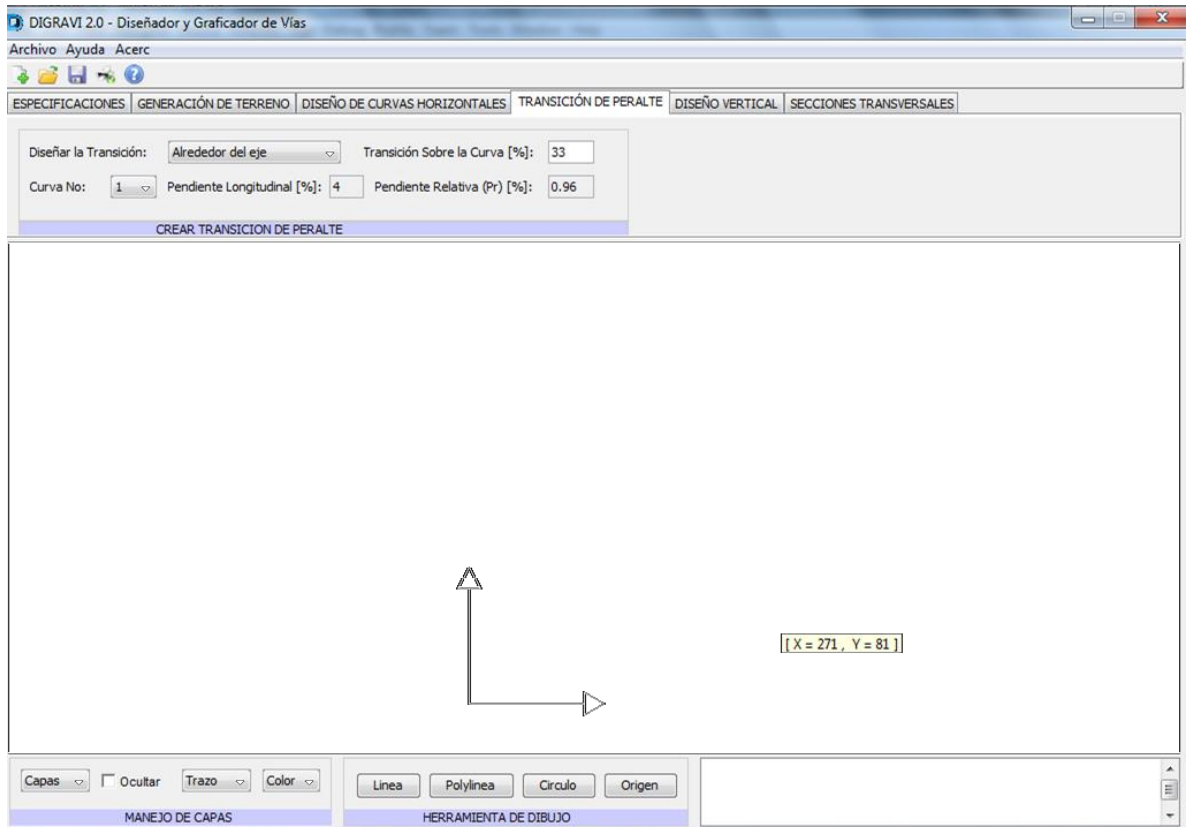


Figura 4-34. Pantalla de Transición de Peralte Digravi Fase II

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

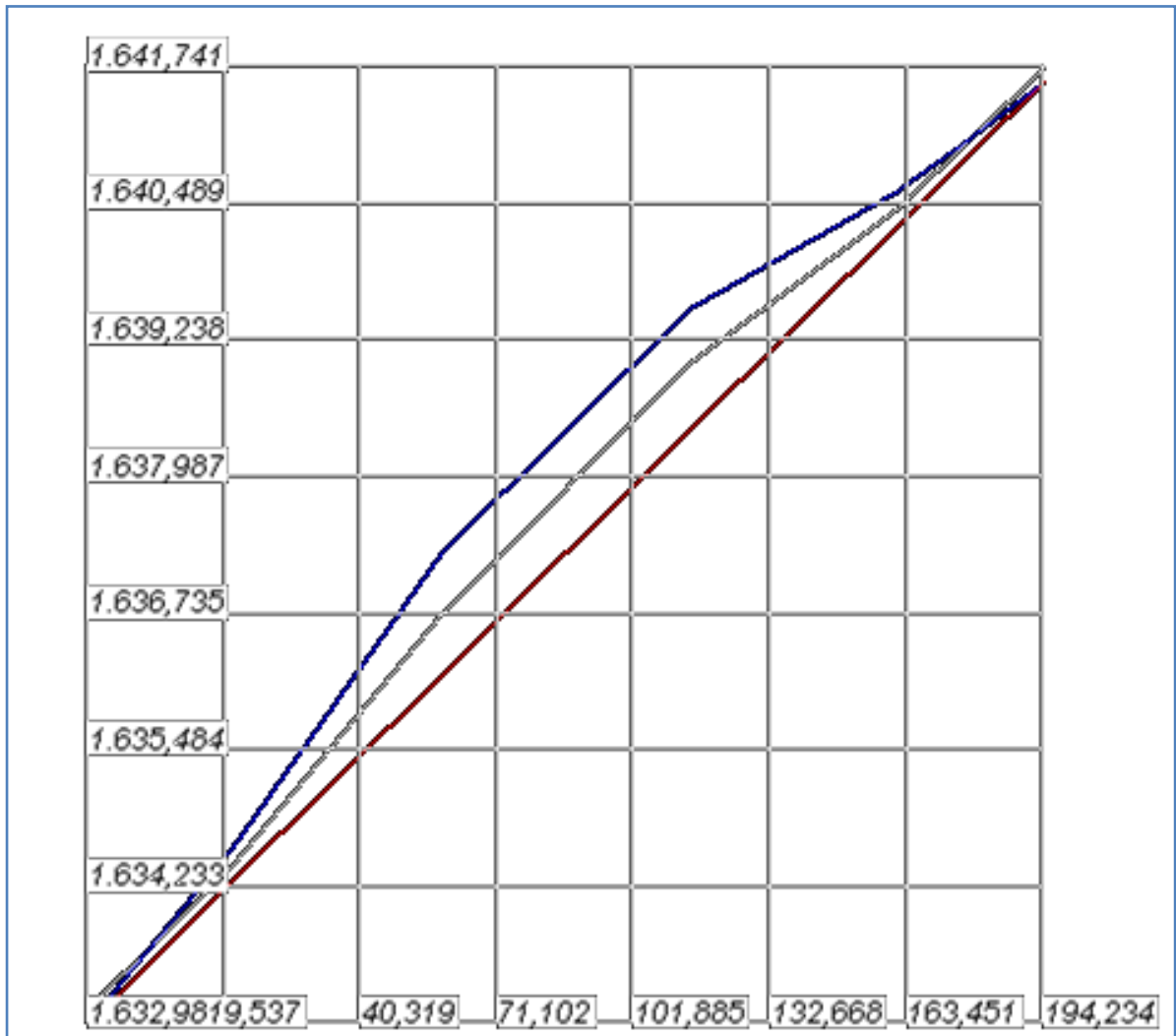


Figura 4-35. Pantalla de Transición de Peralte de Borde Interno Digravi Fase II

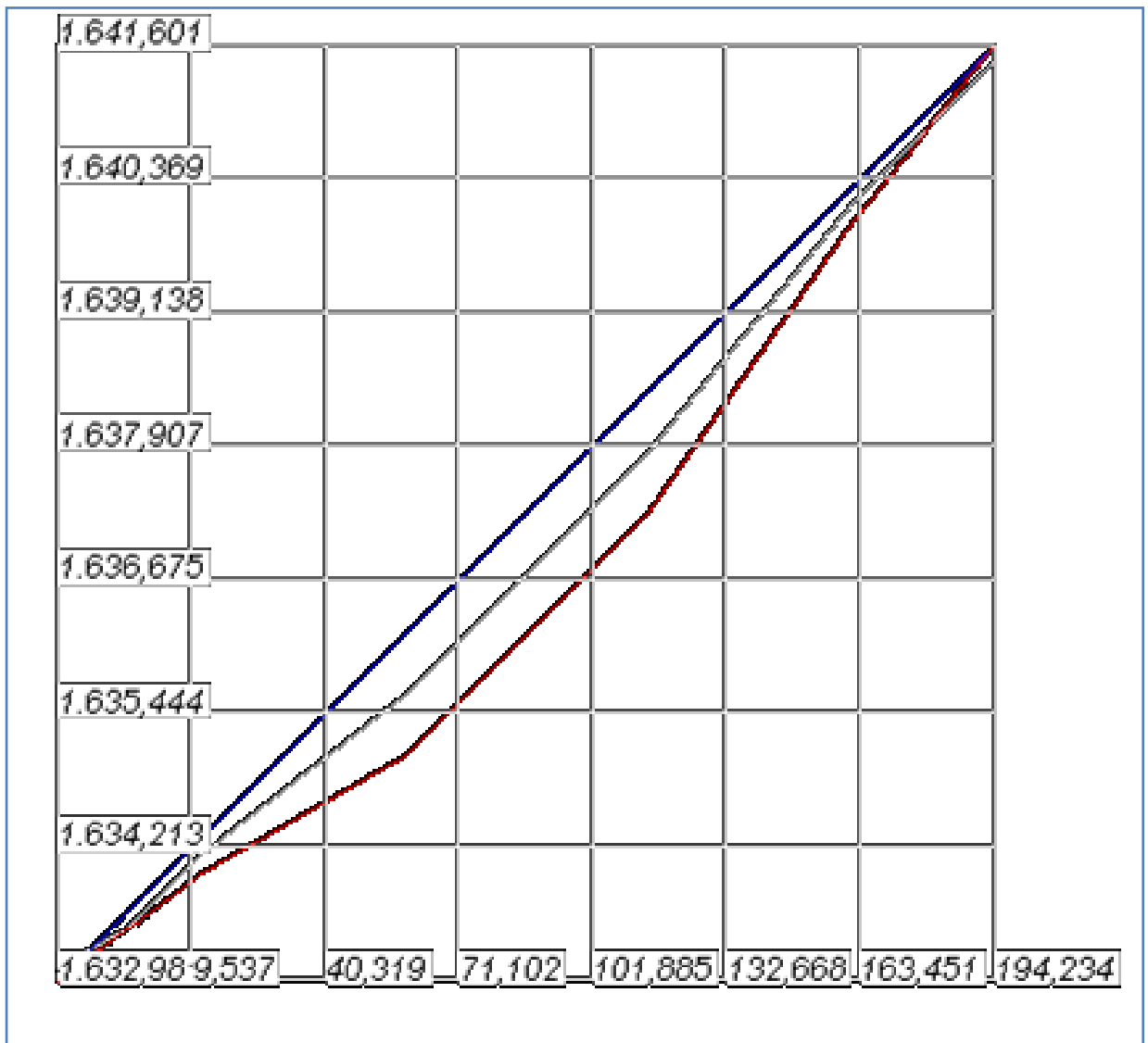


Figura 4-36. Pantalla de Transición de Peralte de Borde Externo Digravi Fase II

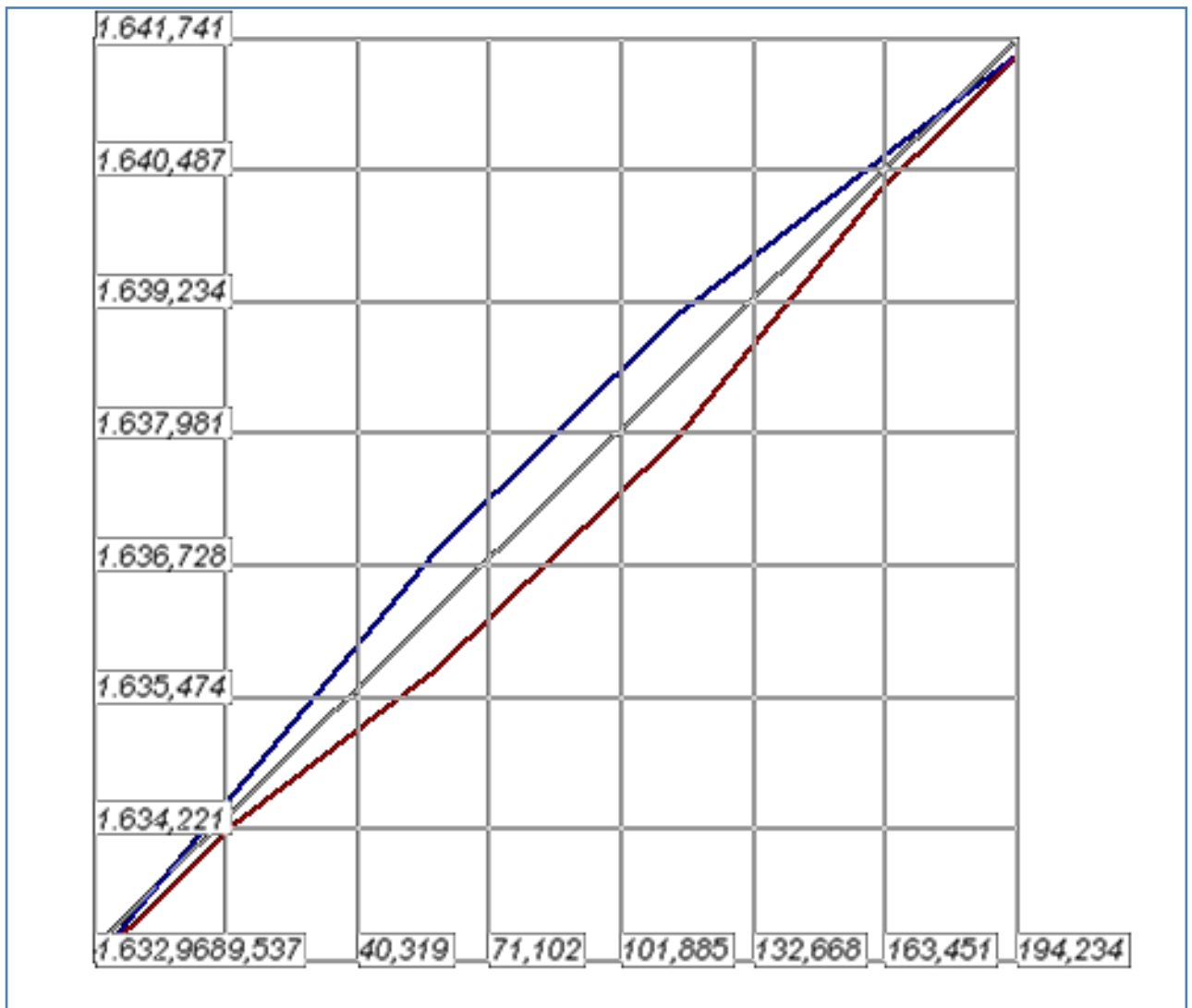


Figura 4-37. Pantalla de Transición de Peralte del Eje Digravi Fase II

CONCLUSIONES

- DIGRAVI Fase II, es la segunda parte de un programa que logra interactuar los cálculos del diseño de una vía con la parte