

Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos



Nekazaritzako Ingenierien Goi Mailako Eskola Teknikoa

**Universidad Pública de Navarra
Nafarroako Unibertsitate Publikoa**

GRADO EN INGENIERÍA AGROALIMENTARIA Y DEL MEDIO RURAL

**-SOFTWARE PARA EL ANÁLISIS DE TRAZADOS LINEALES EN
PLANTA, DISEÑADO PARA FUNCIONAR EN DISPOSITIVOS
MÓVILES PORTABLES-**

Enrique Manso Martínez

Junio de 2014

Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos



Nekazaritzako Ingenierien Goi Mailako Eskola Teknikoa

Universidad Pública de Navarra
Nafarroako Unibertsitate Publikoa

GRADO EN INGENIERÍA AGROALIMENTARIA Y DEL MEDIO RURAL

-SOFTWARE PARA EL ANÁLISIS DE TRAZADOS LINEALES EN
PLANTA, DISEÑADO PARA FUNCIONAR EN DISPOSITIVOS
MÓVILES PORTABLES-

- DEPARTAMENTO: Proyectos E Ingeniería Rural
- DIRECTOR DEL TRABAJO: Rafael García Santos
- AUTOR DEL TRABAJO: Enrique Manso Martínez

Pamplona, Junio de 2014

Fdo: Rafael García Santos

Fdo: Enrique Manso Martínez

Agradecimientos

A mi mujer y a mis hijas por su tiempo prestado.

RESUMEN

El objetivo principal del trabajo es: la realización de un software portable de análisis y dibujo de trazados en planta, formados por cualquiera de estos elementos únicos o combinados: rectas, curvas circulares y curvas de transición del tipo clotoide.

La aplicación permite introducir, analizar y dibujar un trazado en planta en un dispositivo ligero y portable como puede ser una calculadora gráfica, una tableta o bien un teléfono móvil inteligente (smartphone).

Se busca que un usuario con un dispositivo ligero y portable, sin necesidad de utilizar un ordenador portátil con software comercial de análisis de trazados o el software que suelen incluir las estaciones totales y receptores GNSS topográficos (Global Navigation Satellite Systems), pueda obtener datos precisos en el estudio de trazados en planta, bien en campo realizando replanteos o bien en gabinete.

Unos ejemplos de los trazados en planta que podrían ser analizados son: carreteras, caminos, líneas eléctricas, conducciones hidráulicas y linderos.

SUMMARY

The aim of this final degree dissertation is the development of a portable software for introduction, analysis and drawing of linear works constructed with horizontal alignments. These alignments can be any of these: lines, circular arcs and transition curves of clothoid type.

The software can do the introduction, analysis and drawing of a horizontal route in a light, portable device such as a graphing calculator, tablet or smartphone.

The target is that a user with a light portable device can get accurate calculations about horizontal routes in surveying fieldworks or office tasks, with no commercial route design software from laptop computers, total stations or GNSS equipments.

Some examples about horizontal routes that could be analyzed are: roads, rural roads, powerlines, canals, pipelines and boundaries.

PALABRAS CLAVE

Aplicación informática, trazados, planta, análisis, dibujo, portable, cálculos, topografía, rectas, curvas circulares, clotoides, Hewlett-Packard, User RPL.

KEY WORDS

Software, routes, horizontal, analysis, drawing, portable, calculations, surveying, lines, circular curves, clothoids, Hewlett-Packard, User RPL.

Índice de contenido

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 JUSTIFICACIÓN.....	1
1.2 OBJETIVOS.....	1
1.3 ORGANIZACIÓN DEL DOCUMENTO.....	1
1.4 NOTA DEL AUTOR.....	2
CAPÍTULO 2: DESCRIPCIÓN GENERAL DEL TRABAJO.....	3
2.1 DESCRIPCIÓN.....	3
2.2 CARACTERÍSTICAS.....	3
2.2.1 FUNCIONES.....	3
2.2.2 LENGUAJE DE PROGRAMACIÓN DEL SOFTWARE.....	3
2.2.3 HARDWARE.....	4
CAPÍTULO 3. ANÁLISIS DE LA APLICACIÓN.....	7
3.1 CONCEPTOS PREVIOS.....	7
3.1.1 CONCEPTOS PREVIOS.....	7
3.2 DESCRIPCIÓN DE LA APLICACIÓN.....	9
3.2.1 INTRODUCIR UN TRAZADO.....	10
3.2.2 DEFINICIÓN DE LAS ALINEACIONES EN LA INTRODUCCIÓN DEL TRAZADO.....	15
3.2.3 ANÁLISIS DEL TRAZADO EN PLANTA.....	17
3.2.4 DIBUJO DEL TRAZADO EN PLANTA.....	22
3.2.5 SALIR DE LA APLICACIÓN.....	23
CAPÍTULO 4. DISEÑO DEL SISTEMA.....	24
4.1 INTRODUCCIÓN.....	24
4.2 DISEÑO DE LA INTRODUCCIÓN DE UN TRAZADO.....	27
4.3 DISEÑO DEL ANÁLISIS DEL TRAZADO EN PLANTA.....	33
4.3.1 CÁLCULO 1: $(PK, D) \rightarrow (X, Y, \theta I)$	34
4.3.2 CÁLCULO 2: $(X, Y) \rightarrow (PK, D, XI, YI, \theta I)$	39
4.4 DISEÑO DEL DIBUJO DEL TRAZADO EN PLANTA.....	51
4.4.1 CÁLCULO LÍMITES DIBUJO.....	51
4.4.2 REPRESENTACIÓN GRÁFICA.....	52

CAPÍTULO 5 PRUEBAS, LIMITACIONES Y VALIDACIÓN.....	53
5.1 PRUEBAS.....	53
5.2 LIMITACIONES.....	57
5.3 ERRORES (BUGS).....	57
CAPÍTULO 6 UTILIDAD DEL SOFTWARE.....	58
CAPÍTULO 7 CONCLUSIONES.....	61
CAPÍTULO 8 BIBLIOGRAFÍA Y PÁGINAS WEB DE CONSULTA.....	62
8.1 BIBLIOGRAFÍA.....	62
8.2 PÁGINAS WEB DE CONSULTA.....	63
CAPÍTULO 9 ANEJOS.....	64
9.1 HERRAMIENTAS UTILIZADAS.....	65
9.1.1 HP USER EDIT.....	65
9.1.2 EMU48.....	65
9.1.3 CLIP WINDOWS.....	65
9.1.4 LIBRARY CREATION WIZARD 1.0A (EASYLIB 1.0 A).....	66
9.2 MANUAL DE USUARIO.....	67
9.2.1 NOTA DEL AUTOR.....	67
9.2.2 DESCRIPCIÓN DE LA APLICACIÓN.....	67
9.2.3 INSTALACIÓN DE LA APLICACIÓN EN LA CALCULADORA.....	67
9.2.4 INICIO DE LA APLICACIÓN.....	69
9.2.5 PANTALLA DE OPCIONES.....	70
9.2.6 INTRODUCIR UN TRAZADO.....	71
9.2.7 ANÁLISIS DE UN TRAZADO.....	84
9.2.8 DIBUJO DE UN TRAZADO.....	89
9.2.9 VARIABLE EJT.....	91
9.2.10 LIMITACIONES Y BUGS.....	94
9.2.11 EJEMPLOS DE TRAZADOS INTRODUCIDOS.....	95

Índice de Figuras

Figura 1: Imagen de la calculadora HP 50G obtenida de tienda on-line de HP : http://store.hp.com/SpainStore/	5
Figura 2: Imagen de la calculadora HP 49G emulada en un teléfono con S.O Android (foto propia).....	6
Figura 3: Valores de acimut.....	7
Figura 4: Ejemplo de un trazado en planta.....	8
Figura 5: Pantalla de inicio de la aplicación.....	9
Figura 6: Opciones de la aplicación.....	9
Figura 7: Opción 1, introducir un trazado.....	10
Figura 8: Tipos de introducción de trazado.....	10
Figura 9: Número de alineaciones.....	11
Figura 10: Características de cada alineación.....	12
Figura 11: Características alineación recta (Introducción sencilla).....	13
Figura 12: Definición de recta.....	15
Figura 13: Definición de curva circular.....	16
Figura 14: Definición de curva de transición clotoide.....	16
Figura 15: Opción 2, analizar un trazado.....	17
Figura 16: Información del trazado.....	17
Figura 17: Tipos de cálculo (Analizar un trazado).....	17
Figura 18: Representación de los tipos de cálculo sobre un trazado en planta.....	18
Figura 19: Punto que pertenece a tres alineaciones distintas....	19
Figura 20: Datos de entrada (derecha) y datos de salida (izquierda) para el cálculo 1: $(PK,D) \rightarrow (X,Y,\theta_i)$	20

Figura 21: Datos de entrada (izquierda) y datos de salida (derecha) para el Cálculo 2: $(X,Y) \rightarrow (PK, D, Xi, Yi, \theta_i)$	20
Figura 22: Opción 3, dibujar un trazado.....	22
Figura 23: Dibujo de un trazado.....	22
Figura 24: Opción 4, salir de la aplicación.....	23
Figura 25: Estructura de la variable EJT.....	25
Figura 26: Diagrama de flujo de la opción Introducción COMPLETA del trazado.....	27
Figura 27: Identificación de los TIPOS DE ALINEACIONES.....	28
Figura 28: Diagrama de flujo de la opción Introducción SIMPLE solo puntos del trazado.....	29
Figura 29: Problema de indeterminación de puntos, en trazados formados sólo por alineaciones rectas.....	30
Figura 30: Solución al problema de indeterminación de puntos, en trazados formados sólo por alineaciones rectas insertando una curva circular.....	31
Figura 31: Definición de la curva circular insertada.....	31
Figura 32: Diagrama de flujo de la opción análisis del trazado..	33
Figura 33: Diagrama de flujo cálculo 1 $(PK,D) \rightarrow (X,Y,\theta_i)$	34
Figura 34: Cálculo 1 $(PK,D) \rightarrow (X,Y,\theta_i)$ en alineación recta.....	35
Figura 35: Cálculo 1 $(PK,D) \rightarrow (X,Y,\theta_i)$ en alineación curva circular.....	36
Figura 36: Cálculo 1 $(PK,D) \rightarrow (X,Y,\theta_i)$ en alineación curva de transición clotoide.....	37
Figura 37: Diagrama de flujo cálculo 2 $(X,Y) \rightarrow (PK, D, Xi, Yi, \theta_i)$	39
Figura 38: Valores de acimut en alineación recta.....	40
Figura 39: Límites en alineación recta.....	41
Figura 40: Límites en alineación curva circular.....	42

Figura 41: Cálculo 2 $(X,Y) \rightarrow (PK, D, X_i, Y_i, \theta_i)$ en alineación recta.....	43
Figura 42: Cálculo 2 $(X,Y) \rightarrow (PK, D, X_i, Y_i, \theta_i)$ en alineación curva circular.....	45
Figura 43: Diagrama de flujo del proceso de iteraciones en cálculo del tipo clotoide.....	48
Figura 44: Gráfico con proceso de iteraciones en un tramo de clotoide.....	49
Figura 45: Definición geométrica de Trazado para validación de cálculos.....	53
Figura 46: Dibujo de Trazado para validación de cálculos.....	54
Figura 47: Pantalla de introducción de datos Trazado Clip Windows.	54
Figura 47 bis: Pantalla de introducción de datos Trazado Clip Windows.....	55
Figura 48: Diferencia en cálculos entre Clip Windows y la aplicación.....	55
Figura 49: Clotoide en espiral.....	56
Figura 50: Sección tipo constructiva de un túnel.....	58
Figura 51: Ejemplos de trazados geométricos.....	59

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN**1.1 JUSTIFICACIÓN**

La realización de este trabajo, tiene como objetivo la consecución del título de Grado en Ingeniería Agroalimentaria y del Medio Rural.

Este trabajo aúna dos intereses personales: la obtención del título de grado y el desarrollo de una herramienta práctica en el estudio de trazados en planta.

1.2 OBJETIVOS

El objetivo principal del trabajo es: la realización de un software de análisis y dibujo de trazados en planta, formados por cualquiera de estos elementos únicos o combinados: rectas, curvas circulares y curvas de transición del tipo clotoide.

Con el fin de poder obtener datos en campo, también se busca el objetivo de que esta aplicación funcione en un dispositivo ligero y móvil (portable), es decir que la aplicación funcione en una calculadora gráfica, tableta o bien en un teléfono móvil inteligente (smartphone).

Se busca que un usuario con un dispositivo ligero y portable, sin necesidad de utilizar un ordenador portátil con software comercial de análisis de trazados o el software que suelen incluir las estaciones totales y receptores GNSS topográficos (Global Navigation Satellite Systems), pueda obtener datos precisos en el estudio de trazados en planta, bien en campo realizando replanteos o bien en gabinete.

Unos ejemplos de los trazados en planta que podrían ser analizados son: carreteras, caminos, líneas eléctricas, conducciones hidráulicas y linderos.

1.3 ORGANIZACIÓN DEL DOCUMENTO

El documento se estructura en las siguientes partes:

-INTRODUCCIÓN: somera descripción del trabajo así como de los objetivos y estructura del documento.

-DESCRIPCIÓN GENERAL DEL TRABAJO: descripción más amplia del trabajo con sus características y elementos.

-ANÁLISIS DE LA APLICACIÓN: descripción del funcionamiento de la aplicación y de las bases en que se fundamenta.

-DISEÑO DE LA APLICACIÓN: realización del diseño del sistema.

-PRUEBAS Y VALIDACIÓN: ensayos realizados con la aplicación con el fin de comprobar su adecuado funcionamiento.

-UTILIDAD DEL SOFTWARE: ejemplos prácticos de uso de la aplicación.

-CONCLUSIONES: conclusiones obtenidas tras la realización de la aplicación.

-BIBLIOGRAFÍA Y PÁGINAS WEB DE CONSULTA: libros, manuales y fuentes de información diversa consultadas para la realización del trabajo fin de grado.

-ANEJOS:

*Herramientas: herramientas utilizadas para la realización del trabajo.

*Manual de usuario: aquí se explica la instalación de la aplicación en un dispositivo móvil y su funcionamiento de una manera más pormenorizada.

1.4 NOTA DEL AUTOR.

Esta es una aplicación educativa, no es un software comercial.

A pesar de que se han realizado múltiples pruebas y la aplicación arroja resultados satisfactorios, el autor no se responsabiliza de lo que el usuario pueda realizar con la aplicación.

CAPÍTULO 2: DESCRIPCIÓN GENERAL DEL TRABAJO**2.1 DESCRIPCIÓN.**

El objetivo de este trabajo es: la realización de un software de análisis y dibujo de trazados en planta, que funcione en dispositivos móviles portables tales como calculadoras gráficas, tabletas o teléfonos móviles inteligentes (smartphones).

2.2 CARACTERÍSTICAS.**2.2.1 FUNCIONES.**

Este software permite:

i) La INTRODUCCIÓN de un trazado en planta, compuesto por cualquiera de estos elementos solos o combinados: rectas, curvas circulares y curvas de transición (clotoides).

ii) El ANÁLISIS del trazado en planta introducido. Este análisis tiene dos vertientes:

a) Obtener valores de coordenadas (X,Y) y ángulo acimut para un punto definido por su punto kilométrico y distancia a un trazado en planta.

b) Partiendo de las coordenadas (X,Y) de un punto determinado, obtener valores de punto kilométrico, distancia a un trazado y coordenadas y acimut del punto de intersección.

iii) La REPRESENTACIÓN GRÁFICA del trazado en planta.

2.2.2 LENGUAJE DE PROGRAMACIÓN DEL SOFTWARE.

Este software se va a desarrollar en lenguaje USER-RPL, que es un lenguaje de programación propio soportado por las series 48 y 49 de calculadoras gráficas HP (Hewlett Packard).

El lenguaje USER-RPL de las series 48 y 49 es prácticamente el mismo, sólo cambian algunos comandos y ajustes.

En concreto, se va a programar en lenguaje USER-RPL de la serie 49 de calculadoras gráficas HP, ya que esta serie es la más moderna.

Se ha elegido este lenguaje de programación, ya que el programar en este lenguaje, posibilita cumplir con el objetivo de que la aplicación funcione en un dispositivo ligero y móvil como pueden ser los modelos de calculadoras gráficas antes enunciados o bien en los emuladores que existen actualmente para estas calculadoras. Los emuladores de estas calculadoras, a su vez funcionan sobre teléfonos móviles inteligentes (smartphones) y tabletas con sistema operativo IOS o Android.

A partir de aquí, entiéndase que la palabra calculadora, puede ser reemplazada en este documento por las palabras teléfono móvil inteligente (smartphone) o tableta con igual significado.

2.2.3 HARDWARE.

Como se ha enunciado en el punto anterior, el software va a funcionar sobre la serie 49 de calculadoras gráficas HP (Hewlett Packard) . Esta serie comprende los modelos: HP 49G, HP 49G+, HP 48Gii y HP 50G. Este software se entiende que también funcionará sobre los emuladores de estos modelos.

Hasta finales de 2013 (con el lanzamiento de la nueva calculadora gráfica HP PRIME), estas calculadoras gráficas han sido las más avanzadas de la compañía HP, siendo su mayor representante el modelo HP 50G cuyas características (<http://store.hp.com/SpainStore/>) se detallan a continuación:

- Año de lanzamiento: 2006.
- Dimensiones: 184x 87 x 23,5 mm
- Modo de entrada: Algebraico , RPN y libro de texto.
- Tamaño de pantalla: 131*80 píxeles.
- Procesador: 203 MHz ARM version ARMv4T (limitado a 75 MHz por defecto pero puede ser reajustado por ciertos programas de usuario).
- Memoria RAM: 512 KB (240 KB disponibles para el usuario).
- Memoria Flash ROM: 2 MB (768 KB disponibles para el usuario) expandibles por una tarjeta SD de 2 GB.
- Puerto de infrarrojos: IrDA.
- Puerto serie: RS-232.
- Puerto de expansión: Tarjeta SD.

- Enorme biblioteca incorporada con más de 180 constantes e unidades científicas y de ingeniería.
- Sistema dinámico para álgebra y cálculo: Computer Algebra System (CAS).
- Funciones gráficas en 3-D con gráficos interactivos.
- Dibujo de funciones en 2-D y 3-D, gráficos, álgebra y funciones cuadráticas y polinómicas.
- Baterías: cuatro pilas AAA, que suministran 50 horas de autonomía, y una pila CR2032 para respaldo de memoria. La calculadora puede usar como fuente de alimentación las pilas o bien un puerto USB.

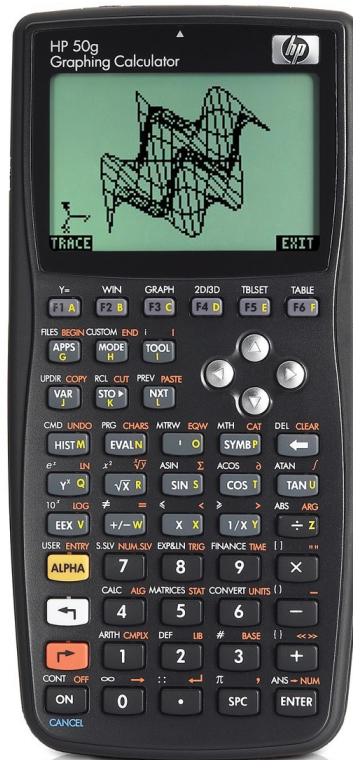


Figura 1: Imagen de la calculadora HP 50G obtenida de tienda on-line de HP :<http://store.hp.com/SpainStore/>.

Si bien es cierto, que hoy en día estas calculadoras, están algo desfasadas en velocidad del procesador y en memoria de almacenamiento y RAM, al poder emularlas en una tableta o en un teléfono móvil inteligente (smartphone), la mayor velocidad de procesamiento y memoria de estos dispositivos compensa estas carencias.

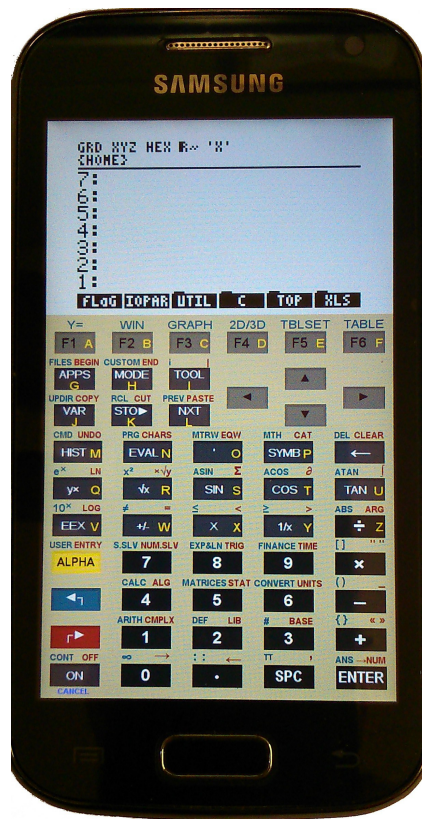


Figura 2: Imagen de la calculadora HP 49G emulada en un teléfono con S.O Android (foto propia).

CAPÍTULO 3. ANÁLISIS DE LA APLICACIÓN

3.1 CONCEPTOS PREVIOS.

3.1.1 CONCEPTOS PREVIOS.

Antes de analizar este software, es necesario comprender algunos conceptos.

*ACIMUT: La dirección de una alineación cualquiera se puede definir por el ángulo horizontal (medido en sentido horario), que dicha alineación forma con una alineación de referencia. Si la alineación de referencia es el eje norte (eje de las ordenadas -Y-), el ángulo horizontal se denomina ACIMUT. (CASANOVA, L. 2002).

Se mide en grados centesimales (gradianes), así puede variar desde 0 (hacia el Norte), pasando por 200 (hacia el Sur), hasta 400 gradianes (otra vez hacia el Norte).

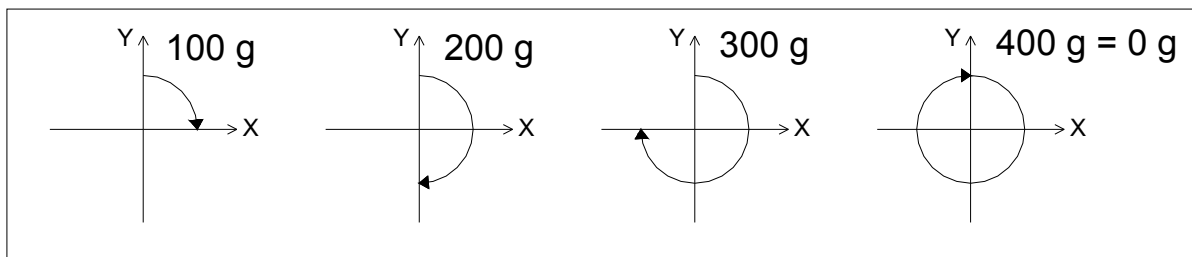


Figura 3: Valores de acimut.

*CURVATURA: es el inverso del radio R de una curva circular.

*El TRAZADO EN PLANTA de una carretera o camino se halla compuesto de una serie de formas geométricas enlazadas, denominadas genéricamente ALINEACIONES. Estas pueden ser de tres tipos (BAÑÓN BLÁZQUEZ, L.; BEVIÁ GARCÍA, J.F. 2000):

- a) ALINEACIONES RECTAS: Este tipo de alineaciones son las que definen a grosso modo el trazado de un camino o carretera. Se caracterizan por su ausencia de curvatura, lo que posibilita que en estos tramos sea donde a priori un vehículo pueda desarrollar su máxima velocidad. En ellas el acimut es constante y la curvatura es nula.
- b) ALINEACIONES CURVAS: están constituidas por curvas circulares, cuya principal misión es enlazar los tramos rectos, evitando quiebros bruscos en el trazado del camino. Se caracterizan por una curvatura constante, lo que obliga al conductor a efectuar maniobras de giro.

En ellas el acimut varía linealmente con el camino recorrido y la curvatura es constante.

- a) **CURVAS DE TRANSICIÓN:** la finalidad de este tipo de alineaciones, es servir de enlace entre las dos anteriores. Permite un cambio de curvatura gradual y cómodo entre un elemento con un radio de curvatura infinito (recta) y un elemento con radio de curvatura constante (arco circular). Cuando se emplean solo líneas y arcos, este cambio se realiza de una manera puntual, ocasionando incomodidad e inseguridad en los conductores. De las distintas curvas de transición existentes, en carreteras se emplea la clotoide o espiral de Cornu. En ellas, tanto el acimut como la curvatura varían con el camino recorrido.

En la siguiente figura, se puede ver un trazado en planta formado por tres alineaciones: recta, curva de transición (clotoide) y curva circular. El trazado tiene una longitud de 1.850 metros, la primera alineación es una recta y tiene una longitud de 500 metros, la segunda alineación de longitud también 500 metros es una curva de transición (clotoide), y la última alineación es una curva circular con una longitud de 850 metros.

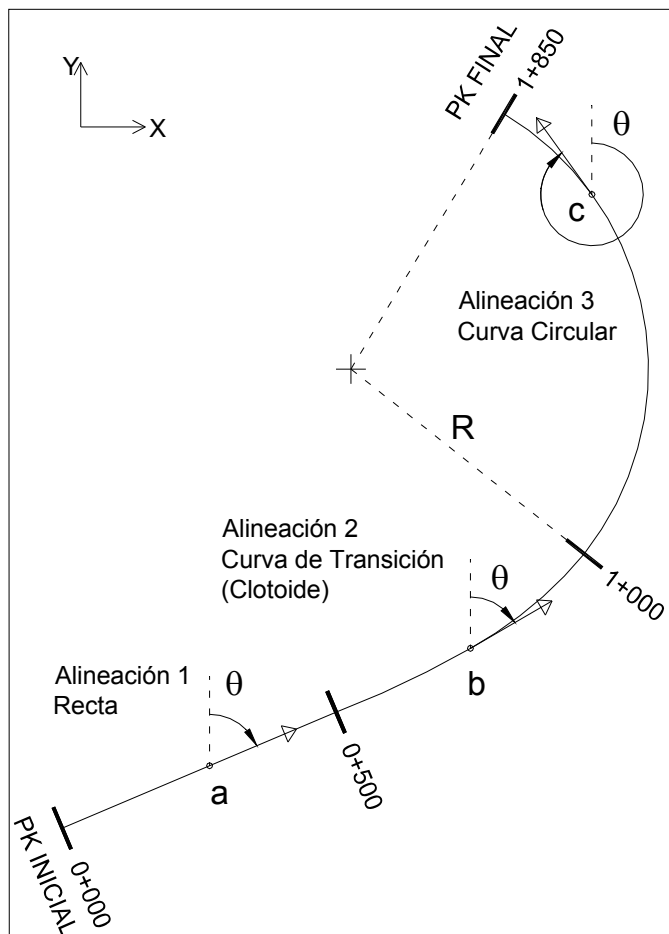


Figura 4: Ejemplo de un trazado en planta.

