

GENERACION DEL MODELO DIGITAL DE UN TERRENO A PARTIR DE DATOS
TOPOGRAFICOS

EFRAIN SOLANO FAJARDO
ARMANDO OROBIO QUIÑONES

UNIVERSIDAD DEL CAUCA
INSTITUTO DE POSGRADOS EN INGENIERIA CIVIL
MAESTRIA EN INGENIERIA DE VIAS TERRESTRES
POPAYAN

2002

GENERACION DEL MODELO DIGITAL DE UN TERRENO A PARTIR DE DATOS
TOPOGRAFICOS

EFRAIN SOLANO FAJARDO
ARMANDO OROBIO QUIÑONES

UNIVERSIDAD DEL CAUCA
INSTITUTO DE POSGRADOS EN INGENIERIA CIVIL
MAESTRIA EN INGENIERIA DE VIAS TERRESTRES
POPAYAN

2002

GENERACION DEL MODELO DIGITAL DE UN TERRENO A PARTIR DE DATOS
TOPOGRAFICOS

EFRAIN SOLANO FAJARDO
ARMANDO OROBIO QUIÑONES

Trabajo de investigación para optar el título de Magíster en Ingeniería de Vías
Terrestres

Director
CARLOS INGNACIO PAZ ACHIPIZ

UNIVERSIDAD DEL CAUCA
INSTITUTO DE POSGRADOS EN INGENIERIA CIVIL
MAESTRIA EN INGENIERIA DE VIAS TERRESTRES
POPAYAN

2002

Nota de aceptación

Presidente del Jurado

Jurado

Jurado

Popayán, 8 de Octubre de 2002

A mi madre Stella, por su esfuerzo y dedicación para con sus hijos. A mis hermanos Ligia, Alfredo, Alvaro, Carlos, Manuel, Isabel y a mis hijas Valentina y Vanesa por su compañía.

Efraín de Jesús Solano Fajardo

A mi madre Rosa Elvira, por su esfuerzo y dedicación para con sus hijos. A mis hermanos Arnulfo, Jairo, Juan Carlos y Edgar por su apoyo y compañía. A mis sobrinas Alejandra y Maria Camila.

Armando Orobio Quiñones

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos a

Departamento de Vías y Transportes de la Universidad del Cauca, por su entusiasmo y colaboración durante el desarrollo de la investigación.

Carlos Ignacio Paz Achipiz, Director del trabajo de investigación, por sus valiosas orientaciones.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	16
1. OBJETIVOS	18
1.1. OBJETIVOS GENERALES	18
1.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS	18
2. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA INVESTIGACIÓN	19
2.1. TITULO	19
2.2. TEMA	19
2.3. ANTECEDENTES	19
2.4. JUSTIFICACIÓN	20
2.5. ALCANCE	21
3. SÍNTESIS DE LA RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN	22
3.1 LIBROS RELACIONADOS CON TOPOGRAFÍA	23
3.2 LIBROS RELACIONADOS CON MATEMÁTICAS	23
3.3. LIBROS RELACIONADOS CON MODELOS DIGITALES DE	24
4. MARCO TEORICO	25
4.1. DEFINICIONES BÁSICAS	25
4.1.1 Modelo digital de un terreno	25
4.1.2 Terminología	26
4.1.3 La importancia y necesidad de los modelos digitales de terreno	28
4.1.4 Formas de Presentación grafica de DTMs	31
4.1.5 Elementos de modelación digital de terrenos	31
4.1.6 Modelos de datos en DTM	36
4.2. MACROPROCESOS EN LOS MODELOS DIGITALES DE TERRENO	42
4.2.1 Diagramas de Voronoi	42
4.2.2 Triangulación de Delaunay	52
5. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN	67