grafica del mismo, generando una herramienta de apoyo para la pedagogía del área vial en 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 de ejecución y brindando así un espacio de interacción ante las dudas con el docente.
- La transición de peraltado que resuelve DIGRAVI Fase II, está 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.
- El diseño vertical proporciona comodidad en la visualización del trazado, así como su edición para mejorar los diseños. El usuario es libre en escoger el tipo de curva vertical según sea el proyecto.
- DIGRAVI Fase II, permite Visualizar las secciones Transversales del proyecto, en las abscisas requeridas por el usuario, con esto permite tener una filtración de datos e impedir la saturación en la Visualización de los resultados.

- Este software permite acomodar el diseño de la sección transversal para cada uno de los cortes de la sección, en un ambiente claro para su entendimiento. Se deja para una versión posterior el mejoramiento de esta parte del software, proporcionando muchas más secciones tipo.
- DIGRAVI Fase II 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 pre-saberes 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 me permitió enfrentar los 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 II requiere tener instalado todos los complementos del programa JAVA, los cuales son gratuitos, de fácil acceso y manejo para los usuarios.
- DIGRAVI Fase II 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. (comas y puntos)
- La idea de DIGRAVI Fase II es llegar a tener una herramienta propia de graficación, que no requiere en estos momentos del apoyo del programa AUTOCAD. Sin embargo, de requerirse en su momento, se tomara la decisión de implementarse la opción de relacionarse entre sí.
- Queda para una próxima fase del programa se 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 II 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.
- Proyecto de Grado. HEDICA V 1.0
- Proyecto de Grado. DIGRAVI FASE I