En la figura se representan también los valores de acimut (θ) en tres puntos, a, b y c, uno por cada alineación.

3.2 DESCRIPCIÓN DE LA APLICACIÓN.

Al iniciar la aplicación, aparece una pantalla de bienvenida en la que se indica el nombre de la aplicación, su autor, fecha y versión de la aplicación.

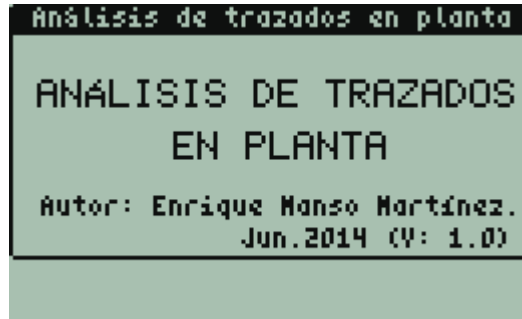


Figura 5: Pantalla de inicio de la aplicación.

Después de la pantalla de inicio, se presenta la pantalla de opciones con cuatro alternativas:

- 1- INTRODUCIR un trazado en planta.
- 2- ANÁLIZAR un trazado en planta.
- 3- DIBUJAR un trazado en planta.
- 4- SALIR de la aplicación.

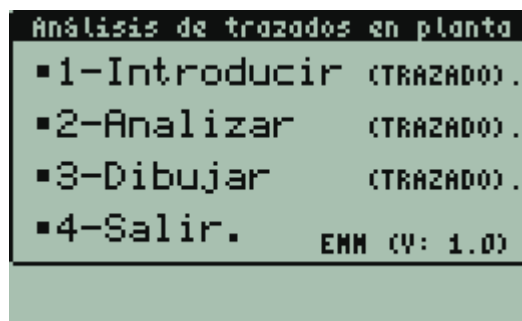


Figura 6: Opciones de la aplicación.

Para seleccionar una alternativa cualquiera, se pulsa el número asociado a cada opción en el teclado de la calculadora.

Para poder realizar las opciones 2 y 3, es preciso haber introducido previamente un trazado en planta.

3.2.1 INTRODUCIR UN TRAZADO.

Para introducir un trazado, se pulsa el número 1 en el teclado de la calculadora.

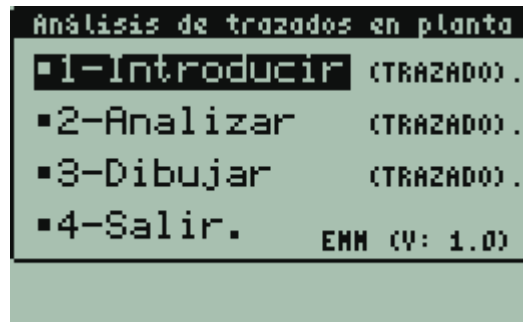


Figura 7: Opción 1, introducir un trazado.

La primera vez que se usa la aplicación, necesita para funcionar la introducción de un trazado en planta, si no existe un trazado introducido como es lógico no se podrá analizar ni dibujar.

Una vez definido un trazado, cuando salgamos de la aplicación y volvamos a abrir la aplicación, el trazado definido anteriormente se quedará guardado por defecto (en la variable global EJT) y no será necesario definir el trazado de nuevo.

Este software, tiene como elemento principal la variable EJT, que es la variable dónde el programa almacena las características del trazado en estudio.

TIPOS DE INTRODUCCIÓN DE UN TRAZADO

La aplicación, permite la introducción de un trazado de tres maneras distintas.

Al pulsar la tecla 1 en la pantalla de opciones de la aplicación (ver Figura 6), aparece la siguiente pantalla de opciones. Cada opción se elige seleccionándola con las teclas del cursor de la calculadora y pulsando OK/ENTER.

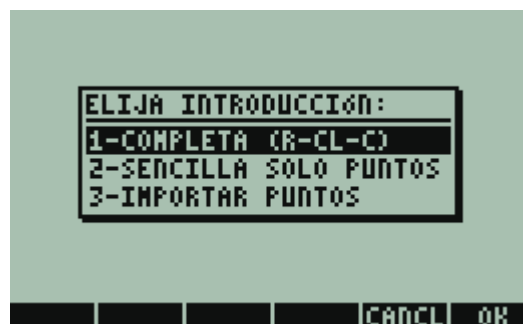


Figura 8: Tipos de introducción de trazado.

La primera opción ("1- COMPLETA (R-CL-C)") admite alineaciones del tipo recta (R), clotoide (CL) o curva circular (C), mientras que las otras dos opciones ("2- SENCILLA SÓLO PUNTOS" Y "3- IMPORTAR PUNTOS) son sólo para la introducción de trazados sencillos, formados por alineaciones rectas.

Una vez introducido el trazado de cualquiera de las tres formas comentadas, este se guardará en la variable EJT.

```
*****
*                               1- INTRODUCCIÓN COMPLETA                               *
*****
```

Admite como alineaciones: rectas, curvas circulares y clotoides.

Se utiliza para trazados en los que existe continuidad en el acimut, o dicho de otra modo, las alineaciones son tangentes entre si. Es decir, el acimut final de una alineación es el acimut inicial de la siguiente.

Para seleccionar este tipo de introducción, se selecciona la opción 1 de la Figura 8 (Tipos de introducción de trazado).

En este tipo de introducción, la aplicación nos pedirá primero el número de alineaciones de que consta el trazado y luego tendremos que ir introduciendo las sucesivas alineaciones, con la particularidad que una vez que introduzcamos la primera, la aplicación calcula el punto kilométrico, las coordenadas (X,Y) y acimut iniciales de la siguiente alineación, lo cual facilita la introducción de las siguientes alineaciones.

Al seleccionar este tipo de introducción, lo primero que aparece es una pantalla donde se nos pregunta el número de alineaciones del trazado.

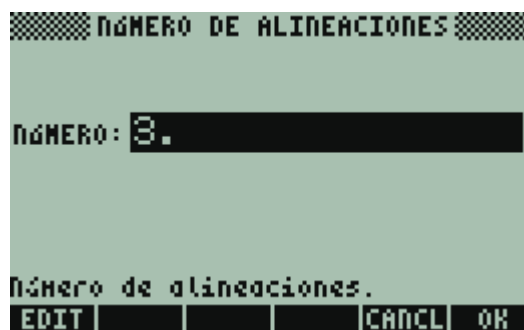


Figura 9: Número de alineaciones.

Después, se presenta una pantalla donde debemos rellenar las características de cada alineación y pulsar OK/ENTER para pasar a la siguiente alineación.

Al movernos con el cursor por los valores que definen la alineación, en la parte inferior de la pantalla, se nos muestra un mensaje con información sobre el valor a introducir.



Figura 10: Características de cada alineación.

Donde:

PK: punto kilométrico inicial en metros de la alineación.

L: longitud en metros de la alineación.

X: coordenada equis en metros del punto inicial de la alineación.

Y: coordenada i griega en metros del punto inicial de la alineación.

θ : acimut inicial en grados centesimales de la alineación.

Ae: parámetro de entrada de la clotoide de entrada.

R: valor del radio en metros de la curva circular, si la alineación es una recta el valor será cero. Si el radio es positivo, la curva circular es a derechas y si es negativo a izquierdas.

As: parámetro de salida de la clotoide de salida.

Una vez introducida la primera alineación, la aplicación calcula el punto kilométrico, X, Y y acimut de la alineación siguiente.

Al introducir la última alineación y pulsar OK/ENTER, la aplicación construye internamente la variable EJT y vuelve a la pantalla de opciones de la aplicación (Figura 6).

```

*****
*                2- INTRODUCCIÓN SENCILLA SÓLO PUNTOS                *
*****

```

Esta introducción, define un trazado formado por alineaciones rectas.

Para seleccionar este tipo de introducción, se selecciona la opción 2 de la Figura 8 (Tipos de introducción de trazado).

La aplicación, nos pide primero el número de alineaciones del trazado en una pantalla igual a la de la Figura 9.

Después, nos pide el punto kilométrico inicial (PK) y las coordenadas (X,Y) de los puntos inicial y final que definen la primera alineación (X1,Y1) y (X2,Y2).

The screenshot shows a terminal window titled 'ALINEACION 1. DE 2.'. It contains the following text and input fields:

```

ALINEACION 1. DE 2.:
PK: 0.
X1: 0.      Y1: 0.
X2: 0.      Y2: 0.

Punto Kilométrico en m.
EDIT  CANCL  OK

```

Figura 11: Características alineación recta (Introducción sencilla).

Una vez introducida la primera alineación, la aplicación calcula el punto kilométrico inicial y el punto inicial de la alineación o alineaciones posteriores.

Al introducir la última alineación y pulsar OK/ENTER, la aplicación construye internamente la variable EJT y vuelve a la pantalla de opciones de la aplicación (Figura 6).

```

*****
*                3- INTRODUCCIÓN IMPORTAR PUNTOS                *
*****

```

Esta introducción, define un trazado formado por alineaciones rectas.

Para seleccionar este tipo de introducción, se selecciona la opción 3 de la Figura 8 (Tipos de introducción de trazado).

Esta introducción es igual que la anterior, pero los puntos no hay que introducirlos manualmente en la aplicación, sino que los podemos transferir de una aplicación externa a la calculadora.

Para ello, primero los puntos se guardan con un determinado formato, después se transfieren a la calculadora y se guardan en la variable EJX, para que después la aplicación los importe desde esta variable.

La variable EJX, es una lista de valores separados por espacios y delimitada por llaves, el primer valor corresponde al punto kilométrico inicial de la alineación (PKINIC), el resto de valores en grupos de tres definen cada punto de la alineación, cada punto se concreta con tres valores separados por espacios: número de punto (N_i), coordenada X (X_i) y coordenada Y (Y_i).

La variable EJX, tiene el siguiente formato para una lista con n puntos:

```
{PKINIC N1 X1 Y1 N2 X2 Y2 N3 X3 Y3 ----- Nn Xn Yn}
```

Al seleccionar la opción 3 (importar puntos), la aplicación construye internamente la variable EJT y vuelve a la pantalla de opciones de la aplicación (Figura 6).

3.2.2 DEFINICIÓN DE LAS ALINEACIONES EN LA INTRODUCCIÓN DEL TRAZADO.

En este apartado, se va a explicar cómo se introducen las alineaciones para el tipo de introducción 1 (1- Completa), ya que el resto de tipos de introducción (2 y 3) corresponden exclusivamente a rectas que se definen por las coordenadas (X,Y) de sus puntos inicial y final

Cada elemento de trazado, se define de diferente manera atendiendo a su geometría particular.

RECTAS:

Se definen con su punto kilométrico inicial en metros (PK INICIAL), coordenadas planas iniciales en metros (X, Y), longitud en metros (L), y su acimut inicial en grados centesimales (θ).

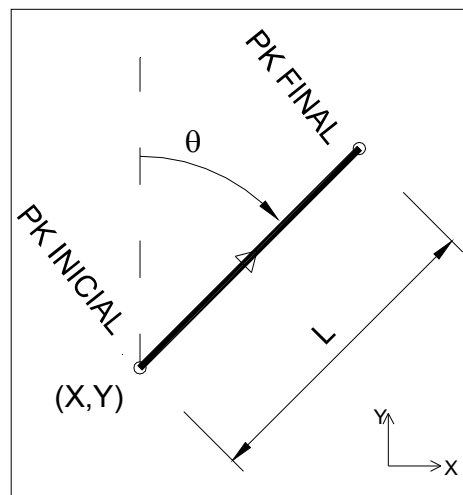


Figura 12: Definición de recta.

En el caso de los tipos de introducción 2 y 3 (2- Sencilla Sólo Puntos y 3- Importar Puntos), las rectas se definen con las coordenadas (X,Y) de sus puntos inicial y final.

CURVAS CIRCULARES:

Se definen con su punto kilométrico inicial en metros (PK INICIAL), coordenadas planas iniciales en metros (X, Y), longitud en metros (L), acimut inicial en grados centesimales (θ) y radio en metros (R). Si el radio es positivo se entiende que la curva es a derechas y si es negativo la curva es a izquierdas.

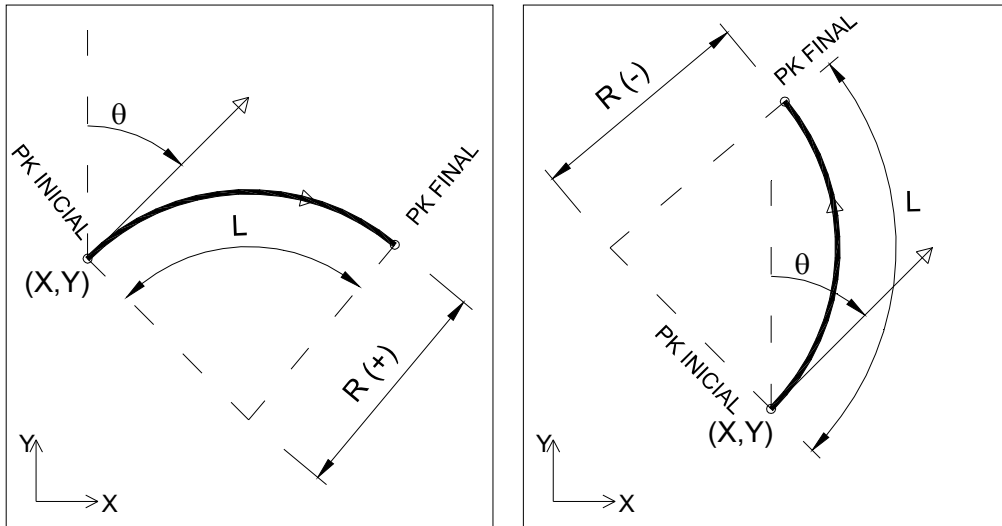


Figura 13: Definición de curva circular.

CURVAS DE TRANSICIÓN DEL TIPO CLOTOIDE:

Se definen con su punto kilométrico inicial en metros (PK INICIAL), coordenadas planas iniciales en metros (X, Y), longitud en metros (L), acimut inicial en grados centesimales (θ), radio en metros (R) (si el radio es positivo se entiende que la curva es a derechas y si es negativo la curva es a izquierdas) y parámetro de entrada (AE) o parámetro de salida (AS).

Se introduce el parámetro de entrada AE, cuando la clotoide está intercalada antes de una curva circular en el sentido de avance del eje, por contra se introduce parámetro de salida AS, cuando la clotoide se intercala después de una curva circular.

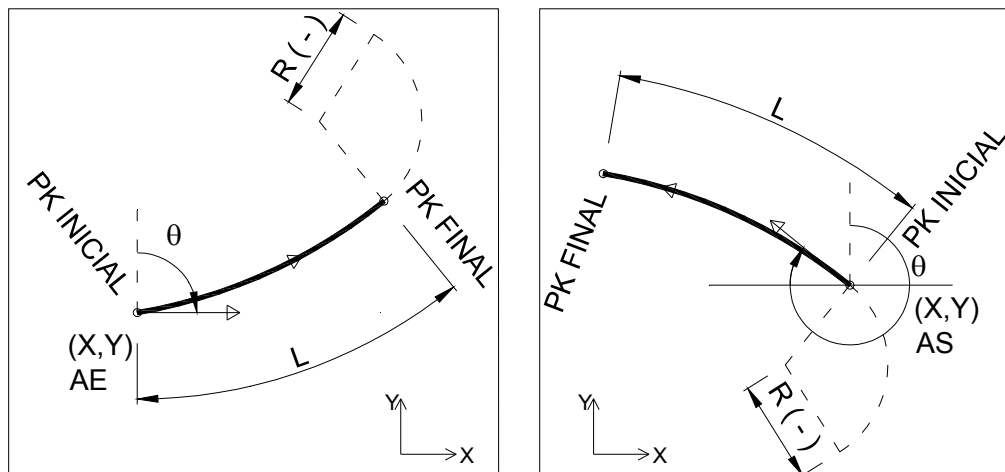


Figura 14: Definición de curva de transición clotoide.

3.2.3 ANÁLISIS DEL TRAZADO EN PLANTA.

Para analizar un trazado, se pulsa el número 2 en el teclado de la calculadora.

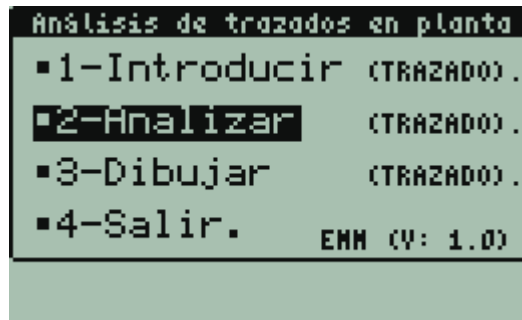


Figura 15: Opción 2, analizar un trazado.

Después, aparece una pantalla con información del trazado seleccionado. La información que aparece son los puntos kilométricos inicial y final (en metros), la longitud del trazado (en metros) y el número de alineaciones.

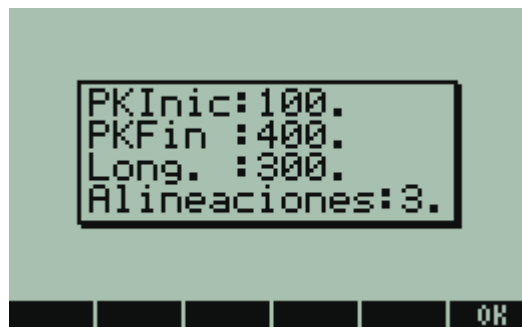


Figura 16: Información del trazado.

Luego, aparece una pantalla con los dos tipos de cálculo sobre el trazado introducido.

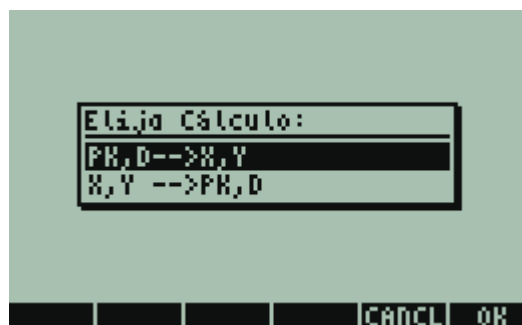


Figura 17: Tipos de cálculo (Analizar un trazado).

Los dos tipos de cálculo, obedecen a dos maneras de identificar cualquier punto próximo o contenido en un trazado, una manera es por medio de sus coordenadas planas (X,Y) y la otra manera es señalando su punto kilométrico (PK) y su distancia (D) al trazado.

Los dos tipos de cálculo son los siguientes:

- 1) CÁLCULO DE LAS COORDENADAS PLANAS (X,Y) Y ACIMUT (θ) a partir de un punto kilométrico introducido (PK) y una distancia al eje (D).

Si la distancia introducida es positiva, se entiende que el punto a calcular está a la derecha del eje, y si es negativa está a la izquierda.

Cuando hablamos de distancia D, nos estamos refiriendo a la distancia mínima entre el punto y la alineación.

Datos de entrada → Datos de salida (calculados)

PK, D → (X,Y), θ_i

- 2) CÁLCULO DEL PUNTO KILOMÉTRICO (PK), DISTANCIA AL EJE (D) Y COORDENADAS PLANAS Y ACIMUT A UNA DISTANCIA NULA DEL EJE (X_i, Y_i, θ_i) a partir de las coordenadas planas de un punto (X,Y). Es el cálculo inverso al anterior.

Datos de entrada → Datos de salida (calculados)

(X,Y) → PK, D, (X_i, Y_i), θ_i

Para representar gráficamente los dos tipos de cálculo anteriormente enunciados, acudimos a la siguiente figura.

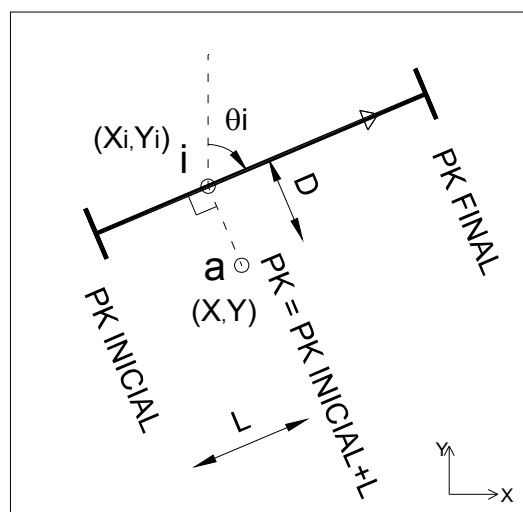


Figura 18: Representación de los tipos de cálculo sobre un trazado en planta.

La figura 18, representa un trazado en planta sencillo formado por una única alineación que es una recta. En la figura se representa el punto "a" que está situado a la derecha del trazado a una distancia D de la alineación. Según lo explicado, este punto se puede identificar por medio de sus coordenadas planas (X,Y) o por medio del punto kilométrico (PK = PK INICIAL +L) que le corresponde en la alineación y su distancia al eje (D).

También se representa el punto "i" con coordenadas planas (Xi,Yi) y acimut θ_i , este punto representa la proyección perpendicular sobre la alineación del punto "a", si el punto "a" estaría a una distancia D nula de la alineación, los puntos "a" e "i" serían el mismo punto.

Atendiendo a esta figura, los dos tipos de cálculo que permite la aplicación dentro de la opción de análisis del trazado en planta serían:

Datos de entrada	Datos de salida (calculados)
Cálculo 1: (PK,D)	(X,Y,θ_i)
Punto kilométrico en metros (PK). Distancia al eje (D).	Coordenadas punto "a" (X,Y). Acimut en ese punto (θ_i).
Cálculo 2:(X,Y)	(PK,D,Xi,Yi, θ_i)
Coordenadas punto "a" (X,Y).	Punto kilométrico en metros (PK). Distancia al eje (D). Coordenadas y acimut punto "i" (Xi, Yi, θ_i).

Un mismo punto, puede pertenecer a varias alineaciones de un trazado, como se puede ver en la siguiente figura.

En la figura se ve un trazado formado por tres alineaciones: curva circular- recta - curva circular.

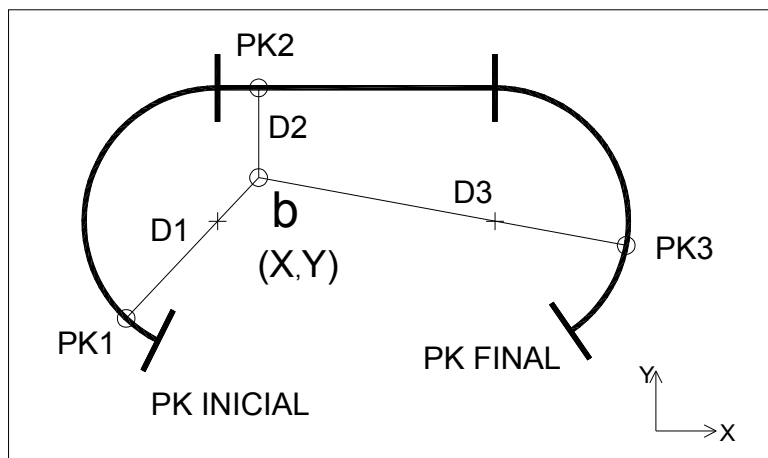


Figura 19: Punto que pertenece a tres alineaciones distintas.

El punto "b", pertenece a tres alineaciones distintas, según qué alineación consideremos, le corresponderían distintos puntos kilométricos (PK1, PK2, PK3) y distintas distancias al trazado (D1, D2, D3).

La aplicación, dadas las coordenadas de un punto (X,Y), buscará la mínima distancia al trazado y una vez obtenida esta, el punto kilométrico (PK) que le corresponda a esta distancia mínima.

En el ejemplo de la figura anterior, se ve que la distancia mínima al trazado es D2 y por tanto el punto kilométrico y la distancia que le corresponden al punto "b" son: PK2 y D2.

En la siguiente figura, se ven los datos de entrada y salida para el Cálculo 1: $(PK, D) \rightarrow (X, Y, \theta_i)$.



Figura 20: Datos de entrada (derecha) y datos de salida (izquierda) para el cálculo 1: $(PK, D) \rightarrow (X, Y, \theta_i)$.

En la figura 21, se ven los datos de entrada y salida para el Cálculo 2: $(X, Y) \rightarrow (PK, D, X_i, Y_i, \theta_i)$.



Figura 21: Datos de entrada (izquierda) y datos de salida (derecha) para el Cálculo 2: $(X, Y) \rightarrow (PK, D, X_i, Y_i, \theta_i)$.

Al movernos con el cursor por los valores de las pantallas de entrada de datos, en la parte inferior de la pantalla, se nos muestra un mensaje con información sobre el valor a introducir.

Si pulsamos OK/F6 después de obtener los datos de salida de los cálculos 1 ó 2, volveremos a la pantalla de datos de entrada para meter nuevos valores.



Si pulsamos CANCL/F5 después de obtener los datos de salida de los cálculos 1 ó 2, volveremos a la pantalla de opciones de la aplicación (Figura 6: Opciones de la aplicación).



3.2.4 DIBUJO DEL TRAZADO EN PLANTA.

Para dibujar un trazado, se pulsa el número 3 en el teclado de la calculadora.

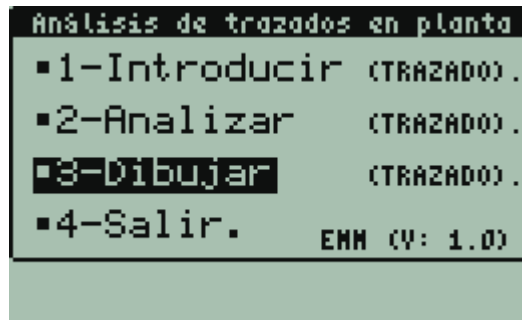


Figura 22: Opción 3, dibujar un trazado.

La aplicación, permite realizar una representación gráfica del trazado en planta introducido.

En esta representación, se dibuja el trazado poniendo los valores del PK inicial y final del trazado, y se separa mediante marcas las alineaciones que conforman el trazado para que podamos identificarlas.

En la representación gráfica, es posible movernos con el cursor y ver las coordenadas de los puntos por donde el cursor se desplaza.

En la figura siguiente, se observa un trazado con cinco alineaciones, punto kilométrico inicial 0 y punto kilométrico final 2850.

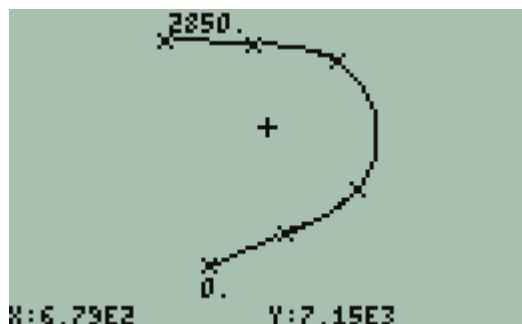


Figura 23: Dibujo de un trazado.