5.1.	INFORMACIÓN DE CAMPO	67
5.1.1.	Poligonal con Detalles, Nivelada y con Toma de Topografía	68
5.1.2.	Radiación con Base Medida y Nivelación Radial	76
5.1.3.	Levantamiento con Estación Total	78
5.1.4	Levantamiento con GPS	79
5.2.	CALCULOS DE COORDENADAS	80
5.3.	INFORMACIÓN REQUERIDA PARA LA GENERACIÓN DEL	84
5.4.	GENERACIÓN DEL MODELO DIGITAL	84
5.4.1.	Triangulación	84
5.4.2.	Interpolación de cotas cerradas	102
5.4.3	Curvas de nivel	103
6	EJEMPLOS DE APLICACIÓN DEL SOFTWARE TOPO 1.0	119
6.1	Poligonal abierta, nivelada y con toma de topografía	119
6.1.1	Carteras de Campo	120
6.1.2	Entrada de datos al programa “TOPO”	127
6.2	Poligonal cerrada con detalles	141
6.2.1	Cartera de Campo Poligonal Cerrada y Detalles	141
6.2.2	Entrada de datos al programa “TOPO”	142
6.3	COORDENADAS TOMADAS CON ESTACION TOTAL	150
6.3.1	Datos de Campo de Coordenadas	152
6.3.2	Coordenadas Almacenadas	155
6.3.3	Cálculos	155
6.3.4	Dibujo	156
7.	CONCLUSIONES	160
8.	RECOMENDACIONES	162
	BIBLIOGRAFÍA	164
	ANEXOS	165

LISTA DE FIGURAS

		Pag.
Figura. 4.1.	Ejemplos de modelos digitales de terrenos	31
Figura. 4.2.	Estructura de un TIN	40
Figura. 4.3.	Celda de Voronoi de un punto p	43
Figura. 4.4	Diagrama de Voronoi con puntos colineales	45
Figura. 4.5.	Líneas o aristas de un Diagrama de Voronoi	45
Figura 4.6.	Intersección de bisectores	46
Figura. 4.7	Grafo conectado	48
Figura. 4.8.	Círculo que determina cuales son vértices o aristas	50
Figura 4.9	Diagrama de Voronoi para el Teorema 3	51
Figura. 4.10	Una vista en perspectiva de un terreno	53
Figura 4.11	Terreno poliédrico formado a partir de un conjunto de puntos de medidos	54
Fig. 4.12	Cambiar un eje puede hacer una gran diferencia.	56
Figura 4.13	Triangulación Planar de un conjunto de Puntos	57
Figura 4.14.	Correspondiente al teorema 2	60
Figura 4.15	Rotación de un eje.	60
Figura 4.16.	Correspondiente al Lemma 1	62
Figura 4.17	Grafico Vor (P)	64
Figura 4.18	Grafico de Delaunay DG(P)	65
Figura. 5.1.	Angulo de Deflexión	70
Figura. 5.2.	Angulo de Positivo	70
Figura. 5.3.	Azimut Directo	71
Figura. 5.4.	Datos para el calculo de coordenadas	80
Figura. 5.5	Procedimiento computacional para calculo de coordenadas	83
Figura. 5.6	Nube de puntos original	86
Figura. 5.7	Nube de puntos ordenada	86

Figura. 5.8	Descripción general de SHELL	87
Figura. 5.9	Primer triángulo del sistema	88
Figura. 5.10	Polígono convexo para los tres primeros puntos	89
Figura. 5.11	Puntos del polígono convexo vistos desde el punto 4	89
Figura. 5.12	Otra posición para el punto 4	90
Figura. 5.13	Construcción del triángulo	91
Figura 5.14	Polígono convexo de los m-1 puntos	92
Figura 5.15	Procedimiento para encontrar el polígono convexo superior de una serie de 7 puntos	93
Figura 5.16	Proceso computacional para encontrar el polígono convexo superior.	94
Figura 5.17	Procedimiento para encontrar el polígono convexo inferior de una serie de 7 puntos	95
Figura 5.18	Proceso computacional para encontrar el polígono convexo inferior	96
Figura 5.19	Puntos del polígono convexo vistos desde el punto 8	97
Figura 5.20	Puntos del polígono convexo vistos desde el punto 16	97
Figura 5.21	Puntos anexos analizando el punto 8	98
Figura 5.22	Puntos anexos analizando el punto 16	98
Figura 5.23	Triangulación desde el punto 8	99
Figura 5.24	Triangulación desde el punto 16	99
Figura 5.25	Triangulación	100
Figura 5.26	Procedimiento computacional utilizado para efectuar el proceso de triangulación	101
Figura 5.27	Interpolación de cotas cerradas	102
Figura 5.28	Alineamientos con cotas cerradas interpoladas linealmente	103
Figura 5.29	Polígonos de cotas cerradas	104
Figura 5.30	Polígono de cotas cerradas iguales	105