Si pulsamos CANCL/F6 o la tecla CANCL/ON, volveremos a la pantalla de opciones de la aplicación (Figura 6: Opciones de la aplicación).



3.2.5 SALIR DE LA APLICACIÓN.

Para salir de la aplicación, se pulsa el número 4 en el teclado de la calculadora.

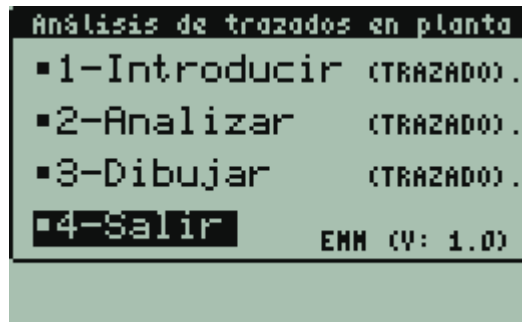


Figura 24: Opción 4, salir de la aplicación.

CAPÍTULO 4. DISEÑO DEL SISTEMA**4.1 INTRODUCCIÓN.**

En este capítulo, se van a presentar de manera sencilla, los principios sobre los que se ha desarrollado la aplicación.

Este software, la primera vez que se usa, necesita para funcionar la introducción de un trazado en planta, si no existe un trazado introducido como es lógico no lo podrá analizar ni dibujar.

Una vez definido un trazado, cuando salgamos de la aplicación y volvamos a abrir la aplicación, el trazado definido anteriormente se quedará guardado por defecto (en la variable global EJT) y no será necesario definir el trazado de nuevo.

La aplicación tiene como elemento principal la variable EJT, que es la variable dónde el programa almacena las características del trazado en estudio.

El funcionamiento de la aplicación se basa en la variable EJT, esta variable es el elemento clave de funcionamiento de la aplicación, ya que identifica y define el trazado en planta.

Por tanto, cualquiera de las funciones de la aplicación: introducción, análisis y dibujo pasan por el análisis y estudio de esta variable.

Se ha creído conveniente, definir esta variable como un conjunto de listas, ya que el agrupar los elementos de trazado en listas, posibilita luego la programación posterior y se evita el trabajar con muchas variables.

Por otra parte, es una variable que permite una interpretación rápida del trazado. Con sólo verla, el usuario se hace una idea de cuántas alineaciones tiene el trazado, qué longitud total tiene y cuál es su punto kilométrico inicial y final.

Se crea en la opción de introducción del trazado en planta en la misma aplicación, o se puede crear con un simple editor de texto a partir de datos importados de otros softwares de trazado.

Esta variable, es una lista que engloba otras listas en su interior. Para un trazado en planta compuesto por n alineaciones, la variable EJT estaría formado por una lista que englobaría a $n+2$ listas en su interior.

La primera lista, es un encabezado que indica qué dato está colocado en cada columna de las listas siguientes.

Las siguientes n listas, representan los datos de definición de cada elemento del trazado en planta o alineación.

La última lista, identifica los datos del punto final del eje en cuestión, con la particularidad que al ser sólo un punto y no un elemento de trazado, se identifica sólo con el punto kilométrico final (PK_{n+1}), las coordenadas (X,Y) (X_{n+1} , Y_{n+1}) y el acimut final (θ_{n+1}), siendo el resto de valores cero.

{N	PK	L	X	Y	θ	AE	R	AS }
{1	PK1	L1	X1	Y1	θ_1	AE1	R1	AS1 }
{2	PK2	L2	X2	Y2	θ_2	AE2	R2	AS2 }
{3	PK3	L3	X3	Y3	θ_3	AE3	R3	AS3 }
{...}
{n	PKn	Ln	Xn	Yn	θ_n	AEn	Rn	ASn }
{n+1	PKn+1	0	Xn+1	Yn+1	θ_{n+1}	0	0	0 }

Figura 25: Estructura de la variable EJT

Para entender la variable EJT, sólo nos resta definir qué representan las letras que identifican los valores de cada columna:

N : número de alineación.

PK: punto kilométrico inicial en metros de la alineación.

L: longitud en metros de la alineación.

X: coordenada equis en metros del punto inicial de la alineación.

Y: coordenada i griega en metros del punto inicial de la alineación.

θ : acimut inicial en grados centesimales de la alineación.

Ae: parámetro de entrada de la clotoide de entrada.

R: valor del radio en metros de la curva circular, si la alineación es una recta el valor será cero. Si el radio es positivo, la curva circular es a derechas y si es negativo a izquierdas.

As: parámetro de salida de la clotoide de salida.

Los valores de la variable EJT, se definen en la aplicación con el máximo número de cifras significativas que admite la calculadora por defecto.

La sencillez de esta variable, posibilita construirla con un editor de texto a partir de datos importados de cualquier software de trazado para luego exportarla a la calculadora/emulador, lo cual evita tener que introducir el trazado mediante la aplicación, lo único que habrá que tener en cuenta es respetar el formato de esta variable, incluyendo en primer lugar el encabezado y las n+1 listas detrás.

La otra manera de introducir la variable, es directamente mediante la aplicación.

4.2 DISEÑO DE LA INTRODUCCIÓN DE UN TRAZADO.

 * 1- INTRODUCCIÓN COMPLETA *

Al seleccionar la opción 1 en la pantalla de opciones de la aplicación (ver Figura 6: Opciones de la aplicación), y seleccionar después la opción 1 Introducción Completa (ver Figura 8: Tipos de introducción de trazado), la aplicación permite definir la variable EJT, que define el trazado en planta.

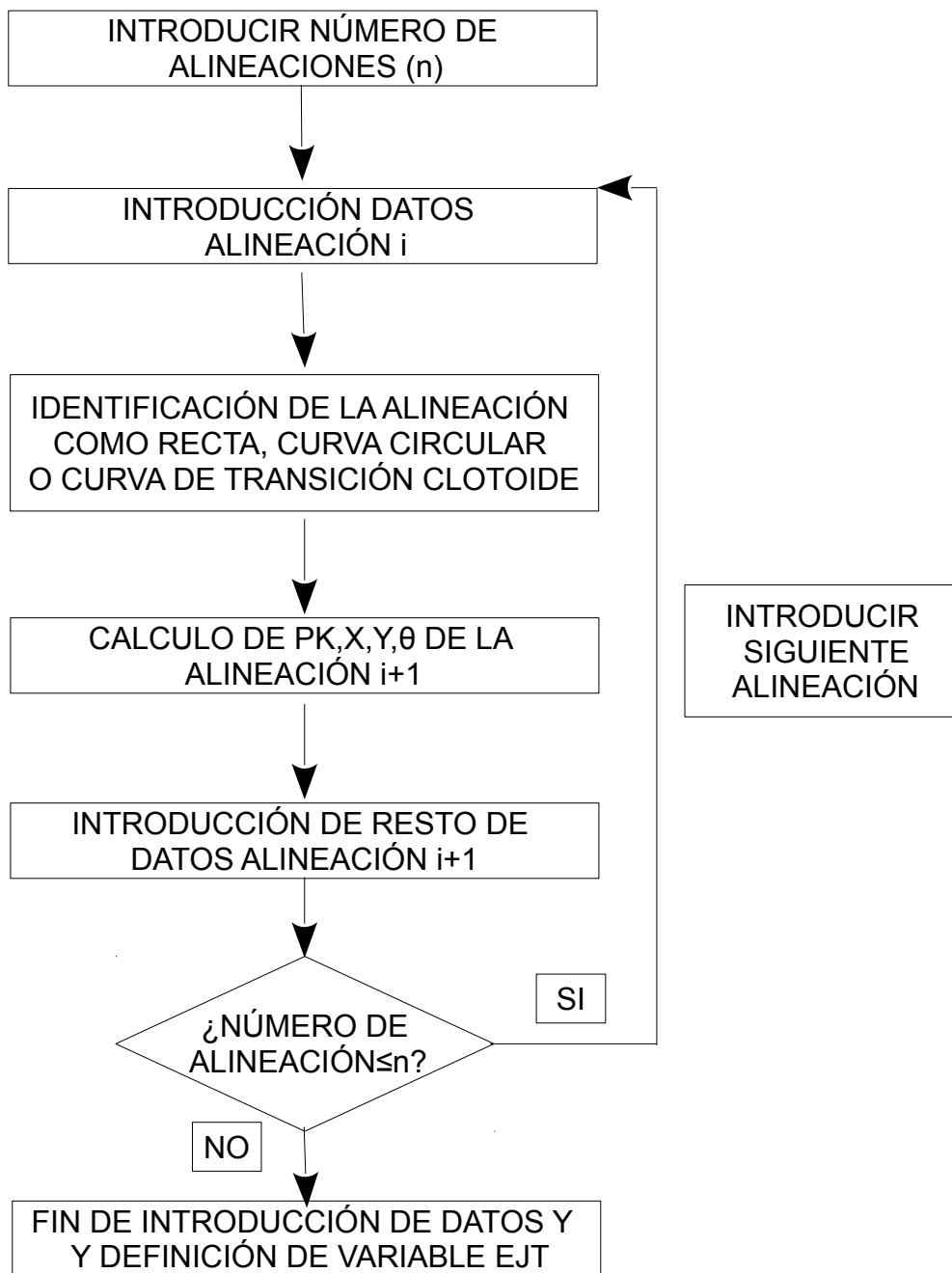


Figura 26: Diagrama de flujo de la opción Introducción COMPLETA del trazado.

Al elegir esta opción en la aplicación, se nos va a pedir el número de alineaciones de que consta el trazado y acto seguido aparecerán sucesivamente tantas pantallas de introducción de datos como número de alineaciones conformen el trazado en planta.

Se va a utilizar una plantilla de entrada de datos para cada alineación, de manera que el usuario vea todos los datos que va introduciendo junto con una explicación de cada dato a introducir.

Una vez que se ha introducido la primera alineación, la aplicación calcula para las siguientes alineaciones, los valores de PK, X, Y y θ iniciales, quedando para el usuario tan sólo el introducir la longitud de la alineación (L), y los valores de radio R y parámetro de la curva de transición (clotoide) si es que existen.

Para que la aplicación calcule los valores de PK, (X,Y), θ iniciales de la alineación siguiente, debe identificar primero a qué tipo de alineación corresponde la alineación actual.

La aplicación, identifica el tipo de alineación en base a los datos de Ae (Parámetro de la clotoide de entrada), R (Radio) y As (Parámetro de la clotoide de salida) de cada alineación, según la figura siguiente:

DATOS			TIPO DE ALINEACIÓN
AE	R	AS	
cero	cero	cero	RECTA
cero	≠ cero	cero	CURVA CIRCULAR
≠ cero	≠ cero	cero	CURVA DE TRANSICIÓN CLOTOIDE DE ENTRADA
cero	≠ cero	≠ cero	CURVA DE TRANSICIÓN CLOTOIDE DE SALIDA

Figura 27: Identificación de los TIPOS DE ALINEACIONES.

El cálculo de estos valores iniciales de PK, X, Y, y θ es el mismo que la aplicación realiza en el cálculo 1: (PK,D) \rightarrow (X,Y, θ_i) de la opción de análisis, por tanto estos cálculos se explicarán en el epígrafe siguiente (4.3 DISEÑO DEL ANÁLISIS DEL TRAZADO EN PLANTA).

* 2- INTRODUCCIÓN SENCILLA SÓLO PUNTOS *

Al seleccionar la opción 1 en la pantalla de opciones de la aplicación (ver Figura 6: Opciones de la aplicación), y seleccionar después la opción 2 Introducción sencilla sólo puntos (ver Figura 8: Tipos de introducción de trazado), la aplicación permite definir la variable EJT, que define el trazado en planta.

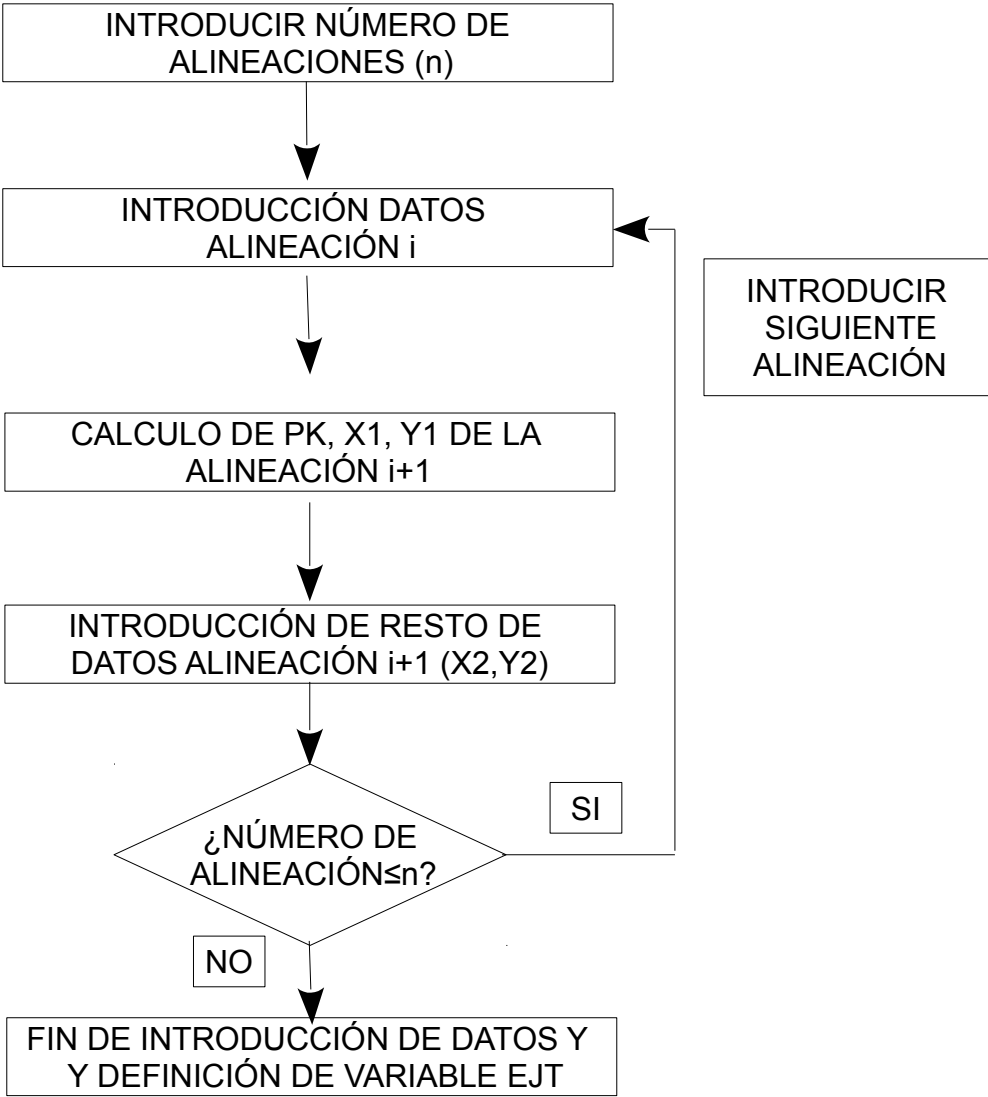


Figura 28: Diagrama de flujo de la opción Introducción SIMPLE solo puntos del trazado.

En este tipo de introducción, el trazado introducido se compone únicamente de alineaciones rectas. Esto produce un problema que es el siguiente: existen puntos (X,Y) que pertenecen al trazado, pero debido a que este se define sólo con alineaciones rectas, no es posible encontrar la pertenencia de estos puntos al trazado (estamos suponiendo que las rectas tienen distinto acimut), es decir existe un problema de indeterminación.

Esto se explica mejor en la siguiente figura. Esta figura representa un trazado formado por dos alineaciones rectas que unen tres puntos (1,2,3), pues bien el punto "C" de coordenadas (X,Y) no pertenece a ninguna alineación recta, pues se encuentra fuera de los límites de cada alineación marcados con líneas discontinuas.

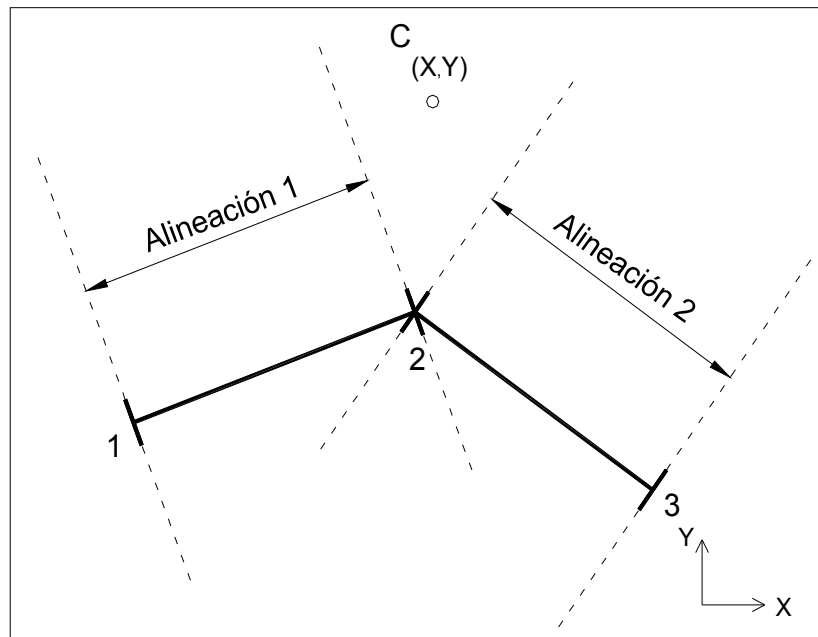


Figura 29: Problema de indeterminación de puntos, en trazados formados sólo por alineaciones rectas.

Para solucionar este problema, la aplicación cuando construye la variable EJT, inserta alineaciones del tipo curva circular entre las alineaciones rectas del trazado introducido.

El radio de las alineaciones curvas introducidas es siempre el mismo y tiene un valor de 0,051 metros. Al introducir un valor tan pequeño, se busca que este no influya apenas en la geometría del trazado introducido.

De forma que si un trazado estaba formado por dos alineaciones rectas, al crearse la variable EJT, esta tendrá tres alineaciones (dos rectas y una curva circular).

De manera general, a un trazado compuesto en su origen por n alineaciones rectas, se le añadirán $n-1$ alineaciones curvas, teniendo finalmente $2n-1$ alineaciones totales ($(n+(n-1))$).

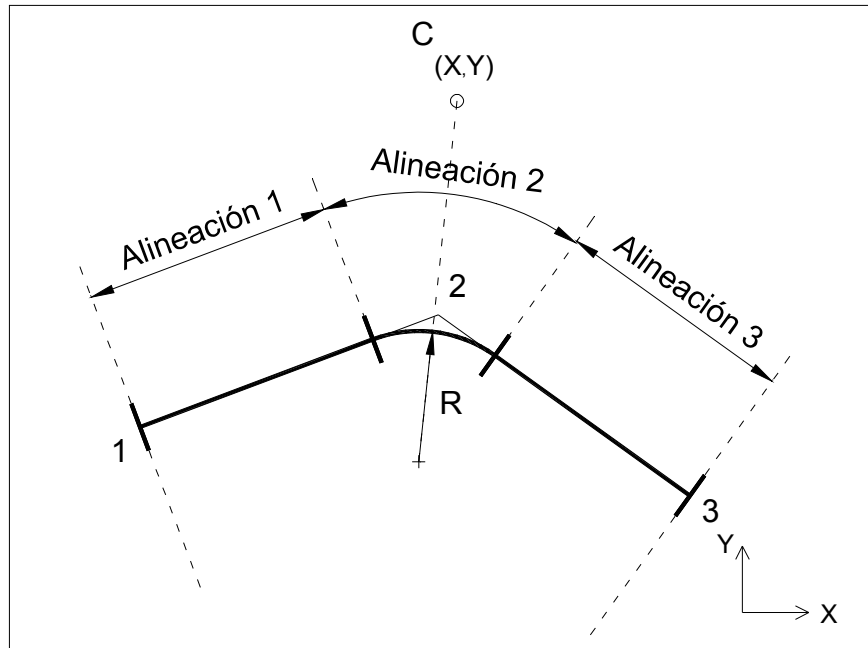


Figura 30: Solución al problema de indeterminación de puntos, en trazados formados sólo por alineaciones rectas insertando una curva circular.

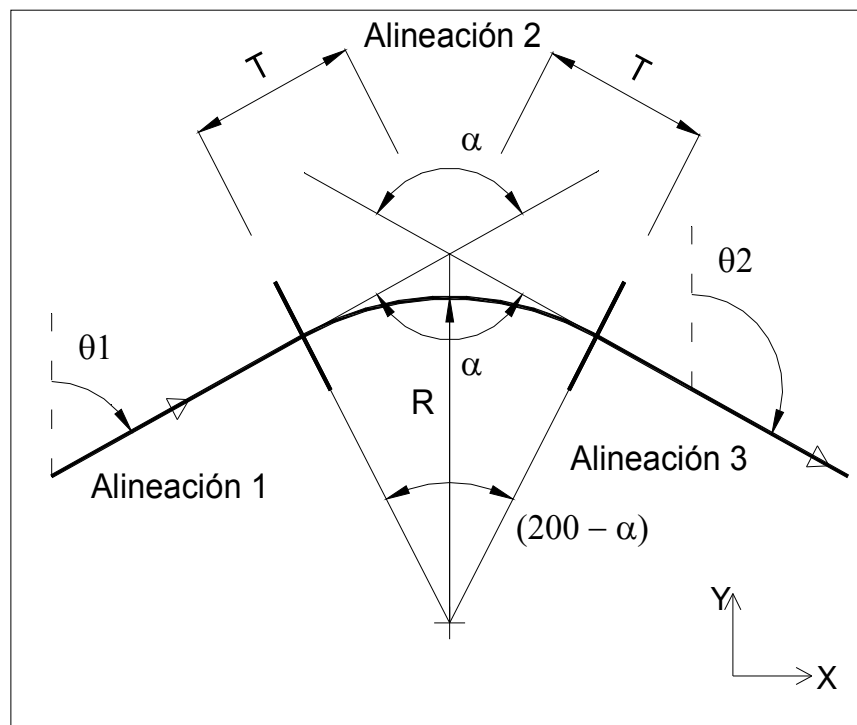


Figura 31: Definición de la curva circular insertada.

Para insertar las nuevas alineaciones del tipo curva circular, la aplicación debe restar a las alineaciones rectas originales un valor T, para calcular las nuevas coordenadas (X,Y) finales de la alineación recta 1 y coordenadas (X,Y) iniciales de la alineación recta 3.

Las siguientes fórmulas, proporcionan los datos necesarios para la definición geométrica de la alineación introducida del tipo curva circular.

$$\alpha = 200 - (\theta_2 - \theta_1 + 400)$$

$$T(\text{Tangente}) = R * \tan(100 - \alpha/2)$$

$$L(\text{longitud arco}) = (200 - \alpha) * R$$

```
*****
*                                     *
*                   3- INTRODUCCIÓN IMPORTAR PUNTOS                   *
*                                     *
*****
```

Este tipo de introducción, es igual que la anterior, sólo que el usuario no tiene que introducir ningún punto de las alineaciones.

La aplicación importa los puntos de la variable EJX, calcula el número de alineaciones, introduce las curvas circulares y crea la variable EJT automáticamente.

4.3 DISEÑO DEL ANÁLISIS DEL TRAZADO EN PLANTA.

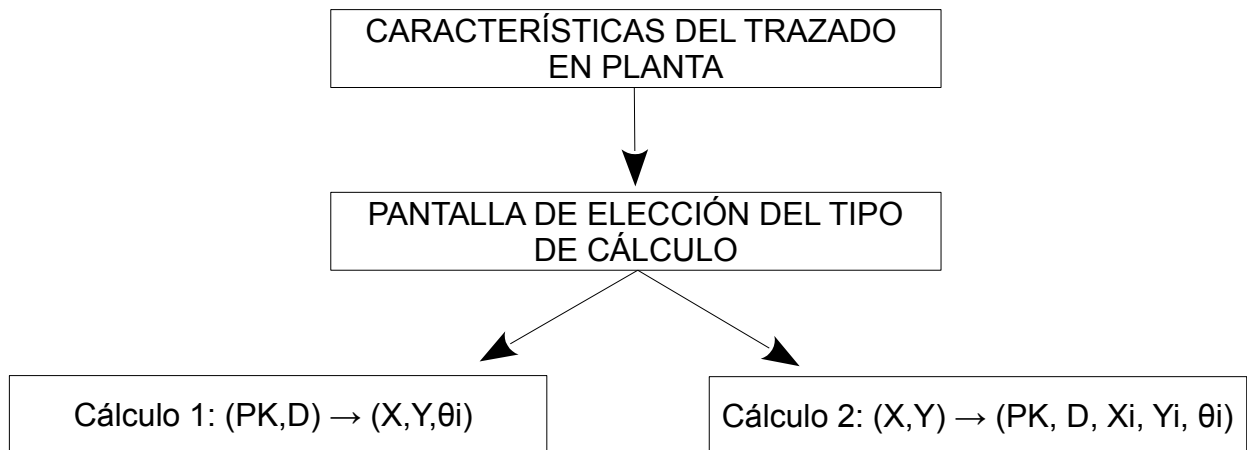


Figura 32: Diagrama de flujo de la opción ANÁLISIS del trazado.

Al seleccionar la opción 2, análisis del trazado en planta (ver Figura 6: Opciones de la aplicación) la aplicación muestra las características del trazado en planta seleccionado: PK inicial, PK final, longitud y número de alineaciones.

Se ha creído conveniente, que la aplicación describa el trazado con el que se trabaja, para que el usuario esté seguro con qué trazado está trabajando y cuales son sus características.

Después de la descripción del trazado, la aplicación pide al usuario elegir uno de los dos tipos de cálculo.

Como ya se ha comentado anteriormente, la aplicación en la opción de análisis desarrolla dos tipos de cálculo:

Datos de entrada	Datos de salida (calculados)
Cálculo 1: (PK,D)	(X,Y,θi)
Punto kilométrico en metros (PK). Distancia al eje (D).	Coordenadas punto a (X,Y). Acimut en ese punto (θi).
Cálculo 2:(X,Y)	(PK,D,Xi,Yi, θi)
Coordenadas punto a (X,Y).	Punto kilométrico en metros (PK). Distancia al eje (D). Coordenadas y acimut punto i (Xi, Yi, θi), punto sobre la alineación.

Una característica importante es que, la aplicación junto con los datos de salida (calculados), muestra también los datos de entrada para así definir inequívocamente la relación entre los datos de partida/entrada y los datos de salida/calculados.

4.3.1 CÁLCULO 1: $(PK, D) \rightarrow (X, Y, \theta_i)$

Ahora, vamos a desarrollar cómo trabaja la aplicación para este cálculo 1.

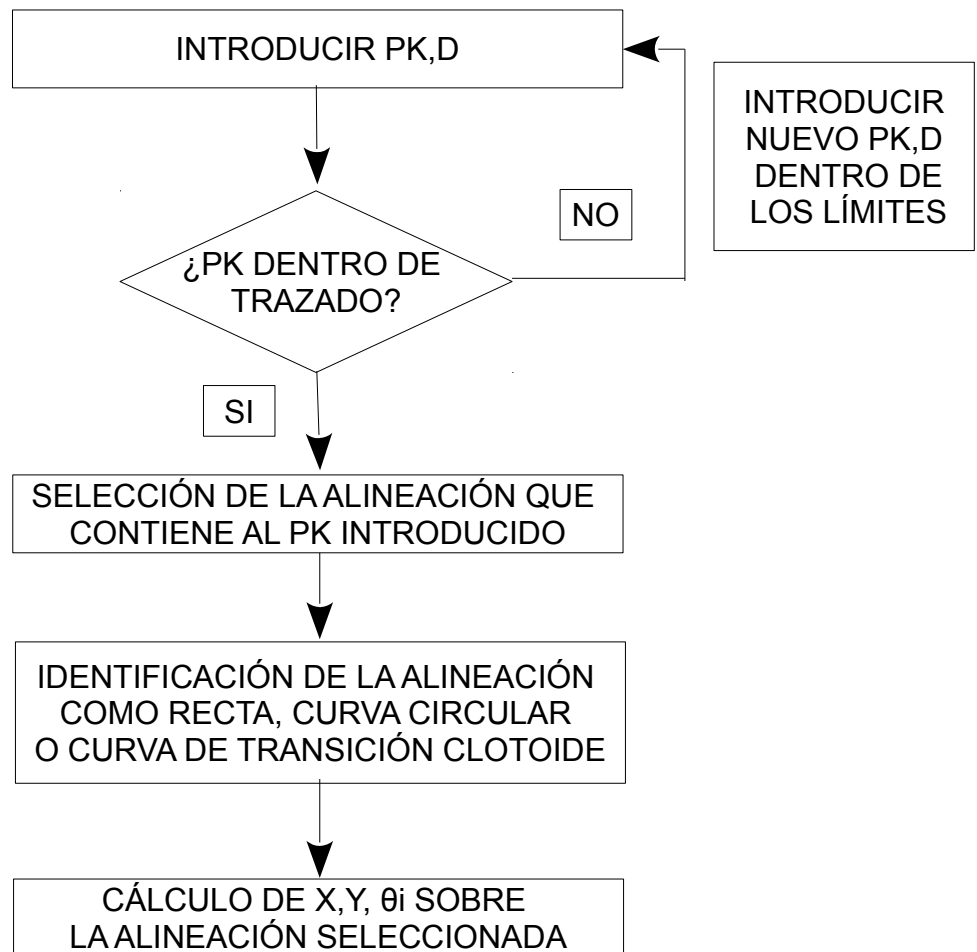


Figura 33: Diagrama de flujo cálculo 1 $(PK, D) \rightarrow (X, Y, \theta_i)$.

Lo primero que hace la aplicación, es comprobar que el PK introducido esté incluido dentro del trazado introducido, es decir, comprueba que el valor introducido sea mayor o igual que el PK inicial del trazado y que sea menor o igual que el PK final del trazado.

Si no cumple con este requisito, la aplicación informa con un mensaje mostrando los límites y diciendo que el PK no está dentro de los límites e insta a introducir un nuevo valor.

Una vez que el valor introducido está dentro del trazado, la aplicación selecciona dentro de la variable EJT la alineación en la cual está incluido el PK. Para ello, la aplicación filtra la variable EJT empezando de la última alineación a la primera, eliminando las alineaciones cuyo PK inicial sea mayor que el valor de PK introducido y seleccionando una única alineación.

Después de seleccionar la alineación, hay que identificar a qué tipo pertenece: recta, curva circular o curva de transición clotoide, ya que dependiendo del tipo de alineación, el cálculo de las incógnitas para el PK,D introducido será distinto.

La aplicación identifica el tipo de alineación en base a los datos de Ae (Parámetro de la clotoide de entrada), R (Radio) y As (Parámetro de la clotoide de salida) de cada alineación según la figura 27.

Cuando ya está seleccionada la alineación que engloba el PK introducido y sabemos de qué tipo es, se calcula la solución (X,Y), θ_i , este cálculo será distinto dependiendo de si la alineación es una recta, curva circular o curva de transición clotoide.

CALCULO DE (X,Y), θ_i PARA ALINEACIÓN RECTA.

En este caso la incógnita del acimut (θ), está resuelta ya que es igual al valor del acimut de la alineación recta.

Para el cálculo de (X,Y) en alineaciones rectas, la aplicación utiliza estas fórmulas:

$$L = PK - PK_{INICIO\ ALINEACION} \quad [1]$$

$$X_i = X_{INICIO\ ALINEACION} + L * \text{SENO}(\theta_{RECTA}) + |(D)| * \text{SENO}(\theta_{RECTA} + \text{SIGNO}(D) * 100) \quad [2]$$

$$Y_i = Y_{INICIO\ ALINEACION} + L * \text{COSENO}(\theta_{RECTA}) + |(D)| * \text{COSENO}(\theta_{RECTA} + \text{SIGNO}(D) * 100) \quad [3]$$

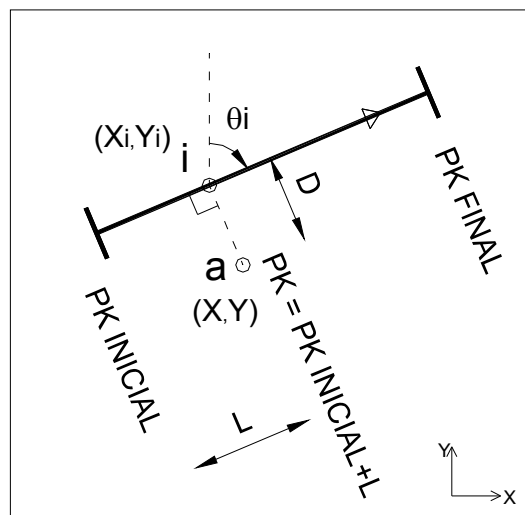


Figura 34: Cálculo 1 (PK,D) \rightarrow (X,Y, θ_i) en alineación recta.

CALCULO DE (X,Y), θ_i PARA ALINEACIÓN CURVA CIRCULAR.

Para el cálculo de (X,Y), θ_i en alineaciones circulares, la aplicación emplea las siguientes fórmulas:

$$L = PK - PK_{\text{INICIO ALINEACION}} \quad [4]$$

$$\alpha = \left(\frac{L}{|R|} \right) * \left(\frac{200}{\pi} \right) \quad [5]$$

$$X_{\text{Centro}} = X_C = X_{\text{INICIO ALINEACIÓN}} + |(R)| * \text{SENO}(\theta_{\text{INICIO ALINEACIÓN}} + \text{SIGNO}(R) * 100) \quad [6]$$

$$Y_{\text{Centro}} = Y_C = Y_{\text{INICIO ALINEACIÓN}} + |(R)| * \text{COSENO}(\theta_{\text{INICIO ALINEACIÓN}} + \text{SIGNO}(R) * 100) \quad [7]$$

$$\theta_{\text{INICIO ALINEACIÓN CENTRO}} = \theta_C^I = 200 + \theta_{\text{INICIO ALINEACIÓN}} + \text{SIGNO}(R) * 100 \quad [8]$$

$$\theta_{(X,Y)}^{(X,Y)} = \theta_C^I + \text{SIGNO}(R) * \alpha \quad [9]$$

$$X = X_C + (|(R)| - D) * \text{SENO}(\theta_{(X,Y)}^{(X,Y)}) \quad [10]$$

$$Y = Y_C + (|(R)| - D) * \text{COSENO}(\theta_{(X,Y)}^{(X,Y)}) \quad [11]$$

$$\theta_i = \theta_{(X,Y)}^{(X,Y)} + \text{SIGNO}(R) * 100 \quad [12]$$

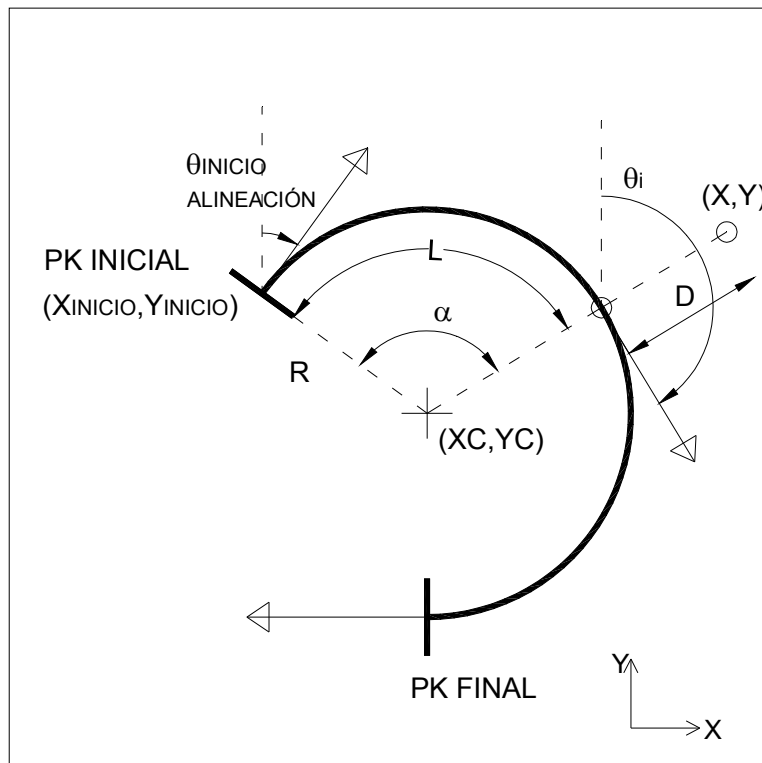


Figura 35: Cálculo 1 (PK,D) → (X,Y,θi) en alineación curva circular.

CALCULO DE (X,Y), θ_i PARA ALINEACIÓN CURVA DE TRANSICIÓN CLOTOIDE.

La aplicación, usa las siguientes fórmulas para el cálculo de (X,Y), θ_i en alineaciones del tipo curva de transición clotoide:

$$L = PK - PK_{INICIO\ ALINEACION} \quad [1]$$

$$R = \frac{A^2}{L} \quad [13]$$

$$\tau = \frac{L}{(2 * R)} = \frac{L^2}{(2 * A^2)} \quad [14]$$

$$x = L * \left(1 - \frac{\tau^2}{(5 * 2!)} + \frac{\tau^4}{(9 * 4!)} - \frac{\tau^6}{(13 * 6!)} + \dots \right) = L * \left(1 - \frac{\tau^2}{10} + \frac{\tau^4}{216} - \frac{\tau^6}{9360} + \frac{\tau^8}{685440} - \dots \right) \quad [15]$$

$$y = L * \left(\frac{\tau}{(3 * 1!)} - \frac{\tau^3}{(7 * 3!)} + \frac{\tau^5}{(11 * 5!)} - \dots \right) = L * \left(\frac{\tau}{3} - \frac{\tau^3}{42} + \frac{\tau^5}{1320} - \frac{\tau^7}{75600} + \dots \right) \quad [16]$$

$$\sigma = \text{ARCOTANG} \left(\frac{y}{x} \right) \quad [17]$$

$$SL = \sqrt{(x^2 + y^2)} \quad [18]$$

$$\theta_i = \theta_{INICIO} + (\text{SIGNO}(R) * \left(\frac{\tau * 200}{\pi} \right)) \quad [19]$$

$$X = X_{INICIO} + SL * \text{SENO}(\theta_{INICIO} + \text{SIGN}(R) * \sigma) + ((D) * \text{SENO}(\theta_i + \text{SIGN}(D) * 100)) \quad [20]$$

$$Y = Y_{INICIO} + SL * \text{COSENO}(\theta_{INICIO} + \text{SIGN}(R) * \sigma) + ((D) * \text{COSENO}(\theta_i + \text{SIGN}(D) * 100)) \quad [21]$$

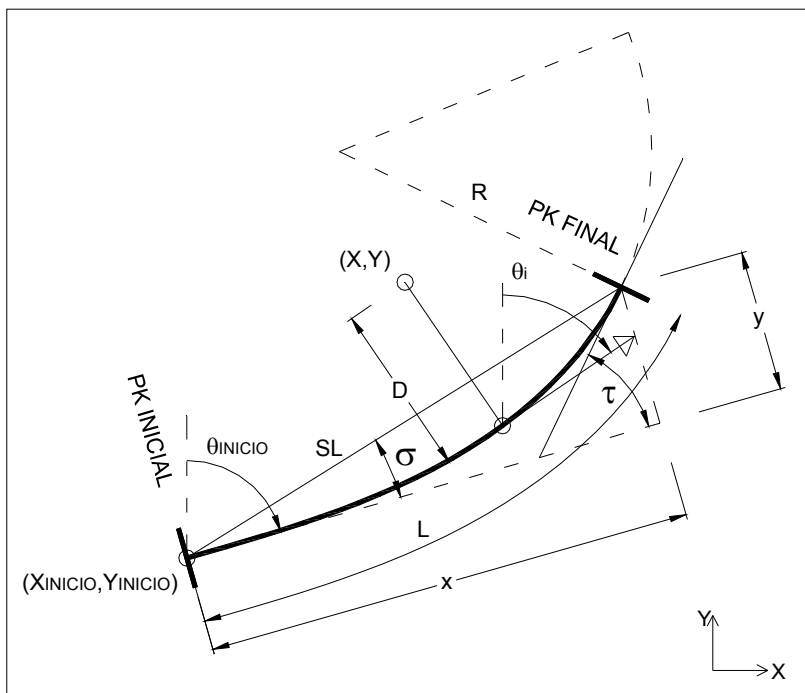


Figura 36: Cálculo 1 (PK, D) → (X, Y, θ_i) en alineación curva de transición clotoide.

Las fórmulas anteriores, hacen referencia al cálculo de la clotoide en la forma habitual de su desarrollo teórico, que es cuando esta tiene su inicio en una recta (radio infinito) y termina en una curva circular de radio R. Es lo que se denomina la clotoide de entrada a una curva circular.

Para el caso de la clotoide de salida de una curva circular, que es aquella que comienza en una curva circular de radio R y termina en una recta, la aplicación calcula las coordenadas (X,Y) y acimut correspondiente al punto donde empieza la alineación recta, y luego la interpreta como una clotoide de entrada para utilizar las fórmulas precedentes.

4.3.2 CÁLCULO 2: $(X, Y) \rightarrow (PK, D, X_i, Y_i, \theta_i)$.

Ahora, vamos a desarrollar cómo trabaja la aplicación para el cálculo 2.

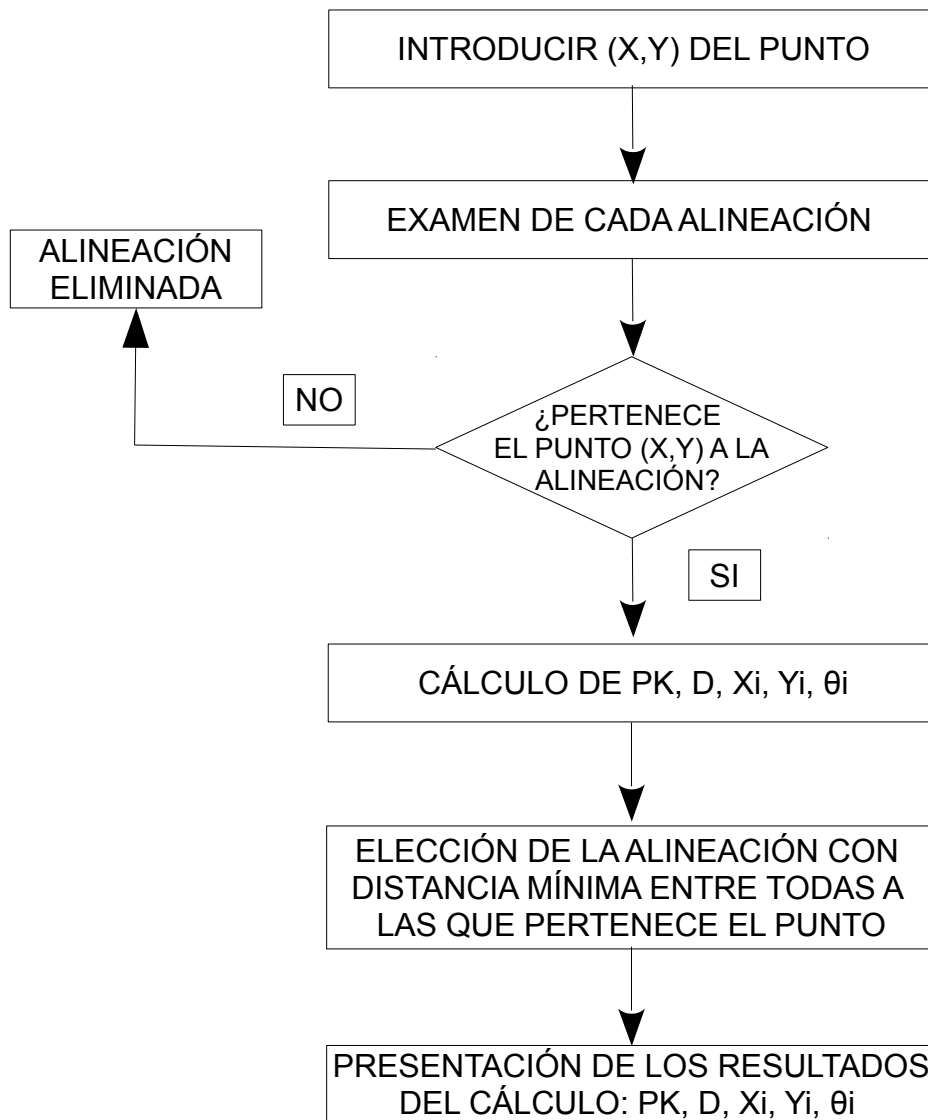


Figura 37: Diagrama de flujo cálculo 2 $(X, Y) \rightarrow (PK, D, X_i, Y_i, \theta_i)$.

PERTENENCIA DE UN PUNTO (X,Y) A UNA ALINEACIÓN.

La pertenencia de un punto o no a una alineación, se basa en el cálculo de valores de acimut y su comparación con los valores de acimut inicial y final de la alineación.

Para entender cómo la aplicación decide si un punto pertenece o no a una alineación, vamos a considerar cuatro valores de acimut:

$$\theta_{INAL} = \text{Acimut inicial de la alineación}$$

$$\theta_{FINAL} = \text{Acimut final de la alineación}$$

$$\theta_{INAL}^{(X,Y)} = \text{Acimut desde el punto inicial de la alineación al punto cualquiera } (X, Y)$$

Estos valores para el caso de una alineación recta, vienen representados en la figura siguiente:

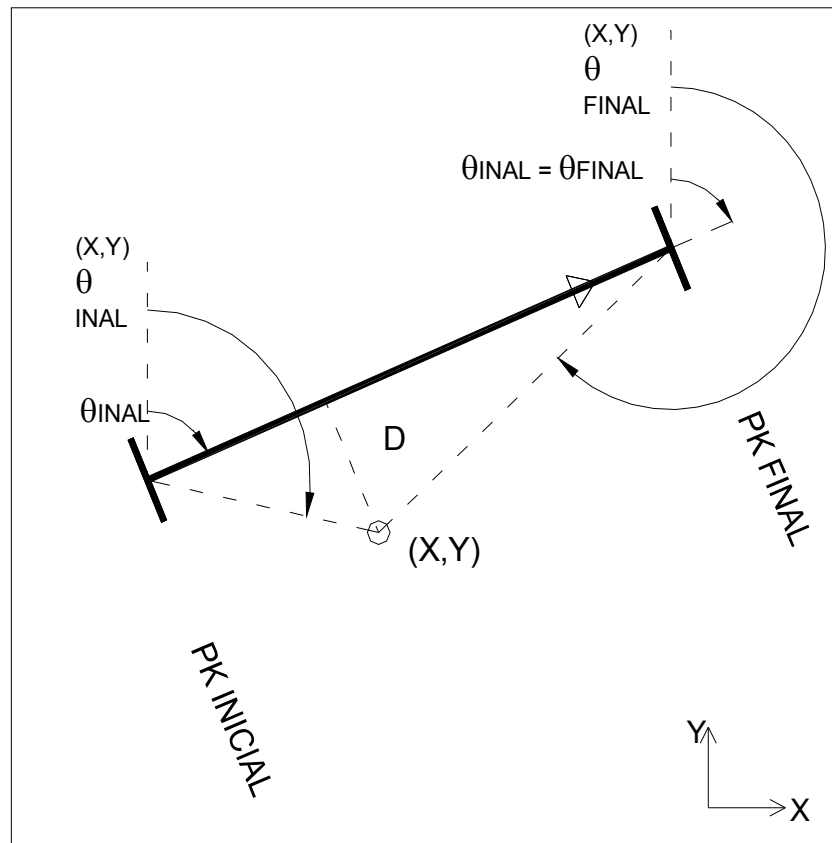


Figura 38: Valores de acimut en alineación recta.

**En el caso de ALINEACIONES RECTAS, se deben cumplir dos condiciones para que el punto (X,Y) pertenezca a la alineación:

- i) $\theta_{INAL}^{(X,Y)}$ esté comprendido entre los valores de $\theta_{INAL} \pm 100g$
- ii) $\theta_{FINAL}^{(X,Y)}$ esté comprendido entre los valores de $(\theta_{FINAL} + 200g) \pm 100g$

En la siguiente figura, se representa una alineación recta con cuatro puntos A,B,C, y D.

Los puntos A y B, pertenecen a la alineación y están a una distancia a la derecha de (+ D) y a una distancia a la izquierda de (- D) respectivamente.

Por contra los puntos C y D, no pertenecen a la alineación, ya que no cumplen las condiciones anteriormente enunciadas, el punto C cumpliría la condición primera (i) pero no la segunda (ii) y con el punto D pasaría al contrario, cumpliría la condición segunda pero no la primera.

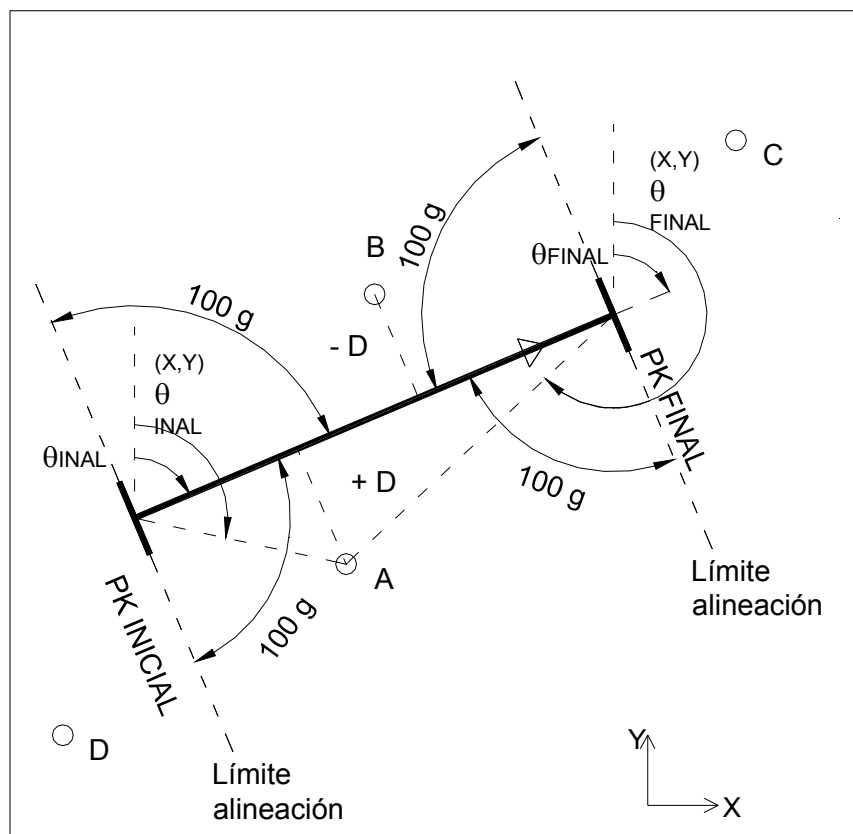


Figura 39: Límites en alineación recta.

Para el caso de alineaciones tipo CURVA CIRCULAR o CURVA DE TRANSICIÓN DEL TIPO CLOTOIDE, la pertenencia de un punto a estas alineaciones no está tan clara en cuanto a una definición matemática con acimutes se refiere.

Por ejemplo en la siguiente figura, están representados dos puntos A y B que pertenecen a una curva circular.

El punto B, cumpliría las dos condiciones enunciadas para las alineaciones rectas, pero el punto A sólo cumple la primera condición, pero no la segunda y aún así pertenece a la alineación.

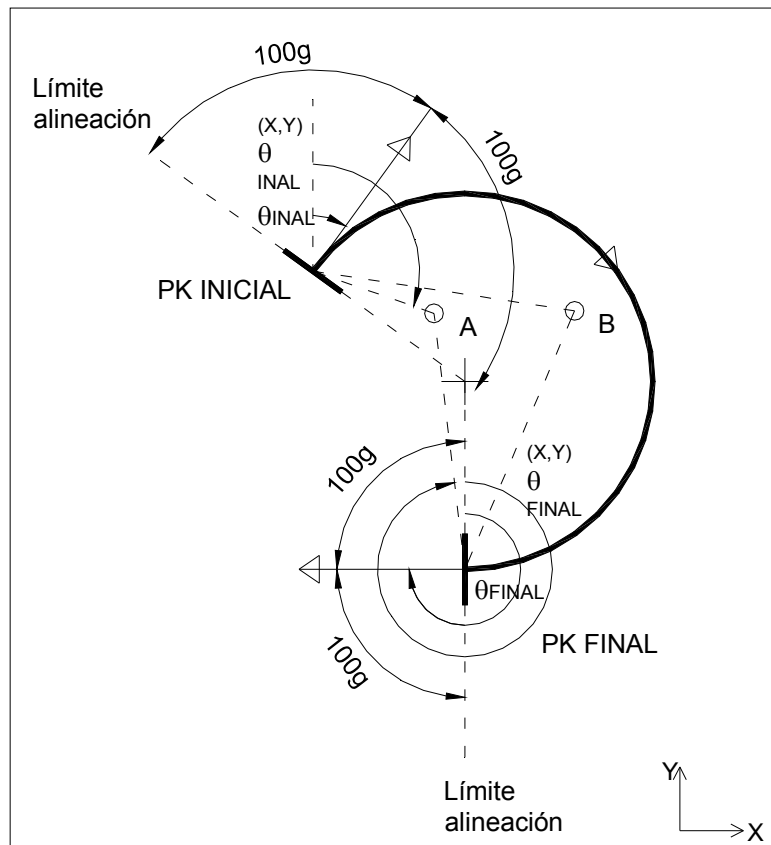


Figura 40: Límites en alineación curva circular.

Con lo que para los casos de alineaciones del tipo curva circular y curva de transición del tipo clotoide, la aplicación va a estudiar las alineaciones con que se cumpla una sola de las condiciones enunciadas para las alineaciones rectas.

CÁLCULO DE PK, D, Xi, Yi, θi PARA LAS DISTINTAS ALINEACIONES

ALINEACIONES RECTAS

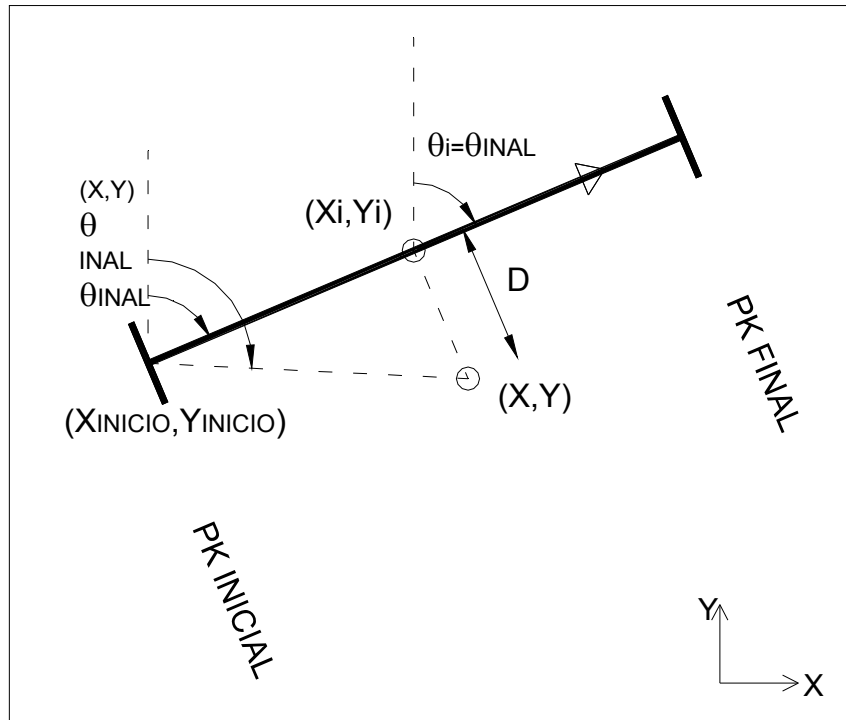


Figura 41: Cálculo 2 $(X, Y) \rightarrow (PK, D, X_i, Y_i, \theta_i)$ en alineación recta.

Para este caso el cálculo del acimut (θ_i) es inmediato, ya que es igual al acimut de la alineación recta (θ).

$$\theta_i = \theta_{INAL}$$

Para calcular el punto kilométrico en metros (PK) y la distancia (D) primero se calculan X_i e Y_i .

Para el cálculo de (X_i, Y_i) , como conocemos las coordenadas iniciales de la alineación recta y el acimut inicial (θ_i) podemos definir la ecuación de una recta que defina la alineación del tipo:

$$Y = m_1 * X + b_1$$

Como conocemos la pendiente m y las coordenadas del punto incógnita (X, Y) podemos definir la ecuación de la recta que pase por el punto (X, Y) y sea perpendicular a la de la alineación.

Esta recta tendrá de pendiente:

$$m_2 = \frac{-1}{m_1}$$

La ecuación de esta recta perpendicular a la alineación será:

$$Y = m_2 * X + b_2$$

El cálculo de (X_i, Y_i) , vendrá de la resolución del sistema formado por estas dos ecuaciones (rectas):

$$\begin{cases} Y = m_1 * X + b_1 \\ Y = m_2 * X + b_2 \end{cases}$$

Para calcular el PK, sumaremos al PK inicial de la alineación la distancia L entre el punto (X_i, Y_i) y el inicio de la alineación:

$$L = \sqrt{((X_{INICIO} - X_i)^2 + (Y_{INICIO} - Y_i)^2)}$$

$$PK = PK_{INICIO \text{ ALINEACION}} + L$$

La distancia D se calculará como:

$$D = \sqrt{((X - X_i)^2 + (Y - Y_i)^2)}$$

Ahora sólo faltaría definir si la distancia calculada, es hacia la derecha o izquierda de la alineación.

Esto se realiza, comparando el acimut desde el punto inicial de la alineación a el punto incógnita (X, Y) con el acimut de la alineación.

ALINEACIONES TIPO CURVAS CIRCULARES

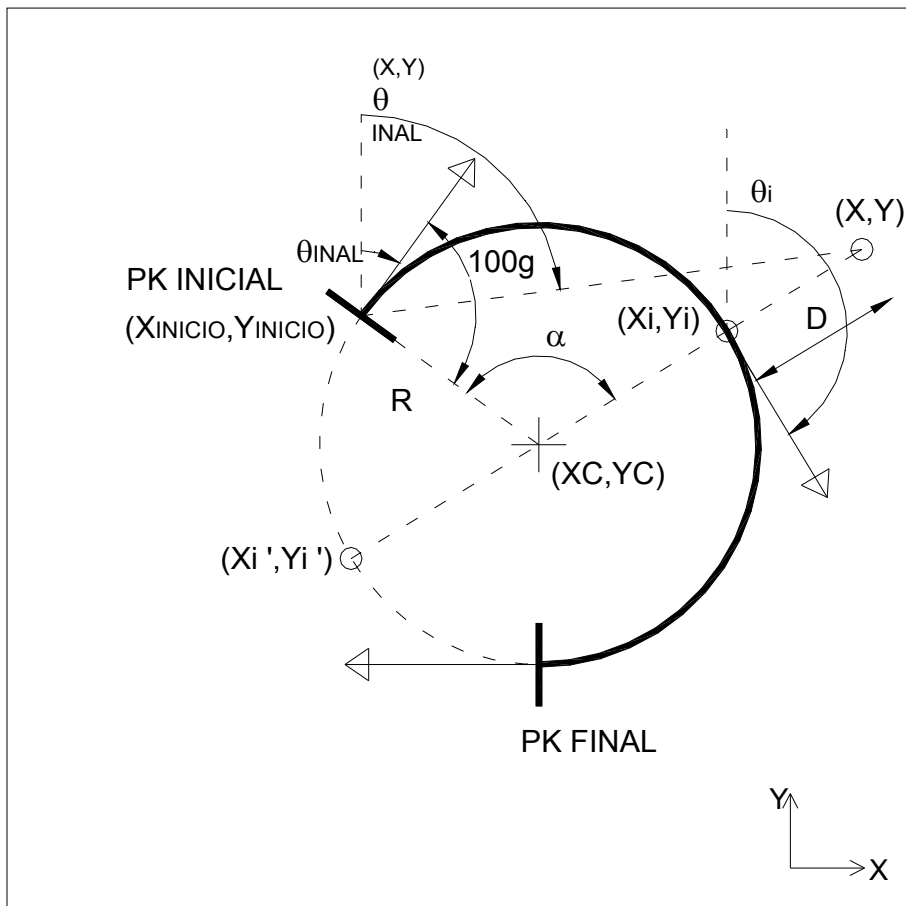


Figura 42: Cálculo 2 $(X, Y) \rightarrow (PK, D, Xi, Yi, \theta_i)$ en alineación curva circular.

Para el cálculo de las incógnitas, primero se calcula X_C, Y_C , coordenadas del centro de la curva circular.

$$X_C = X_{INICIO} + |(R)| * \text{SENO}(\theta_{INAL} + \text{SIGNO}(R) * 100)$$

$$Y_C = X_{INICIO} + |(R)| * \text{COSENO}(\theta_{INAL} + \text{SIGNO}(R) * 100)$$

Con los valores de X_C, Y_C y el radio de la curva circular (R) se define la ecuación de la circunferencia de la que forma parte la curva circular.

$$(X - X_C)^2 + (Y - Y_C)^2 = R^2$$

Con las coordenadas del punto incógnita (X,Y) y las coordenadas del centro de la curva circular (XC,YC) definimos una recta que es perpendicular a la circunferencia y que pasa por el punto incógnita (X,Y). Esta recta tiene la forma:

$$Y=m*X+b$$

Donde:

$$m=\frac{(Y-YC)}{(X-XC)}$$

$$b=YC-m*XC$$

Con la ecuación de la recta y la ecuación de la circunferencia, resolvemos un sistema de dos ecuaciones que nos proporciona las dos posibles soluciones de intersección: (Xi,Yi) y (Xi',Yi').

El punto (Xi,Yi) es el punto buscado, para que la aplicación discrimine entre las dos soluciones, se impone la condición de que la solución buscada sea aquella cuya distancia al punto incógnita sea menor.

El valor del acimut en el punto de intersección (θ_i), se calcula sumando o restando 100 grados centesimales según la curva circular sea a derechas o izquierdas al valor del acimut desde el punto (XC,YC) al punto (X,Y) ($\theta_{(XC,YC)}^{(Xi,Yi)} = \theta_{(XC,YC)}^{(X,Y)}$).

$$\theta_i = \theta_{(XC,YC)}^{(X,Y)} + SIGN(R) * 100$$

Para calcular el punto kilométrico PK, sumaremos al PK inicial de la alineación la distancia L entre el punto (Xi,Yi) y el inicio de la alineación:

$$PK = PK_{INICIO\ ALINEACION} + L$$

La distancia L se calcula como (α en radianes):

$$L = \alpha * R$$

El valor de α , se obtiene por diferencia entre el valor del acimut del punto (XC,YC) al punto de inicio (XINICIO,YINICIO) con el acimut del punto (XC,YC) al punto (Xi,Yi)

$$\alpha = \theta_{(XC,YC)}^{(XINICIO,YINICIO)} - \theta_{(XC,YC)}^{(Xi,Yi)} = \theta_{(XC,YC)}^{(XINICIO,YINICIO)} - \theta_{(XC,YC)}^{(X,Y)}$$

Antes de calcular D, se comprueba que la longitud entre el inicio de la curva circular y el punto calculado (X_i, Y_i) sea inferior (y no negativa) a la longitud total de la alineación curva circular, ya que si esto no se cumpliera el punto X,Y, no pertenecería a la alineación.

La distancia D se calculará como:

$$D = \sqrt{((X - X_i)^2 + (Y - Y_i)^2)}$$

Para determinar, si la distancia calculada es hacia la derecha o hacia la izquierda de la alineación se utilizan estos datos:

$R = \text{radio de la curva circular.}$

$D_{(X,Y)}^{(XC,YC)} = \text{distancia del punto incógnita al centro de la curva circular.}$

$R > 0 \text{ Y } D_{(X,Y)}^{(XC,YC)} \leq R$	Derecha
$R > 0 \text{ Y } D_{(X,Y)}^{(XC,YC)} > R$	Izquierda
$R < 0 \text{ Y } D_{(X,Y)}^{(XC,YC)} \geq R$	Derecha
$R < 0 \text{ Y } D_{(X,Y)}^{(XC,YC)} < R$	Izquierda

ALINEACIONES CURVAS DE TRANSICIÓN DEL TIPO CLOTOIDE

El cálculo en este tipo de alineación es el más complicado, ya que no puede ser un cálculo directo como en el caso de rectas o curvas circulares.

En el caso de las curvas de transición del tipo clotoide, la intersección de una recta con esta no se resuelve mediante un sistema de ecuaciones, ya que no existe una ecuación que defina la clotoide de manera continua en toda su longitud como es el caso de alineaciones rectas o curvas circulares.

La clotoide, se define en toda su longitud pero de una manera discreta, punto a punto y a diferentes distancias L al origen (ver ecuaciones 13-21 en apartado 4.3.1 CÁLCULO 1: $(PK, D) \rightarrow (X, Y, \theta_i)$).

La aplicación al detectar una alineación de este tipo, la divide en tramos, analiza si el punto incógnita pertenece a un tramo y si es así, siendo L la longitud total de un tramo de clotoide, realiza el siguiente algoritmo de iteración :

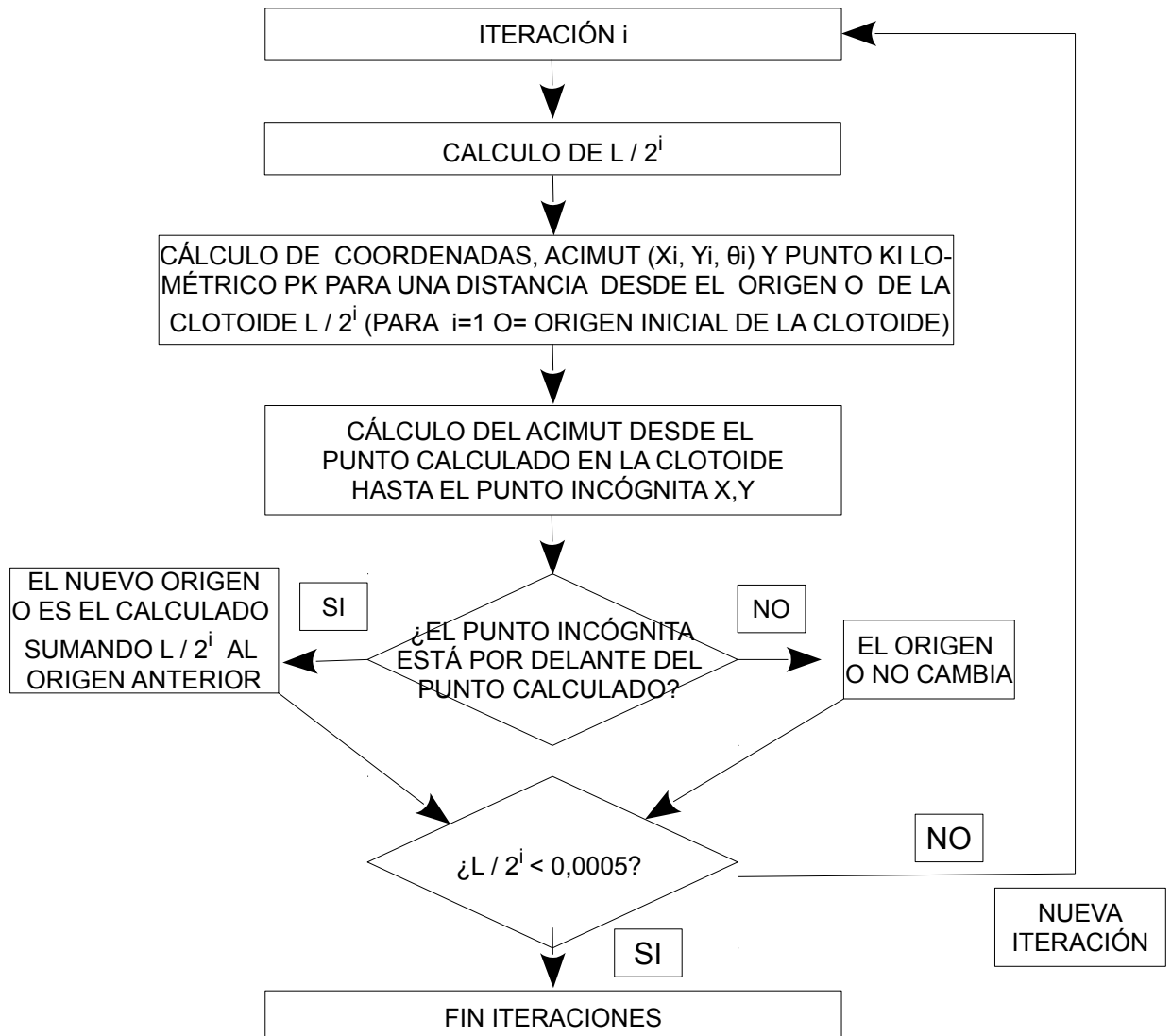


Figura 43: Diagrama de flujo del proceso de iteraciones en cálculo del tipo clotoide.

Al finalizar el algoritmo, se consigue el punto kilométrico al que pertenece el punto incógnita (PK) y las coordenadas y acimut de ese punto kilométrico (X_i, Y_i, θ_i). Después sólo resta calcular la distancia (D) entre el punto incógnita (X, Y) y las coordenadas (X_i, Y_i) del punto kilométrico.

El algoritmo de iteración, se realiza para todos los tramos de la clotoide a los cuales pertenece el punto incógnita. Luego la aplicación, elige la solución de ($PK, D, X_i, Y_i, \theta_i$) con la mínima distancia.

Con ayuda de la siguiente figura, vamos a explicar cómo funciona el proceso iterativo para calcular las coordenadas, acimut sobre la alineación (X_i, Y_i, θ_i) y punto kilométrico PK del punto incógnita (X, Y) en un tramo de clotoide. El cálculo se realizaría con las ecuaciones 1, 12-21 del apartado 4.3.1 CÁLCULO 1: (PK, D) → (X, Y, θ_i)

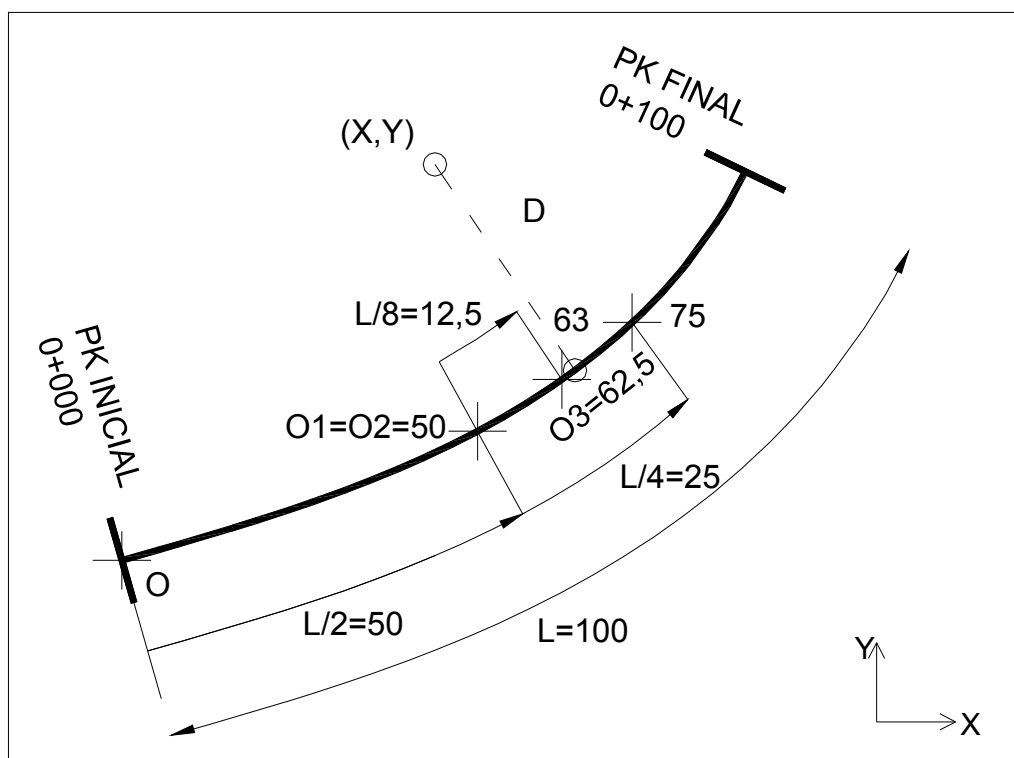


Figura 44: Gráfico con proceso de iteraciones en un tramo de clotoide.

Suponiendo que tenemos un tramo de clotoide de longitud L igual a 100 metros, y un punto incógnita con un punto kilométrico PK igual a 63 y una distancia D , se han representado las tres primeras iteraciones.

Se designan con la letra O los puntos origen desde donde se calculan los valores de (X_i, Y_i, θ_i).

Empezaría la primera iteración, se calcularía $L / 2^i$ (para $i=1$ $L/2=50$) se calcularían (X_i, Y_i, θ_i) para el PK 50 y como el punto incógnita está por delante se cogería como nuevo origen 01 PK=50.

Con el nuevo origen 01, se calcularía $L / 2^i$ (para $i=2$ $L/4=25$) se calcularían (X_i, Y_i, θ_i) para el PK 75 ($50+25$) y como el punto incógnita está por detrás se cogería como nuevo origen el anterior ($01=02=$ PK 50).

Con el origen en el PK 50 se calcularía $L / 2^i$ (para $i=3$ $L/8=12,5$) se calcularían (X_i, Y_i, θ_i) para el PK 62,5 ($50+12,5$) y como el punto incógnita está por delante se cogería como nuevo origen 03 PK=62,5.

No está dibujado, pero la cuarta iteración con origen en el PK 62,5 sería $L / 2^i$ (para $i=4$ $L/16=6,25$) se calcularían (X_i, Y_i, θ_i) para el PK 68,75 y como el punto incógnita está por detrás se cogería como nuevo origen el anterior (PK 62,5) y se calcularían para $i=5$ ($L/32=3,125$) los valores para PK 65,625, como el punto incógnita está por detrás se cogería como nuevo origen el anterior (PK 62,5) y se calcularía para $i=6$ ($L/64=1,5625$) los valores para PK 64,0625.

Las iteraciones finalizarían cuando $L / 2^i$ sería inferior a 0,0005 metros, es decir para este caso después de 18 iteraciones.

Una vez calculados las coordenadas, acimut sobre la alineación (X_i, Y_i, θ_i) y punto kilométrico PK del punto incógnita (X, Y) sólo faltaría calcular la distancia D entre el punto (X_i, Y_i) y el punto incógnita que ya sabemos que se realiza con la siguiente ecuación:

$$D = \sqrt{((X - X_i)^2 + (Y - Y_i)^2)}$$

Sólo resta saber, si esta distancia es a la derecha de la alineación o a la izquierda de la misma, esto se resolvería comparando el acimut θ_i con el acimut desde el punto X_i, Y_i al punto incógnita (X, Y) .

4.4 DISEÑO DEL DIBUJO DEL TRAZADO EN PLANTA.

Al seleccionar la opción 3, dibujo del trazado en planta (ver Figura 6: Opciones de la aplicación), la aplicación realiza una representación gráfica del trazado en planta.

En la representación, se delimitan las sucesivas alineaciones que definen el trazado y se indican los puntos kilométricos inicial y final de cada alineación.

La aplicación, dibuja el trazado poniendo el PK inicial y final del trazado y separa mediante marcas, las alineaciones que conforman el trazado para que podamos identificarlas.

Para conseguir una representación gráfica del trazado en planta, la aplicación desarrolla los siguientes pasos:

- 1.- Cálculo límites dibujo.
- 2.- Representación gráfica.

4.4.1 CÁLCULO LÍMITES DIBUJO.

Antes de proceder a la representación gráfica del trazado en planta, la aplicación debe calcular los límites del dibujo para que la pantalla gráfica de la calculadora se adapte a estos límites y pueda representar adecuadamente el trazado.

Para ello la aplicación analiza todo el trazado (variable EJT) y determina la coordenadas X,Y máximas y mínimas. Para realizar esto, se estudian los valores máximo y mínimo en coordenadas X e Y de cada alineación.

En el caso de alineaciones rectas, al estar definidas por los puntos inicial y final, sólo hay que estudiar dos puntos por cada alineación.

En el caso de curvas circulares, no vale con estudiar los puntos inicial y final, hay que analizar también puntos intermedios, lo mismo ocurre con las curvas de transición del tipo clotoide, para ello la aplicación calcula puntos intermedios para estos dos tipos de alineaciones.

Una vez que tenemos los valores máximo y mínimo de coordenadas X e Y del trazado en planta, la aplicación calcula los límites del dibujo teniendo en cuenta la resolución de pantalla de los modelos de la serie 49 de calculadoras HP, esta puede alcanzar dos valores:

- i) 131*64 píxeles para los modelos HP49G y HP48GII
- ii) 131*80 píxeles para los modelos HP49G+ y HP50G.

La aplicación, antes de calcular los límites, identifica cuál es la resolución de pantalla de la calculadora sobre la que está trabajando.

4.4.2 REPRESENTACIÓN GRÁFICA.

Después de calcular los límites del dibujo, la aplicación realiza la representación gráfica del trazado en planta.

En el caso de alineaciones rectas y curvas circulares, no existe mayor problema puesto que el lenguaje de programación de la calculadora tiene comandos específicos para la representación de estos elementos. Lo único que debe hacer la aplicación es proporcionar las coordenadas inicial y final en el caso de alineaciones rectas y las coordenadas iniciales, radio y ángulo recorrido en el caso de alineaciones del tipo curva circular.

No sucede lo mismo con las curvas de transición del tipo clotoide, el lenguaje de programación de la calculadora no las identifica como tales, por tanto la aplicación debe representarlas discretamente por medio de una sucesión de rectas.

Para dibujar estas rectas, la aplicación debe calcular puntos consecutivos de la clotoide que posteriormente definirán estas rectas.

En los tipos de introducción 2 y 3 ("2- SENCILLA SÓLO PUNTOS" Y "3- IMPORTAR PUNTOS), se explicó en el capítulo 4, (apartado 4.2 DISEÑO DE LA INTRODUCCIÓN DE UN TRAZADO) cómo se introducían curvas circulares de radio 0,051 metros entre alineaciones rectas para solucionar una indeterminación. Estas curvas circulares, no se representan en el dibujo por dos razones: su radio tan pequeño las hace irrelevantes en la representación gráfica y de esta manera evitamos ralentizar el proceso de dibujo.

Además de representar gráficamente las alineaciones, la aplicación, introduce unas marcas delimitadoras entre alineaciones junto con los puntos kilométricos inicial y final del trazado en planta.

CAPÍTULO 5 PRUEBAS, LIMITACIONES Y VALIDACIÓN

5.1 PRUEBAS.

Se realizan pruebas de validación, de los cálculos obtenidos por la aplicación, con el programa comercial de trazado CLIP WINDOWS versión 1.27.64.294 de la compañía TOOL S.A.

Las pruebas de validación, consisten en introducir un mismo trazado en planta en ambos softwares y ver las diferencias en valores calculados.

El trazado introducido es el siguiente (coordenadas X,Y en metros y acimut en grados centesimales):

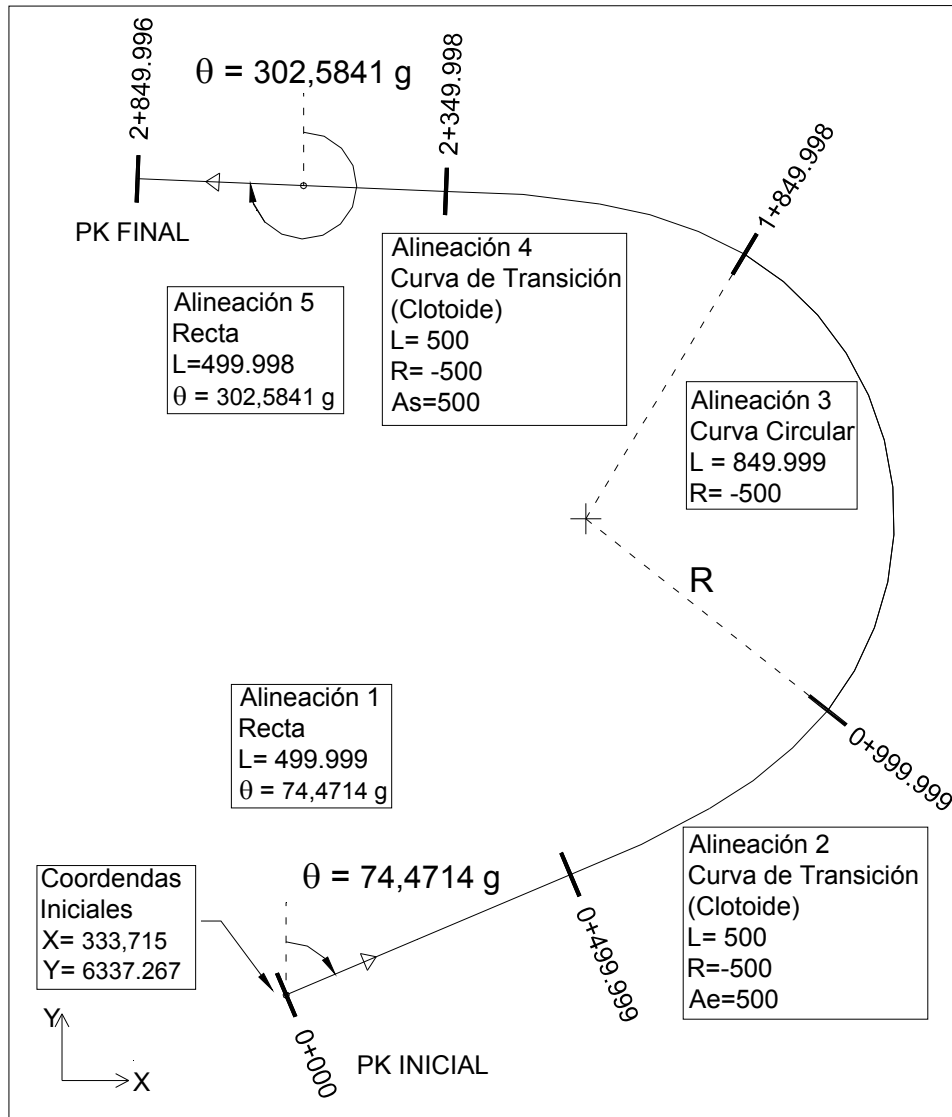


Figura 45: Definición geométrica de Trazado para validación de cálculos.

La variable EJT creada por la aplicación tras introducir el trazado tipo, es la siguiente:

```
{ { N PK L X Y θ AE R AS }
{ 1. 0. 499.999 333.715 6337.267 74.4714 0. 0. 0. }
{ 2. 499.999 500. 794.049185873 6532.43727775 74.4714 500. -500. 0. }
{ 3. 999.999 849.999 1211.05616773 6798.14815088 42.6404113816 0. -500. 0. }
{ 4. 1849.998 500. 1076.4033658 7537.26240349 334.415177404 0. -500. 500. }
{ 5. 2349.998 499.998 592.483077159 7638.8411673 302.584188786 0. 0. 0. }
{ 6. 2849.996 0. 92.896953519 7659.13168406 302.584188786 0. 0. 0. } }
```

La representación gráfica realizada por la aplicación es esta:



Figura 46: Dibujo de Trazado para validación de cálculos.

Estas serían las pantallas de introducción de datos en Clip Windows:

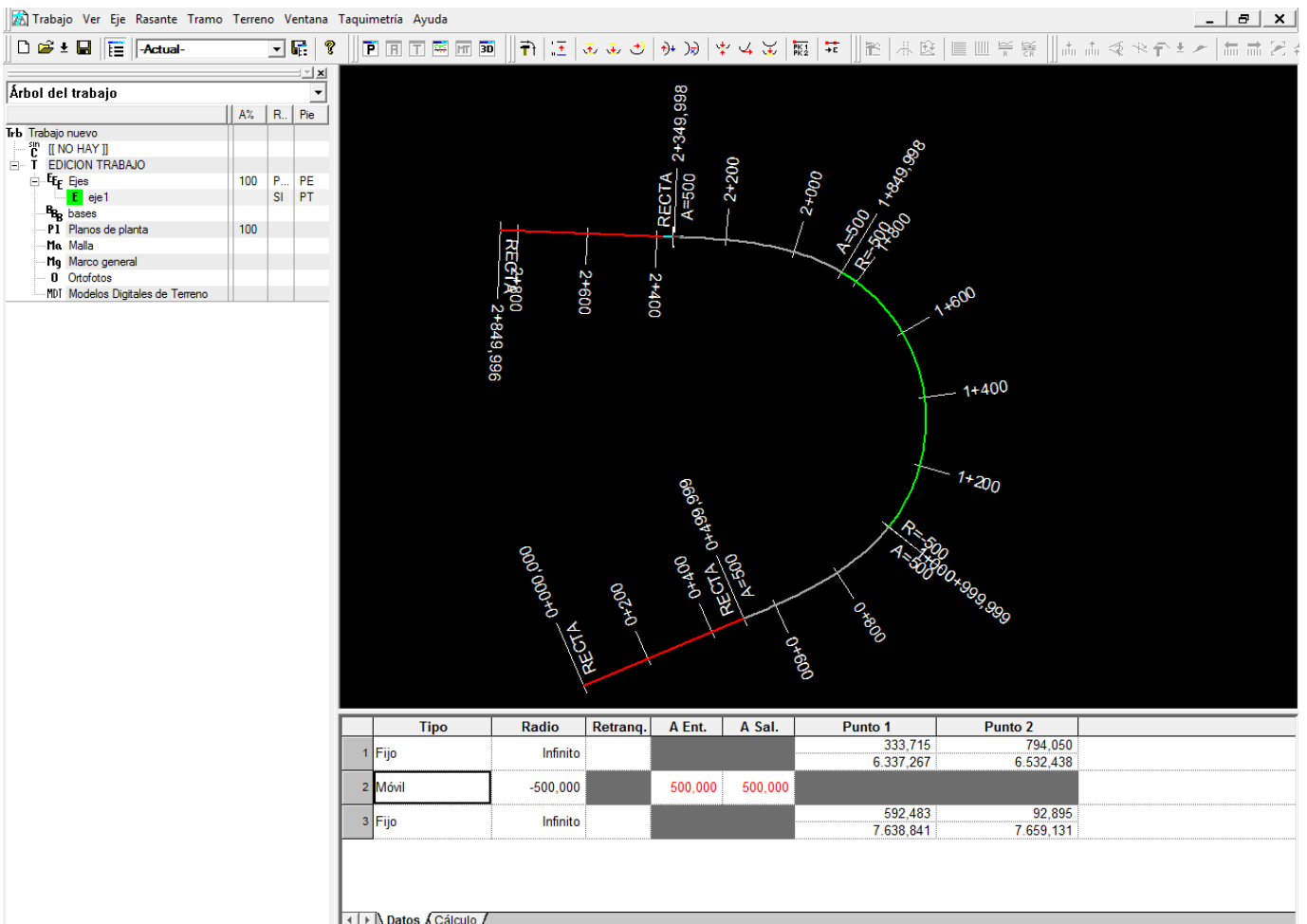


Figura 47: Pantalla de introducción de datos Trazado Clip Windows.

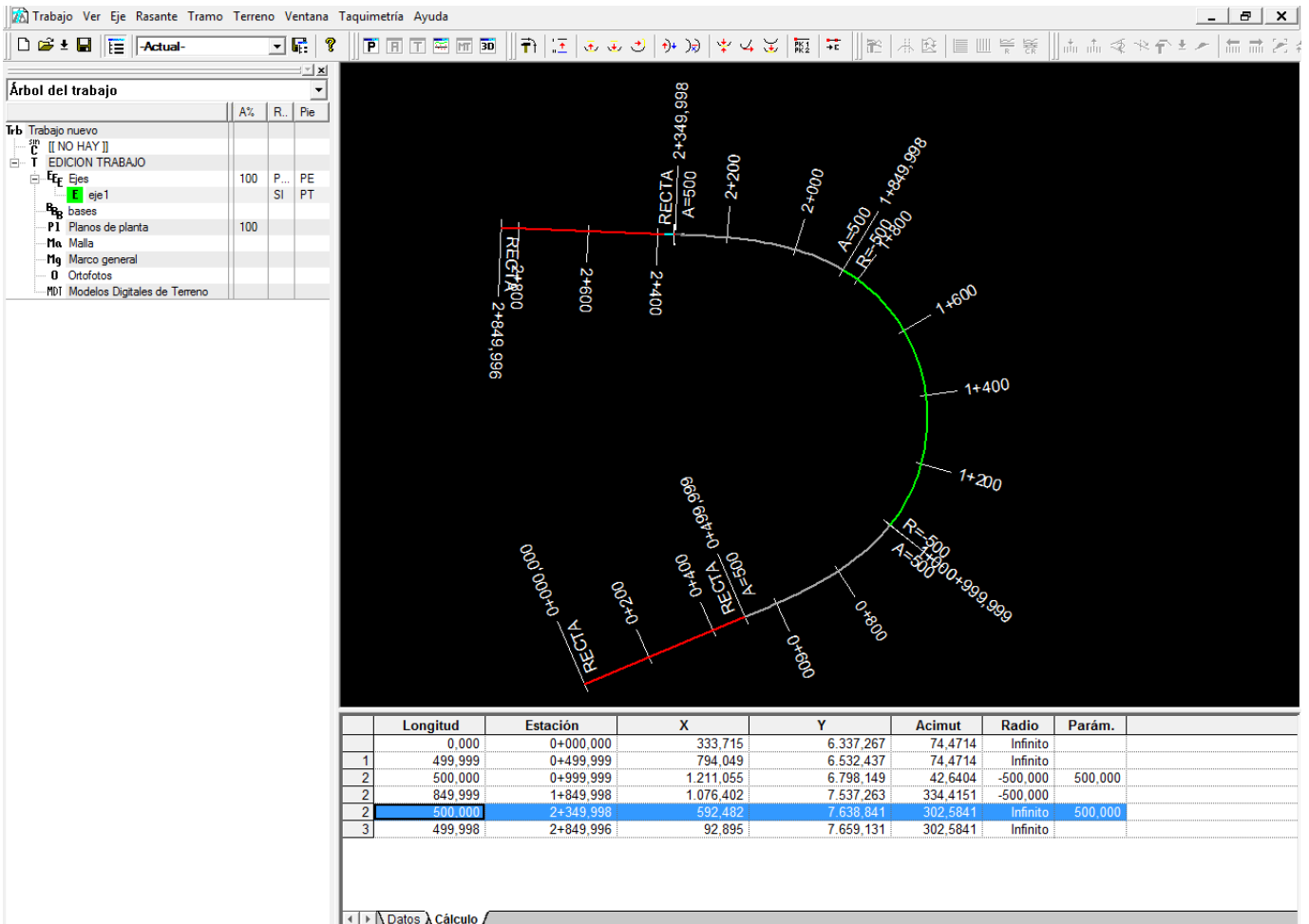


Figura 47 bis: Pantalla de introducción de datos Trazado Clip Windows.

Como resumen de los cálculos efectuados, se presenta una tabla con cinco puntos del trazado, uno por cada alineación, donde se muestran los valores de X,Y y acimut, calculados por Clip Windows, la aplicación y su diferencia.

PK	D	CLIP WINDOWS			SOFTWARE TFG			DIFERENCIA CLIP-TFG		
		X	Y	ACIMUT	X	Y	ACIMUT	X	Y	ACIMUT
0+100,000	0	425,782	6376,301	74,4714	425,782	6376,301	74,4714	0,000	0,000	0,0000
0+700,000	0	975,985	6615,365	69,3783	975,985	6615,364	69,3784	0,000	0,001	-0,0001
1+500,000	0	1292,068	7270,681	378,9782	1292,069	7270,68	378,9783	-0,001	0,001	-0,0001
2+100,000	0	841,461	7618,316	310,5417	841,463	7618,316	310,5418	-0,002	0,000	-0,0001
2+600,000	0	342,685	7648,986	302,5841	342,687	7648,987	302,5842	-0,002	-0,001	-0,0001

Figura 48: Diferencia en cálculos entre Clip Windows y la aplicación.

Se producen variaciones máximas en las coordenadas calculadas de 2 milímetros en planta y de 1 segundo centesimal (0,0001 g) en valores calculados de acimut.

Estas diferencias, pueden ser debidas a la manera de realizar los cálculos por la aplicación comercial y nuestra aplicación proyectada, y en concreto:

1. Utilización de distintos datos de partida: Por ejemplo, puede ser que CLIP WINDOWS en la definición de las alineaciones del trazado, utilice un mayor o menor número de cifras significativas que nuestra aplicación y esto ocasione esta mínima disparidad en los resultados.
2. Utilización de distintos algoritmos de cálculo, sobre todo en el caso de la curva de transición clotoide, ya que se realizan sucesivas iteraciones para dar con el valor buscado y esta no admite una forma directa de cálculo en el caso del cálculo $2:(X,Y) \rightarrow (PK,D,Xi,Yi, \theta_i)$.

Sobre todo, este hecho es reseñable para el caso de clotoides que son similares a espirales (aquellas con relación $L/R \geq 10$). Si bien a efectos prácticos, este tipo de clotoides no se utilizan nunca en trazados de obras lineales.

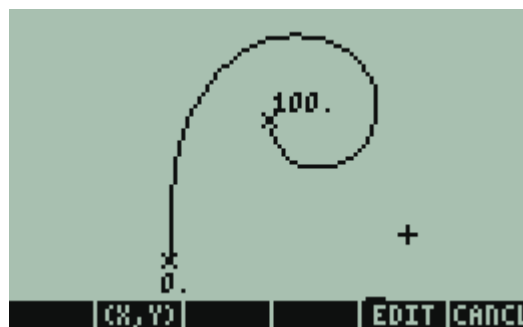


Figura 49: Clotoide en espiral.

Se concluye que: asumiendo que los valores calculados por la aplicación comercial son los correctos, estas diferencias no son significativas ya que errores planimétricos de 2 milímetros en planta y de 1 segundo centesimal son muy pequeños para los campos de aplicación para los que estaría destinada la aplicación. Por ejemplo una desviación del acimut calculado de 10 segundos centesimales en una visual de 1 kilómetro constituiría un error de 1,6 centímetros.

5.2 LIMITACIONES.

El número de alineaciones que definen un trazado, sólo está limitado por la memoria de la calculadora. Si bien es cierto que un trazado compuesto por un excesivo número de alineaciones, puede ralentizar los cálculos.

La aplicación no discierne si las alineaciones introducidas se cruzan, no obstante el usuario al visualizar la representación gráfica puede ver el trazado y comprobarlo.

5.3 ERRORES (BUGS).

Al dibujar algunos trazados, la ejecución del dibujo se detiene. Esto se soluciona, pulsando la tecla de CANCEL (ON) y entonces el dibujo continua y finaliza correctamente.

CAPÍTULO 6 UTILIDAD DEL SOFTWARE

La principal utilidad de este software, es el análisis y dibujo de trazados en planta formados por cualquiera de estos elementos únicos o combinados: rectas, curvas circulares y curvas de transición del tipo clotoide.

Un usuario con un dispositivo ligero y portable, sin necesidad de utilizar un ordenador portátil con software comercial de análisis de trazados o el software que suelen incluir las estaciones totales y receptores GNSS (Global Navigation Satellite Systems) topográficos, puede obtener datos precisos en el estudio de trazados en planta, bien en campo realizando replanteos o bien en gabinete.

Ejemplos de los trazados en planta que podrían ser analizados son: carreteras, caminos, líneas eléctricas, conducciones hidráulicas y linderos.

Tras la realización de la aplicación, se constata que a pesar de que este software fue proyectado sólo para analizar trazados en planta, su espectro de acción es más amplio, ya que abarca cualquier trazado geométrico compuesto por rectas, curvas circulares o clotoides como elementos únicos o bien combinados.

Por ejemplo, este software podría analizar también trazados en alzado, siempre que estos no incluyan curvas de tipo parabólico, ya que estas, no se han incluido dentro de los tipos de alineación soportados. En este caso la coordenada X correspondería a la longitud y la coordenada Y a la altura Z.

También puede analizar secciones, o perfiles. Debajo se representa la sección constructiva de un túnel y se dibuja la sección de avance en la aplicación.

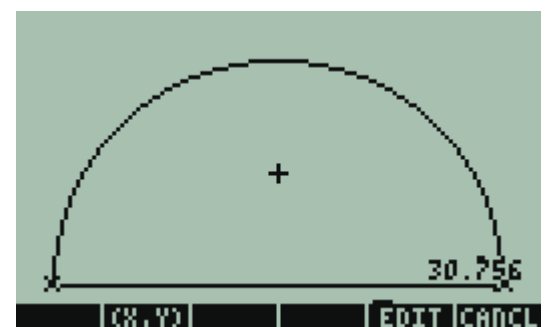
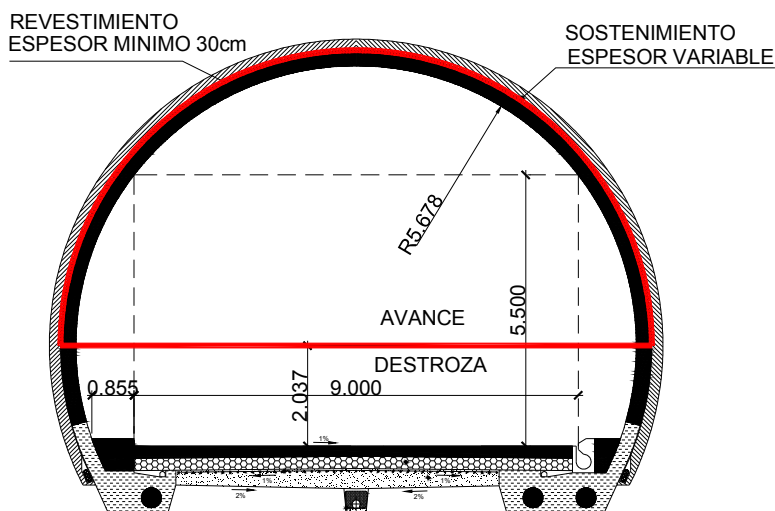


Figura 50: Sección tipo constructiva de un túnel.

En definitiva, este software puede analizar cualquier trazado geométrico compuesto por rectas, curvas circulares o clotoides como elementos únicos o bien combinados.

Por ejemplo, se representa debajo el logotipo de la compañía Apple formado a partir de la importación de ochenta puntos y una figura geométrica (lauburu) construida con dieciséis alineaciones curvas tangentes entre sí.



Figura 51: Ejemplos de trazados geométricos.

Los softwares comerciales de análisis de trazados que funcionan en ordenadores portátiles, las estaciones totales topográficas y los receptores GNSS (Global Navigation Satellite Systems) topográficos más modernos incorporan la mayoría de las funciones de la aplicación diseñada (el dibujo en algunos casos no).

No obstante, este software puede funcionar como apoyo para el trabajo del técnico en campo o en gabinete, cuando es preciso realizar análisis de trazados y no se quiere (o no se puede) utilizar los equipos antes enunciados.

Por otra parte gracias a la propia tecnología de posicionamiento global por satélite de los smartphones, la aplicación (funcionando en un smartphone) podría permitir analizar las coordenadas obtenidas en tiempo real por el propio smartphone. El problema, es que el receptor GNSS de los smartphones actuales no recibe correcciones en tiempo real (DGPS ó RTK), como lo hacen los modernos receptores GNSS topográficos, con lo que la precisión de estos es baja y oscila desde un metro hasta los cinco metros o más.

Una alternativa, para realizar replanteos y análisis de trazados a nivel de usuario con una precisión media, frente a las costosas estaciones totales y receptores GNSS topográficos, sería utilizar la aplicación en un dispositivo portable (calculadora, smartphone o tablet), junto con un receptor GNSS submétrico, que es más barato y con precisiones entre los veinte centímetros y un metro, gracias a las correcciones que puede recibir.

Este software, también sirve para obtener datos en replanteos manuales con flexómetros y cintas métricas (sin equipos de topografía).

En este caso, primero habría que definir primero los ejes X e Y sobre la zona a replantear y después ir llevando las coordenadas (X,Y) obtenidas con la aplicación sobre estos ejes ya definidos.

CAPÍTULO 7 CONCLUSIONES

La aplicación cumple las pretensiones que pretendía el presente trabajo fin de grado.

Este software permite introducir, analizar y dibujar un trazado en planta y todo ello realizarlo en un dispositivo ligero y portable como puede ser una calculadora, una tableta o bien un teléfono móvil inteligente (smartphone).

Tras la realización de la aplicación, se constata que a pesar de que este software, fue proyectado sólo para analizar trazados en planta, su espectro de acción es más amplio, ya que abarca cualquier trazado geométrico compuesto por rectas, curvas circulares o clotoides como elementos únicos o bien combinados.

CAPÍTULO 8 BIBLIOGRAFÍA Y PÁGINAS WEB DE CONSULTA**8.1 BIBLIOGRAFÍA.**

- [1] BAÑÓN BLÁZQUEZ, L.; BEVIÁ GARCÍA, J.F. 2000. Manual de carreteras (Vol. 1). Alicante. Enrique Ortiz e Hijos. ISBN 84-607-0267-7.
- [2] CASANOVA MATERA, L. 2002. Topografía plana. Mérida, Venezuela. Universidad de los Andes. ISBN 980-11-0672-7.
- [3] COACALLA APAZA, R. 2013. Lenguaje UserRPL. [Consulta en diciembre de 2013]. Disponible en: <http://www.hpcalc.org/hp49/docs/programming/>.
- [4] CHOQUE MARTÍNEZ, S. 2007. Fundamentos de Programación en User RPL orientado en calculadoras Hewlett Packard series 48/49/50. [Consulta en octubre de 2013]. Disponible en: <http://www.hpcalc.org/hp49/docs/programming/>.
- [5] DE CORRAL, I.; DE VILLENA, M. 2000. Topografía de Obras. Mexico. Alfaomega. ISBN 970-15-0455-0 .
- [6] GARCÍA MORALES, R.A. 2008. Programación en User-Rpl con Ejemplos Aplicados a Ingeniería Civil. [Consulta en octubre de 2013]. Disponible en: <http://www.hpcalc.org/hp49/docs/programming/>.
- [7] HEWLETT PACKARD. 1993. HP 48G Series Advanced User's Reference Manual. Edición 4. HP PART NUMBER 00048-90136.
- [8] HEWLETT PACKARD. 1994. Serie HP 48G Guía de Usuario. Edición 2. HP part number 00048-90129.
- [9] HEWLETT PACKARD. 2005. HP 48GII/HP 49G+ calculadora gráfica Guía de Usuario. ISBN 859-51-7950-082-3 .
- [10] HEWLETT PACKARD. 2006. HP 50g calculadora gráfica Guía de Usuario. HP part number F2229AA-90007.
- [11] HEWLETT PACKARD. 2009. HP 50g / 49g+ / 48gII Graphing Calculator Advanced User's Reference manual. Edición 2. HP part number F2228-90010 .
- [12] KRAEMER, C. [et al.] 2003. Ingeniería de Carreteras (Vol. 1). Madrid. McGraw-Hill. ISBN 84-481-3988-7 .

- [13] MARTINEZ, L.J. Cómo buscar y usar información científica: Guía para estudiantes universitarios 2013. 2013. Santander. Santander. Biblioteca de la Universidad de Cantabria. [Consulta en marzo de 2014]. Disponible en: http://eprints.rclis.org/20141/1/Como_buscar_usar_informacion.pdf .
- [14] MINISTERIO DE FOMENTO. 2000. Trazado Instrucción de carreteras Norma 3.1-IC . BOE del 2 de febrero de 2000. ISBN 978-84-498-0663-6 .

8.2 PÁGINAS WEB DE CONSULTA.

- [1] Tienda oficial on-line de Hewlett-packard
http://store.hp.com/SpainStore/Merch/List.aspx?sel=ACC&facet_prodtype=Calculadoras&ctrl=f

Foros de calculadoras Hewlett-packard:

- [2] Foro oficial de la marca Hewlett-packard.
h30499.www3.hp.com/t5/Calculators/bd-p/bsc-408.
- [3] Foro de adictoshp.
<http://www.adictoshp.org> .
- [4] Foro en grupos de Google.
<https://groups.google.com/forum/#!forum/comp.sys.hp48>
- [5] Página sobre software e información de calculadoras programables Hewlett-packard (HP 50G, HP 49G, HP 48G entre otras).
<http://www.hpcalc.org/>

CAPÍTULO 9 ANEJOS

9.1 HERRAMIENTAS UTILIZADAS.

9.1.1 HP USER EDIT.

Para la realización de la aplicación, se ha utilizado un software llamado HP USER EDIT versión 6.0.0.916, este funciona en un ordenador con ambiente Windows. Esta herramienta ha sido desarrollada por Roger Broncano Reyes. Este programa es de libre distribución y se pueden obtener en la siguiente dirección: www.hpcalc.org.

Esta herramienta, ha sido diseñada para editar los objetos de las calculadoras gráficas de la serie 48 y 49 de Hewlett-Packard de una manera simple y cómoda, incluye un potente editor y un emulador de la calculadora (EMU48).

Con el editor, se construye y depura el código de la aplicación, y con el emulador, se prueba el código sin necesidad de probarlo en la calculadora física.

9.1.2 EMU48.

EMU48 es un software de libre distribución, desarrollado por Christoph Giesselink y Sebastien Carlier, este emula las calculadoras de la serie 48 y 49 de Hewlett Packard en un ordenador con sistema operativo Windows.

EMU48, se ha utilizado dentro del programa HP-USER EDIT, ya que este emulador se encuentra integrado en el mismo.

También se ha utilizado, para adjuntar múltiples pantallas de la aplicación funcionando en el presente documento de trabajo fin de grado.

Este software, se puede obtener en la siguiente dirección: www.hpcalc.org.

9.1.3 CLIP WINDOWS.

CLIP WINDOWS, es un software comercial para el entorno Windows. Es un sistema informático de diseño, evaluación y control de ejecución y construcción de trazados de obras lineales en tres dimensiones.

Está desarrollado por la empresa TOOL S.A, empresa española, creada en 1983, especializada en el desarrollo, comercialización y soporte técnico de software para ingeniería civil, arquitectura y construcción.

Este software, se ha utilizado, para chequear la aplicación en busca de errores en los cálculos realizados por la misma. Se ha utilizado la versión 1.27.64.294 del programa.

9.1.4 LIBRARY CREATION WIZARD 1.0A (EASYLIB 1.0 A).

Software de libre distribución, creado por Erwin Ried, para generar librerías en la serie 49 de calculadoras HP.

Este software, se instala como una librería en las calculadoras de la serie 49.

Se utiliza, para crear una librería que se pueda instalar en la calculadora/emulador.

Esta aplicación, se puede obtener en la siguiente dirección:
www.hpcalc.org.

9.2 MANUAL DE USUARIO.

9.2.1 NOTA DEL AUTOR.

Esta es una aplicación educativa, no es un software comercial.

A pesar de que se han realizado múltiples pruebas y la aplicación arroja resultados satisfactorios, el autor no se responsabiliza de lo que el usuario pueda realizar con la aplicación o de los resultados obtenidos.

9.2.2 DESCRIPCIÓN DE LA APLICACIÓN.

Esta aplicación, es un software realizado en lenguaje de programación USER-RPL de la serie 49 de calculadoras gráficas Hewlett Packard.

La aplicación, es compatible con toda la serie 49 de calculadoras HP (Hewlett Packard): HP50G, HP49G+, HP49, HP48GII.

Este software, proporciona un análisis y dibujo de trazados en planta formados por cualquiera de estos elementos únicos o combinados: rectas, curvas circulares y curvas de transición (clotoides).

9.2.3 INSTALACIÓN DE LA APLICACIÓN EN LA CALCULADORA.

La aplicación se distribuye en forma de librería. En concreto en forma de un archivo binario con nombre: "AtpV10.HP".

Para instalar la librería en la calculadora se siguen los siguientes pasos:

1.- Se carga la librería que se quiere instalar en el nivel 1 de la pila.

```
GRD XYZ HEX R~ 'X'
[HOME]
7:
6:
5:
4:
3:
2:
1: Library 1770: Atp ...
STACK MEM BRCH TEST TYPE LIST
```

2.- Tecleamos el número de puerto donde queremos instalar la librería (0,1 ó 2), por ejemplo el dos.

```
GRD XYZ HEX R~ 'X'  
(HOME)  
7:  
6:  
5:  
4:  
3:  
2: Library 1770: Atp ...  
1: 2.  
STACK MEM BRCH TEST TYPE LIST
```

3.- Pulsamos la tecla STO.



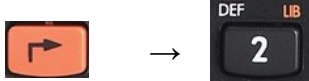
4.- Mantenemos pulsada la tecla ON y a la vez presionamos la tecla C (F3), para así reiniciar la calculadora e instalar la librería.



9.2.4 INICIO DE LA APLICACIÓN.

Una vez instalada la aplicación en nuestra calculadora o emulador, podemos comenzar a utilizarla.

Para utilizarla, lo primero es localizar la librería en la calculadora. Para ello, presionamos la tecla de flecha derecha y después la tecla del número 2 (LIB), de esta manera accedemos al lugar de la calculadora donde están instaladas las librerías.



```
GRD XYZ HEX R~ 'X'
[HOME]
7:
6:
5:
4:
3:
2:
1:
Atp :0: :1: :2: :
```

→

```
GRD XYZ HEX R~ 'X'
[HOME]
7:
6:
5:
4:
3:
2:
1:
Atp :0: :1: :2: :
```

Después, seleccionamos Atp (Análisis de trazados en planta) en la calculadora, pulsando dos veces la tecla que se encuentra debajo de esta palabra. Con esto se inicia la aplicación.

Al iniciar este software, aparece una pantalla de bienvenida en la que se indica el nombre de la aplicación, su autor, fecha y versión de la aplicación.

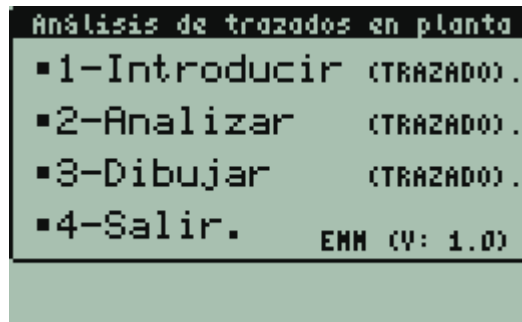
```
Análisis de trazados en planta

ANALISIS DE TRAZADOS
EN PLANTA

Autor: Enrique Manso Martínez.
Jun.2014 (V: 1.0)
```

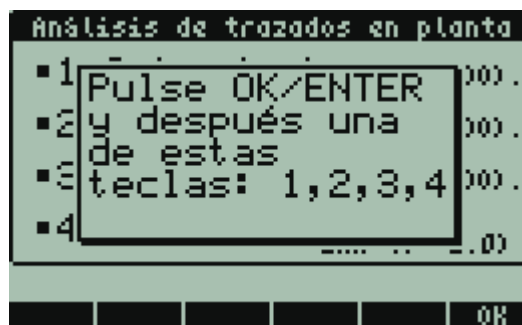

9.2.5 PANTALLA DE OPCIONES.

Después de la pantalla de bienvenida y tras pulsar cualquier tecla de la calculadora, aparece la pantalla de opciones.



En esta pantalla, se muestran las cuatro opciones posibles de la aplicación, a las cuales se accede pulsando el correspondiente número en el teclado de la calculadora.

Si se pulsa una tecla distinta a los números 1-4, la aplicación recuerda que hay que introducir uno de estos cuatro números.

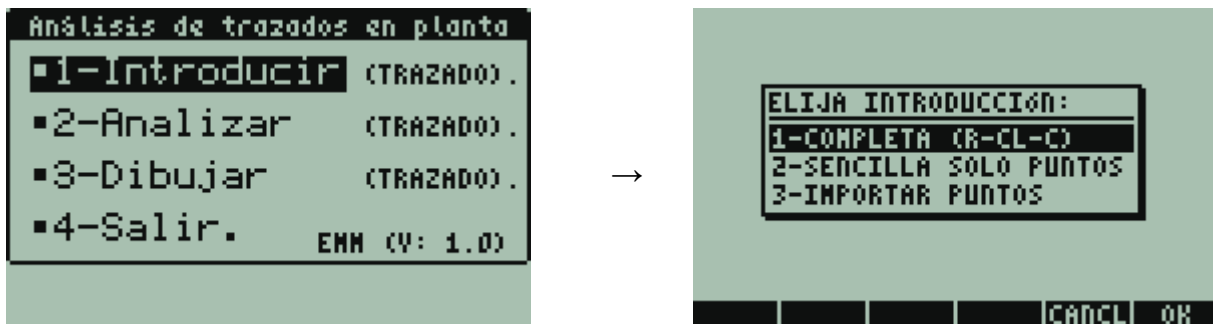


9.2.6 INTRODUCIR UN TRAZADO.

Después de pulsar el número 1 en la calculadora, se accede a la primera opción llamada introducir un trazado.

Este software, la primera vez que se usa, necesita para funcionar la introducción de un trazado en planta, si no existe un trazado introducido como es lógico no lo podrá analizar ni dibujar.

Acto seguido, aparece una pantalla, donde se nos insta a elegir entre tres tipos de introducción de trazados.



Una vez definido un trazado, cuando salgamos de la aplicación y volvamos a abrir la aplicación, el trazado definido anteriormente se quedará guardado por defecto (en la variable global EJT) y no será necesario definir el trazado de nuevo.

Los tres tipos de introducción de trazados son:

- 1.- Introducción completa.
- 2.- Introducción sencilla sólo puntos.
- 3.- Importar puntos.

La primera opción ("1- COMPLETA (R-CL-C)"), admite alineaciones rectas, curvas circulares y curvas de transición del tipo clotoide, mientras que las otras dos opciones, son sólo para la introducción de trazados sencillos, formados por alineaciones rectas.

Una vez introducido el trazado de cualquiera de las tres formas comentadas, este se guardará en la variable EJT.

 * 1- INTRODUCCIÓN COMPLETA *

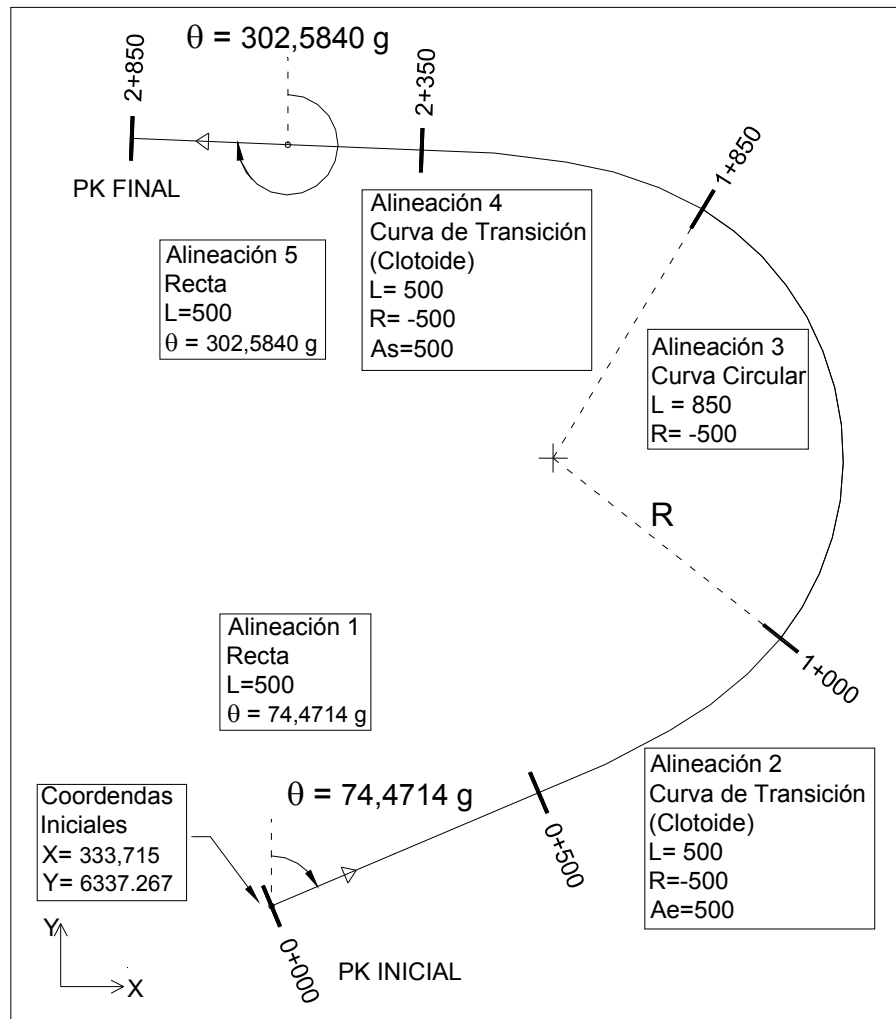
Admite como alineaciones: rectas, curvas circulares y curvas de transición del tipo clotoide.

Se utiliza para trazados en los que existe continuidad en el acimut, o dicho de otra manera, las alineaciones son tangentes entre si. Es decir, el acimut final de una alineación es el acimut inicial de la siguiente.

En este tipo de introducción, la aplicación nos pedirá primero el número de alineaciones de que consta el trazado y luego tendremos que ir introduciendo las sucesivas alineaciones con la particularidad que una vez que introduzcamos la primera, la aplicación calcula el punto kilométrico, las coordenadas X,Y y acimut iniciales de la siguiente alineación, lo cual facilita la introducción de las siguientes alineaciones.

Para comprender mejor la introducción de un trazado vamos a introducir un trazado completo compuesto por cinco alineaciones.

La definición de este trazado aparece en la figura siguiente:



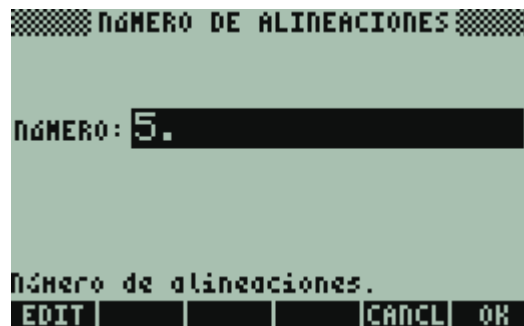
La introducción del trazado, vista por sucesivas pantallas de izquierda a derecha, sería la siguiente:



→



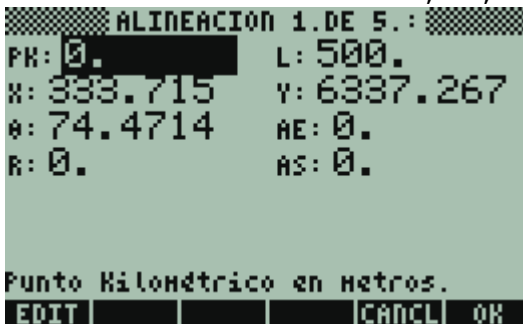
1 OK→



OK→

Alineación 1 recta:

Datos introducidos: PK, L, X, Y, θ

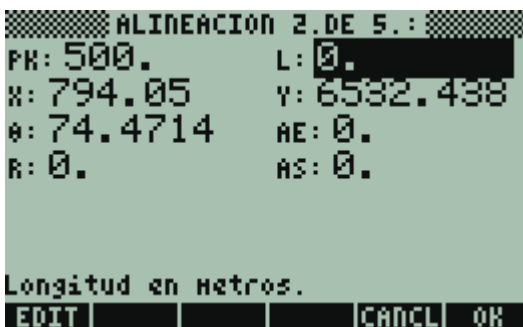


OK→

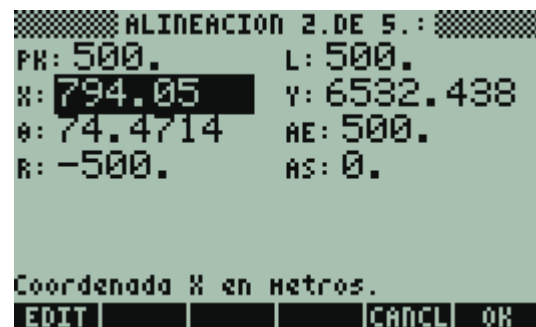
Alineación 2 clotoide con parámetro de entrada (Ae):

Datos calculados: PK, X, Y, θ

Datos introducidos: L, R, Ae



OK→



Alineación 3 curva circular:

Datos calculados: PK, X, Y, θ

```

ALINEACION 3.DE 5.:
PK: 1000.      L: 0.
X: 1211.057   Y: 6798.149
 $\theta$ : 42.6404   AE: 0.
R: 0.         AS: 0.

Coordenada Y en metros.
EDIT          CANCL  OK
  
```

OK→

Datos introducidos: L, R

```

ALINEACION 3.DE 5.:
PK: 1000.      L: 850.
X: 1211.057   Y: 6798.149
 $\theta$ : 42.6404   AE: 0.
R: -500.      AS: 0.

Azimut en gradianes °g.
EDIT          CANCL  OK
  
```

Alineación 4 clotoide con parámetro de salida (Ae):

Datos calculados: PK, X, Y, θ

```

ALINEACION 4.DE 5.:
PK: 1850.      L: 0.
X: 1076.403   Y: 7537.264
 $\theta$ : 334.415   AE: 0.
R: 0.         AS: 0.

Parámetro entrada clotoide.
EDIT          CANCL  OK
  
```

OK→

Datos introducidos: L, R, As

```

ALINEACION 4.DE 5.:
PK: 1850.      L: 500.
X: 1076.403   Y: 7537.264
 $\theta$ : 334.415   AE: 0.
R: 500.       AS: 500.

Radio +/-: derecha/izquierda m.
EDIT          CANCL  OK
  
```

Alineación 5 recta:

Datos calculados: PK, X, Y, θ

```

ALINEACION 5.DE 5.:
PK: 2350.      L: 0.
X: 592.482    Y: 7638.841
 $\theta$ : 302.584   AE: 0.
R: 0.         AS: 0.

Parámetro salida clotoide.
EDIT          CANCL  OK
  
```

OK→

Datos introducidos: L

```

ALINEACION 5.DE 5.:
PK: 2350.      L: 500.
X: 592.482    Y: 7638.841
 $\theta$ : 302.584   AE: 0.
R: 0.         AS: 0.

Punto Kilométrico en metros.
EDIT          CANCL  OK
  
```

Al movernos con el cursor por los valores que definen la alineación, en la parte inferior de la pantalla, se nos muestra un mensaje con información sobre el valor a introducir.

Después de introducir la última alineación, la aplicación vuelve a la pantalla de opciones:

```

Análisis de trazados en planta
▪1-Introducir (TRAZADO).
▪2-Analizar (TRAZADO).
▪3-Dibujar (TRAZADO).
▪4-Salir. EMM (V: 1.0)

```

Con esto, quedaría definido el trazado en planta y almacenado en la variable EJT.

Otra forma de definir un trazado, sería construir esta variable con un editor de texto, a partir de datos importados de cualquier aplicación de trazado para luego exportarla a la calculadora/emulador, lo cual evita tener que introducir el trazado mediante la aplicación, lo único que habrá que tener en cuenta es respetar el formato de esta variable, incluyendo en primer lugar el encabezado y las n+1 listas detrás.

La definición analítica del trazado introducido es la siguiente (copiando la variable EJT definida en la calculadora):

```

{{N      PK      L      X      Y      θ      AE      R      AS  }
Alineación 1: Recta
  {1      0      500    333.715  6337.267  74.4714  0.      0.      0.  }
Alineación 2: Curva de transición clotoide
  {2      500.    500.    794.05  6532.438  74.4714  500.    -500.    0.  }
Alineación 3: Curva circular
  {3      1000.    850.    1211.057  6798.149  42.6404  0.      -500.    0  }
Alineación 4: Curva de transición clotoide
  {4      1850.    500.    1076.403  7537.264  334.415  0.      -500.    500 }
Alineación 5: Recta
  {5      2350.    500.    592.482  7638.841  302.584  0.      0.      0.  }
Coordenadas y acimut del punto final
  {6      2850.    92.894  7659.13  302.584  0.      0.      0.      0.  }}

```

Siendo:

N : número de alineación.

PK: punto kilométrico inicial en metros de la alineación.

L: longitud en metros de la alineación.

X: coordenada equis en metros del punto inicial de la alineación.

Y: coordenada i griega en metros del punto inicial de la alineación.

θ : acimut inicial en grados centesimales de la alineación.

Ae: parámetro de entrada de la clotoide de entrada.

R: valor del radio en metros de la curva circular, si la alineación es una recta el valor será cero.

As: parámetro de salida de la clotoide de salida.

 * 2- INTRODUCCIÓN SENCILLA SÓLO PUNTOS *

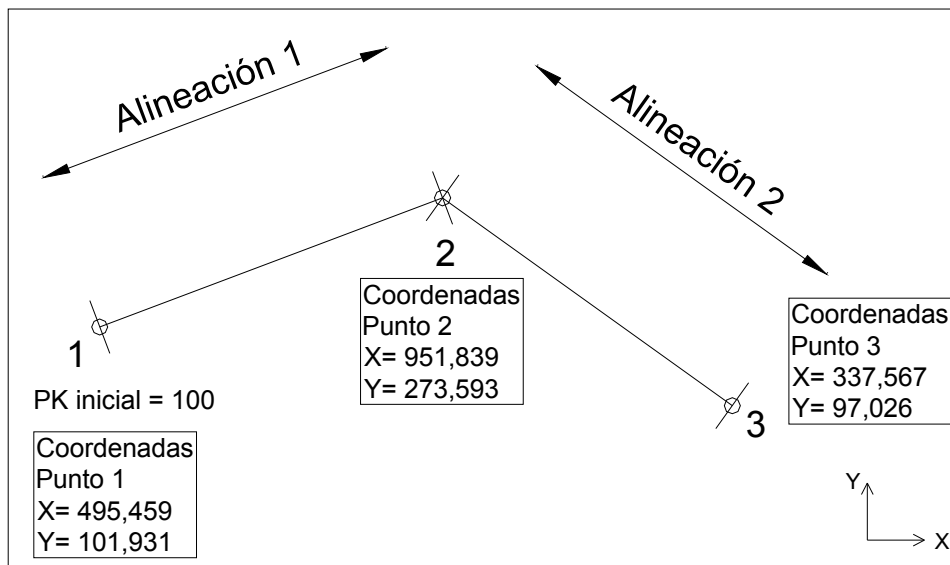
Esta introducción, define un trazado formado por alineaciones rectas.

La aplicación, nos pide primero el número de alineaciones del trazado, después nos pide el punto kilométrico inicial (PK) y las coordenadas (X,Y) de los puntos inicial y final que definen la primera alineación (X1,Y1) y (X2, Y2).

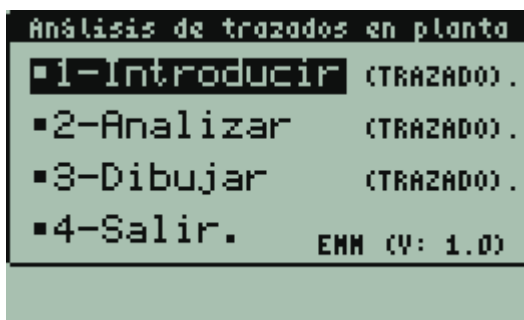
Una vez introducida la primera alineación, la aplicación calcula el punto kilométrico inicial y el punto inicial de la alineación o alineaciones posteriores.

Al introducir la última alineación y pulsar OK/ENTER, la aplicación construye internamente la variable EJT y vuelve a la pantalla de opciones de la aplicación.

Para entender este tipo de introducción, vamos a introducir el trazado siguiente compuesto por tres puntos y dos alineaciones rectas.



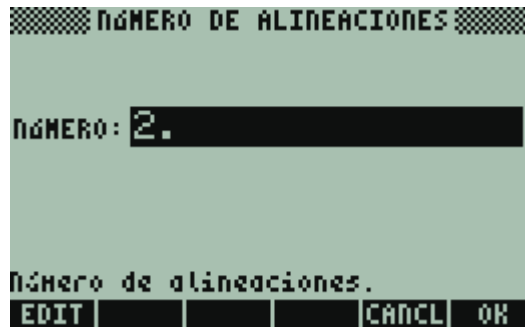
La introducción del trazado, vista por sucesivas pantallas de izquierda a derecha sería la siguiente:



→



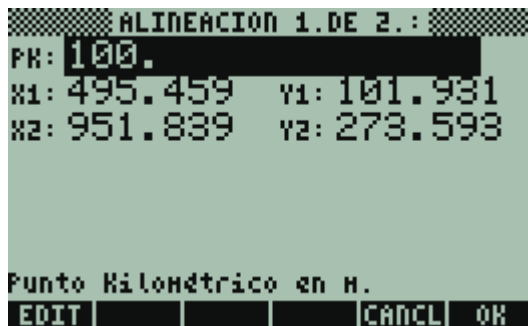
2 OK→



OK→

Alineación 1 recta:

Datos introducidos: PK, X1, Y1, X2, Y2

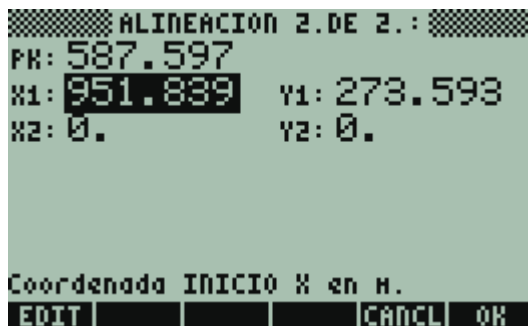


OK→

Alineación 2 recta:

Datos calculados: PK, X1, Y1

Datos introducidos: X2, Y2



Al movernos con el cursor por los valores que definen la alineación, en la parte inferior de la pantalla, se nos muestra un mensaje con información sobre el valor a introducir.

Después de introducir la última alineación, la aplicación vuelve a la pantalla de opciones:

```
Análisis de trazados en planta
▪1-Introducir (TRAZADO).
▪2-Analizar   (TRAZADO).
▪3-Dibujar   (TRAZADO).
▪4-Salir.    EMM (V: 1.0)
```

Con esto quedaría definido el trazado en planta y almacenado en la variable EJT.

```

*****
*                               3- INTRODUCCIÓN IMPORTAR PUNTOS                               *
*****

```

Esta introducción, define un trazado formado por alineaciones rectas.

Esta introducción, es igual que la anterior, pero los puntos no hay que introducirlos manualmente en la aplicación, sino que los podemos transferir de una aplicación externa a la calculadora.

Para ello, primero los puntos se guardan con un determinado formato, después se transfieren a la calculadora y se guardan en la variable EJX, para que después la aplicación los importe desde esta variable.

La variable EJX es una lista delimitada por llaves, el primer valor es el punto kilométrico inicial de la alineación en metros (PKINIC), el resto de valores corresponden a n puntos que se define con tres valores separados por espacios: número de punto (Ni), coordenada X (Xi) en metros y coordenada Y en metros (Yi).

La variable EJX tiene el siguiente formato para una lista con n puntos:

```
{PKINIC N1 X1 Y1 N2 X2 Y2 N3 X3 Y3 ----- Nn Xn Yn}
```

Para entender este tipo de introducción, vamos a introducir el trazado anterior compuesto por tres puntos y dos alineaciones rectas.

Lo primero sería construir la variable EJX. Para el caso que nos ocupa tendría esta definición:

```
{100 1 495,459 101,931 2 951,839 273,593 3 337,567 97,026}
```

Esta variable se puede construir de dos maneras:

i) En un ordenador externo a la calculadora, con un editor de texto y luego transfiriéndola a la calculadora.

ii) En la propia calculadora.

Después, esta lista encerrada por llaves, se guarda en la variable EJX en la calculadora. ('EJX' STO).

```
GRD XYZ HEX R~ 'X'
( HOME)          USR
7:
6:
5:
4:
3:
2: (100. 1. 495.459 101.
1: 'EJX'
EJT E618 EXITE START START TOFF
```

→ STO

La introducción del trazado (una vez definida la variable EJX), vista por sucesivas pantallas de izquierda a derecha sería la siguiente:

```
Análisis de trazados en planta
■1-Introducir (TRAZADO).
■2-Analizar (TRAZADO).
■3-Dibujar (TRAZADO).
■4-Salir. EMM (V: 1.0)
```

→

```
ELIJA INTRODUCCIÓN:
1-COMPLETA (R-CL-C)
2-SENCILLA SOLO PUNTOS
3-IMPORTAR PUNTOS
CANCL OK
```

```
Importando...
E6203 EJT E618 EXITE START START
```

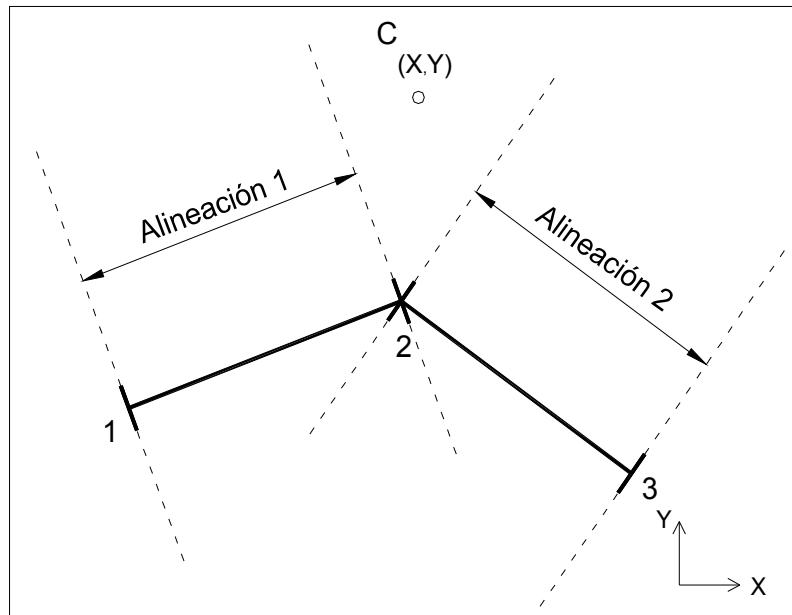
→

```
Análisis de trazados en planta
■1-Introducir (TRAZADO).
■2-Analizar (TRAZADO).
■3-Dibujar (TRAZADO).
■4-Salir. EMM (V: 1.0)
```

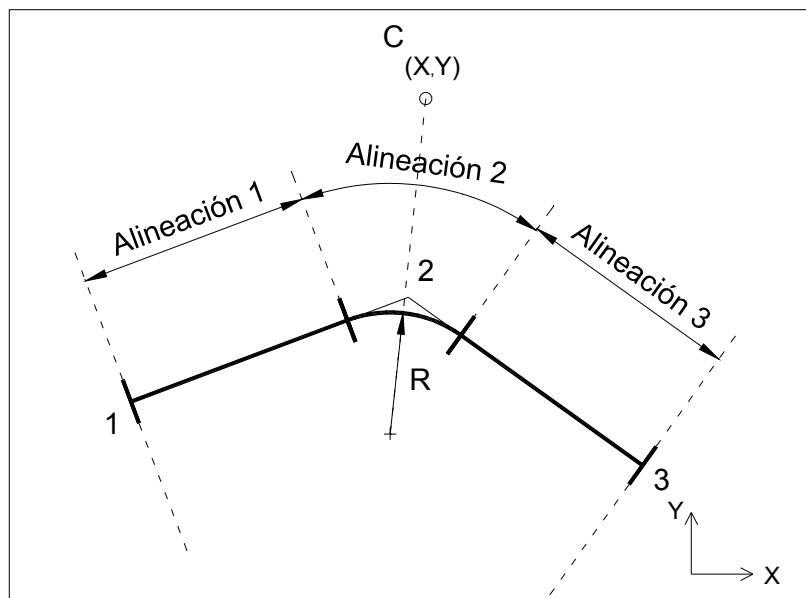
Después la aplicación vuelve a la pantalla de opciones.

En los tipos de introducción 2 y 3, el trazado introducido se compone únicamente de alineaciones rectas. Esto produce un problema que es el siguiente: existen puntos (X,Y) que pertenecen al trazado, pero debido a que este se define sólo con alineaciones rectas, no es posible encontrar la pertenencia de estos puntos al trazado (estamos suponiendo que las rectas tienen distinto acimut), es decir existe un problema de indeterminación.

Esto se explica mejor en la siguiente figura. Esta figura representa un trazado formado por dos alineaciones rectas que unen tres puntos (1,2,3), pues bien el punto C de coordenadas (X,Y) no pertenece a ninguna alineación recta, pues se encuentra fuera de los límites de cada alineación marcados con líneas discontinuas.



Para solucionar este problema, la aplicación cuando construye la variable EJT, inserta alineaciones del tipo curva circular entre las alineaciones rectas del trazado introducido.



El radio de las alineaciones curvas introducidas es siempre el mismo y tiene un valor de 0,051 metros. Al introducir un valor tan pequeño, se busca que este no influya apenas en la geometría del trazado introducido.

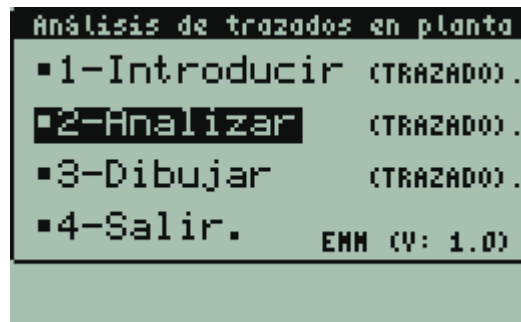
De forma que si un trazado estaba formado por dos alineaciones rectas, al crearse la variable EJT, esta tendrá tres alineaciones (dos rectas y una curva circular).

De manera general, a un trazado compuesto en su origen por n alineaciones rectas, se le añadirán $n-1$ alineaciones curvas, teniendo finalmente $2n-1$ alineaciones totales $((n+(n-1)))$.

9.2.7 ANÁLISIS DE UN TRAZADO.

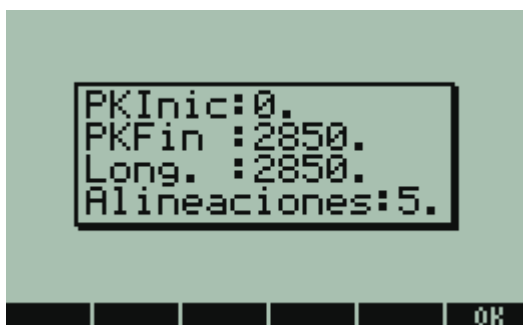
En la explicación de esta opción, vamos a continuar trabajando con el trazado introducido en el apartado anterior (Introducir un trazado, 1- Introducción Completa).

En la pantalla de opciones, si pulsamos 2 entramos en la opción de análisis del trazado que hemos debido de introducir anteriormente. Si no hemos definido un trazado previo, no habrá trazado para analizar.

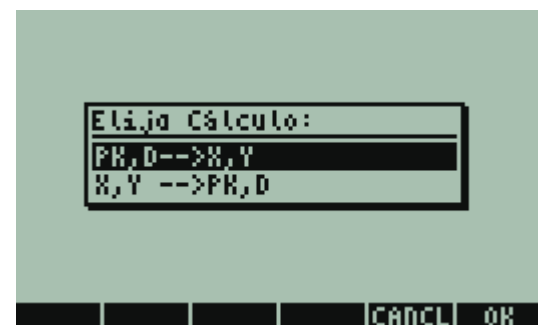


Después de pulsar el número 2, aparece una pantalla con las características principales del trazado introducido: punto kilométrico inicial en metros (PKInic), punto kilométrico final en metros (PKFin), longitud en metros (Long) y número de alineaciones que conforman el trazado (Alineaciones).

Tras esta pantalla, si pulsamos OK, aparecen las dos opciones de cálculo para que seleccionemos una con el cursor y le demos a OK.



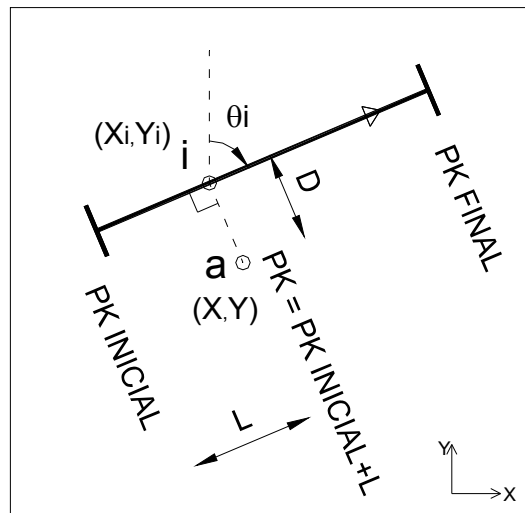
OK →



Los dos tipos de cálculo son:

Datos de entrada	Datos de salida (calculados)
Cálculo 1: (PK,D)	(X,Y,θ_i)
Punto kilométrico en metros (PK). Distancia al eje (D).	Coordenadas punto "a" (X,Y). Acimut en ese punto (θ_i).
Cálculo 2:(X,Y)	(PK,D,X_i,Y_i, θ_i)
Coordenadas punto "a" (X,Y).	Punto kilométrico en metros PK ($\theta+L$). Distancia al eje (D). Coordenadas y acimut punto "i" (X_i, Y_i), θ_i .

Para representar gráficamente los dos tipos de cálculo anteriormente enunciados, acudimos a la siguiente figura.



Por ejemplo, si seleccionamos: (PK,D) \rightarrow (X,Y, θ_i) e introducimos unos valores de entrada, la aplicación devolverá unos datos de salida (calculados).

```

DATOS PUNTO:
PK : 1100.
D(+ -): 50.

Punto Kilométrico en m.
EDIT  CANCL  OK

```

OK \rightarrow

```

PK: 1100.
D : 50.

X: 1309.496
Y: 6859.575
theta_i: 29.908

EDIT  CANCL  OK

```

Después de pulsar OK, la aplicación vuelve a la pantalla de introducción de datos (PK,D) por si queremos introducir otro

punto.

OK→

```

  DATOS PUNTO
  PK   : 0.
  D(+ -): 0.

  Punto Kilométrico en M.
  EDIT  CANCL OK
  
```

Si no queremos introducir otro punto, presionamos CANCL y volvemos a la pantalla de opciones.

Si introducimos un valor de PK no comprendido entre el PK inicial y final, por ejemplo un valor de PK de 3000 para el ejemplo de trazado con el que estamos trabajando, que tiene un PK inicial de 0 y un PK final de 2.850 m, la aplicación nos devuelve un mensaje diciendo que el PK está fuera de los límites, nos recuerda los límites y después vuelve a la pantalla de introducción de datos.

```

  DATOS PUNTO
  PK   : 3000.
  D(+ -): 0.

  Despl.+/-: derecha/izquierda M.
  EDIT  CANCL OK
  
```

OK→

```

  PK FUERA DE
  LIMITES:
  0. → 2850.
  OK
  
```

Al movernos con el cursor por los valores de las pantalla de entrada de datos, en la parte inferior de la pantalla, se nos muestra un mensaje con información sobre el valor a introducir.

OK→

```

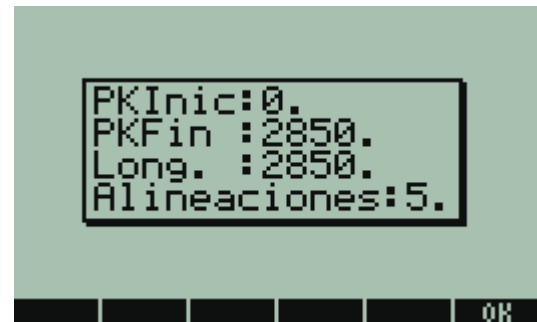
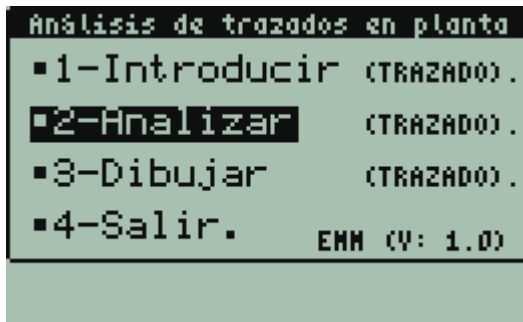
  DATOS PUNTO
  PK   : 0.
  D(+ -): 0.

  Punto Kilométrico en M.
  EDIT  CANCL OK
  
```

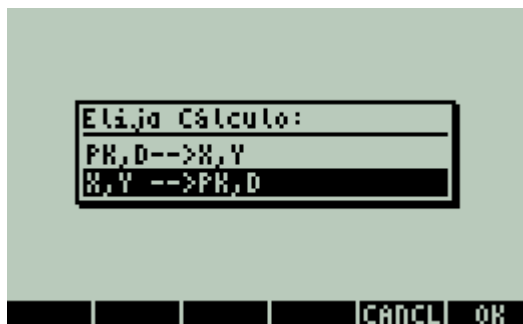
Si no queremos introducir otro punto presionamos CANCL y volvemos a la pantalla de opciones.

Si queremos seleccionar el segundo tipo de cálculo: $(X, Y) \rightarrow (PK, D, X_i, Y_i, \theta_i)$, la secuencia sería la siguiente:

2→



OK→

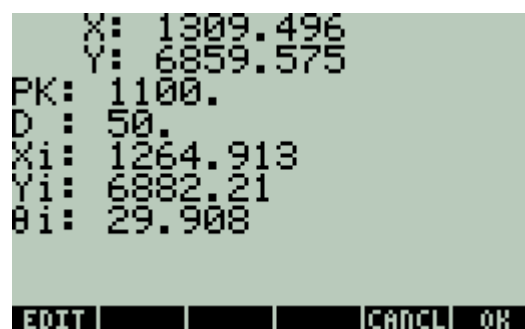


OK→



Al movernos con el cursor por los valores de la pantalla de entrada de datos, en la parte inferior de la pantalla, se nos muestra un mensaje con información sobre el valor a introducir.

OK→



Después de pulsar OK, la aplicación vuelve a la pantalla de introducción de datos (X,Y) por si queremos introducir otro punto.

OK→

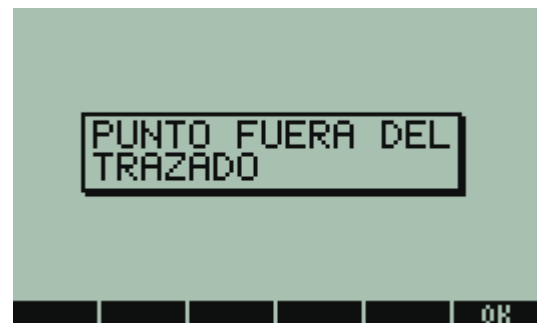


Si no queremos introducir otro punto, presionamos CANCL y volvemos a la pantalla de opciones.

Si introducimos un punto que no pertenece al trazado, la aplicación nos advierte que el punto no pertenece al trazado, y tras pulsar OK vuelve a la pantalla de introducción de datos.



OK→

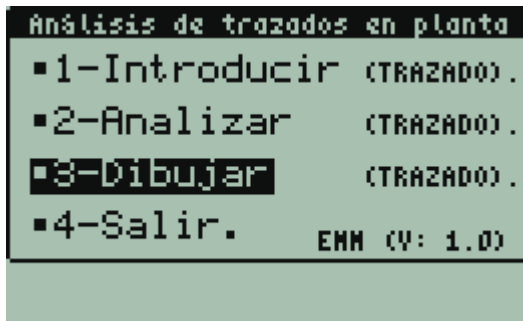


OK→

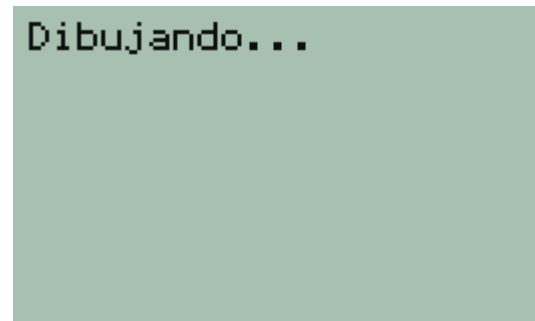


9.2.8 DIBUJO DE UN TRAZADO.

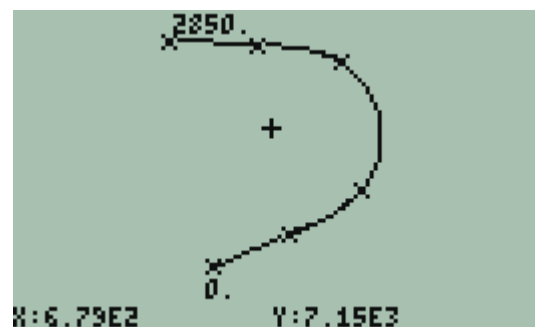
En la pantalla de opciones, si pulsamos 3, entramos en la opción de dibujo del trazado, que hemos debido de introducir anteriormente. Si no hemos definido un trazado previo no habrá trazado para dibujar.



3→



(X,Y)→



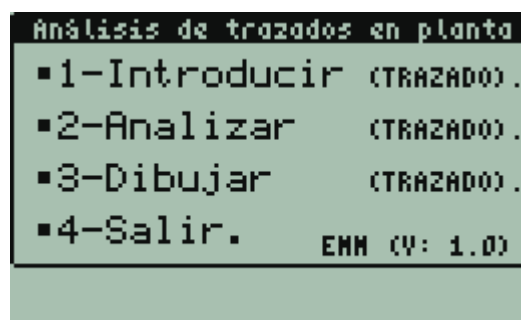
La aplicación dibuja el trazado poniendo el PK inicial y final del trazado, y separa mediante marcas las alineaciones que conforman el trazado para que podamos identificarlas.

En nuestro caso, como continuamos con el trazado definido al inicio de este manual, se pueden ver las cinco alineaciones que definen el trazado introducido y los PK inicial y final, 0 y 2850 respectivamente.

Si pulsamos (X,Y) podremos ver las coordenadas de los puntos por donde se desplace el cursor.

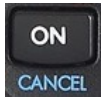
Para volver a la pantalla de opciones, sólo hay que pulsar CANCL.

CANCL→



En los tipos de introducción 2 y 3 ("2- SENCILLA SÓLO PUNTOS" Y "3- IMPORTAR PUNTOS), se introducen curvas circulares de radio 0,051 metros entre alineaciones rectas para solucionar una indeterminación. Estas curvas circulares, no se representan en el dibujo por dos razones: su radio tan pequeño las hace irrelevantes en la representación gráfica y de esta manera evitamos ralentizar el proceso de dibujo.

Al dibujar algunos trazados, la ejecución del dibujo se detiene. Esto se soluciona pulsando la tecla de CANCEL (ON) y entonces el dibujo continua y finaliza correctamente.



9.2.9 VARIABLE EJT.

El funcionamiento de la aplicación se basa en la variable EJT, esta variable es el elemento clave de funcionamiento de la aplicación, ya que identifica y define el trazado en planta.

Por tanto, cualquiera de las funciones de la aplicación: introducción, análisis y dibujo pasan por el análisis y estudio de esta variable.

Se ha creído conveniente definir esta variable como un conjunto de listas, ya que el agrupar los elementos de trazado en listas posibilita luego la programación posterior y se evita el trabajar con muchas variables.

Por otra parte, es una variable que permite una interpretación rápida del trazado. Con sólo verla, el usuario se hace una idea de cuántas alineaciones tiene el trazado, qué longitud total tiene el trazado y cuál es su punto kilométrico inicial y final.

Se crea en la opción de introducción del trazado en planta en la misma aplicación, o se puede crear con un simple editor de texto a partir de datos importados de otros softwares de trazado.

Esta variable, es una lista que engloba otras listas en su interior. Para un trazado en planta compuesto por n alineaciones, la variable EJT estaría formado por una lista que englobaría a $n+2$ listas en su interior.

La primera lista, es un encabezado que indica qué dato está colocado en cada columna de las listas siguientes.

Las siguientes n listas, representan los datos de definición de cada elemento del trazado en planta o alineación.

La última lista, identifica los datos del punto final del eje en cuestión, con la particularidad que al ser sólo un punto y no un elemento de trazado, se identifica sólo con el punto kilométrico final (PK_{n+1}), las coordenadas (X, Y) (X_{n+1}, Y_{n+1}) y el acimut final (θ_{n+1}), siendo el resto de características cero.

{N	PK	L	X	Y	θ	AE	R	AS }
{1	PK1	L1	X1	Y1	θ_1	AE1	R1	AS1 }
{2	PK2	L2	X2	Y2	θ_2	AE2	R2	AS2 }
{3	PK3	L3	X3	Y3	θ_3	AE3	R3	AS3 }
{...}
{n	PKn	Ln	Xn	Yn	θ_n	AEn	Rn	ASn }
{n+1	PKn+1	0	Xn+1	Yn+1	θ_{n+1}	0	0	0 }

Para entender la variable EJT, sólo nos resta definir qué representan las letras que identifican los valores de cada columna:

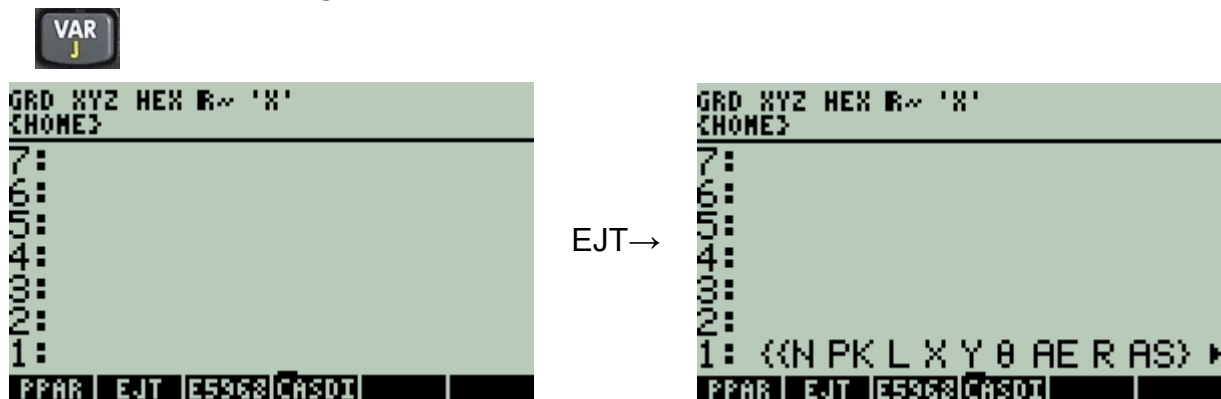
N : número de alineación.
 PK: punto kilométrico inicial en metros de la alineación.
 L: longitud en metros de la alineación.
 X: coordenada equis en metros del punto inicial de la alineación.
 Y: coordenada i griega en metros del punto inicial de la alineación.
 θ : acimut inicial en grados centesimales de la alineación.
 Ae: parámetro de entrada de la clotoide de entrada.
 R: valor del radio en metros de la curva circular, si la alineación es una recta el valor será cero. Si el radio es positivo, la curva circular es a derechas y si es negativo a izquierdas.
 As: parámetro de salida de la clotoide de salida.

Los valores de la variable EJT, se definen en la aplicación con el máximo número de cifras significativas que admite la calculadora por defecto.

La sencillez de esta variable, posibilita construirla con un editor de texto a partir de datos importados de cualquier software de trazado para luego exportarla a la calculadora/emulador, lo cual evita tener que introducir el trazado mediante la aplicación, lo único que habrá que tener en cuenta es respetar el formato de esta variable, incluyendo en primer lugar el encabezado y las n+1 listas detrás.

La otra manera de introducir la variable, es directamente mediante la aplicación.

Para visualizar la variable EJT en la calculadora, hay que salir de la aplicación, pulsar la tecla VAR, pulsar EJT y luego dar a la tecla abajo del cursor de la calculadora.





TECLA ABAJO CURSOR→

```
GRD XYZ HEX R~ 'X'          PRG
{HOME}
* ( N PK L X Y θ AE R
AS ) ( 1. 0. 500.
333.715 6337.267
74.4714 0. 0. 0. ) (
2. 500. 500. 794.05
6532.438 74.4714 500.
-500. 0. ) ( 3. 1000.
←SKIP←SKIP←←DEL DEL← DEL L INS ▀
```


9.2.10 LIMITACIONES Y BUGS.


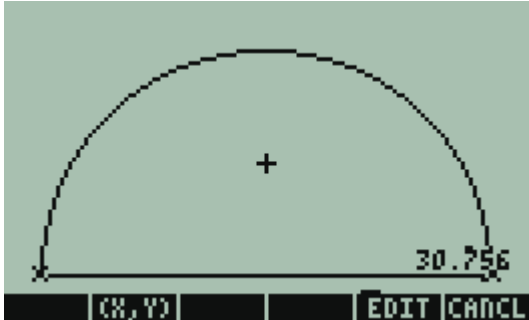
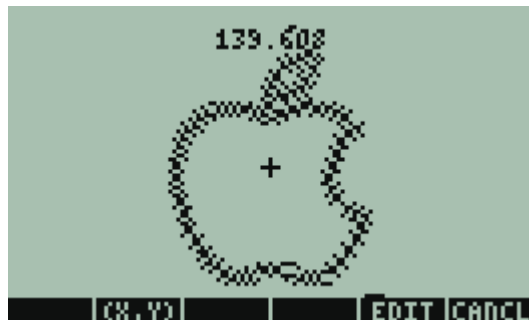
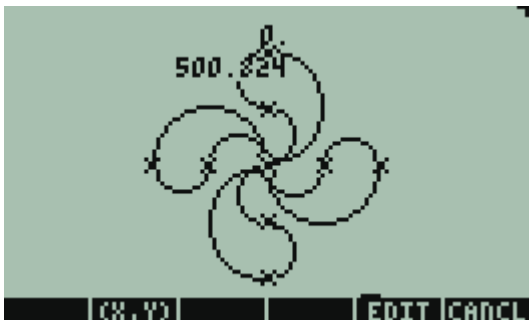
El número de alineaciones que definen un trazado, sólo está limitado por la memoria de la calculadora. Si bien es cierto que un trazado compuesto por un excesivo número de alineaciones puede ralentizar los cálculos.

La aplicación no discierne si las alineaciones introducidas se cruzan, no obstante el usuario al visualizar la representación gráfica, puede ver el trazado y comprobarlo.

Al dibujar algunos trazados, la ejecución del dibujo se detiene. Esto se soluciona dando a la tecla de CANCEL (ON) y entonces el dibujo continua y finaliza correctamente.

9.2.11 EJEMPLOS DE TRAZADOS INTRODUCIDOS.

Tras la realización de la aplicación, se constata que a pesar de que este software, fue proyectado sólo para analizar trazados en planta, su espectro de acción es más amplio, ya que abarca cualquier trazado geométrico compuesto por rectas, curvas circulares o clotoides como elementos únicos o bien combinados.

	
<p>Trazado en planta. Formado por cinco alineaciones: recta, clotoide, curva circular, clotoide y recta</p>	<p>Trazado en alzado/Sección tipo. Sección de excavación de un túnel, formada por cuatro alineaciones.</p>
	
<p>Forma geométrica. Logotipo de Apple, obtenido tras la importación de ochenta puntos.</p>	<p>Forma geométrica. Figura geométrica (lauburu), formada por dieciséis curvas circulares.</p>