Figura 5.31	Polígono cerrado de cotas cerradas	105
Figura 5.32	Deflexiones del polígonos de cotas cerradas	106
Figura 5.33	Trazado de las bisectrices para cada deflexión	106
Figura 5.34	Materialización de puntos adicionales	107
Figura 5.35	Trazado de las líneas $\Delta 2 / K$ y $\Delta n-1 / K$	108
Figura. 5.36	Interpolación de la Parábola Cúbica de Bezier	109
Figura 5.37	Polígono de 5 tramos con 5 parábolas cúbicas de Bezier	110
Figura 5.38	Dibujo de la parábola cúbica de Bezier Calculada -1	113
Figura 5.39	Dibujo de la parábola cúbica de Bezier Calculada - 2	116
Figura. 5.40	Nube de puntos, triangulación e interpolación de curva de nivel	117
Figura. 5.41	Procedimiento computacional para la generación dede curvas de nivel	118
Figura. 6.1	Ventana para la creación del proyecto	128
Figura. 6.2	Ventana para la creación del subproyecto	130
Figura. 6.3	Ventana para la entrada de datos del delta inicial	130
Figura. 6.4	Entrada del alineamiento # 1	132
Figura. 6.5	Entrada del alineamiento # 5	132
Figura. 6.6	Entrada del alineamiento # 8	133
Figura. 6.7	Ventana para la entrada de datos de nivelación	135
Figura. 6.8	Ventana para la entrada de datos de contranivelación	136
Figura. 6.9	Ventana para la entrada de datos de toma de topografía	137
Figura. 6.10	Ventana para la entrada de datos de bisectriz en delta	138
Figura. 6.11	Presentación del dibujo	139
Figura. 6.12	Curvas de nivel y triangulación del terreno	140
Figura. 6.13	Ventana para la creación del proyecto	143
Figura. 6.14	Ventana para la creación del subproyecto	143
Figura. 6.15	Ventana para la entrada de coordenadas	144

Figura. 6.16	Entrada del alineamiento # 1	145
Figura. 6.17	Entrada del alineamiento # 3	146
Figura. 6.18	Entrada del alineamiento # 6 o alineamiento de cierre	146
Figura. 6.19	Entrada del detalle 2E	147
Figura. 6.20	Entrada del detalle 2D	148
Figura. 6.21	Ventana para definir las secuencias de dibujo	149
Figura. 6.22	Visualización del dibujo	150
Figura. 6.23	Ventana para la creación del proyecto	151
Figura. 6.24	Ventana para la creación del subproyecto	152
Figura. 6.25	Datos almacenados en una hoja electrónica	152
Figura. 6.26	Columnas A,B,C y D Seleccionadas y copiadas al porta papeles	153
Figura. 6.27	Menú Utilidades / Importar	153
Figura. 6.28	Ventana para importar coordenadas	154
Figura. 6.29	Mensaje de información cargada	155
Figura. 6.30	Coordenadas copiadas al porta papeles	155
Figura. 6.31	Nube de puntos levantada con Estación Total	156
Figura. 6.32	Modelo digital del terreno (Triangulación y curvas de Nivel)	157
Figura. 6.33	Coordenadas de un punto sobre el modelo digital	157
Figura. 6.34	Polilínea sobre el modelo digital	158
Figura. 6.35	Perfil de la Polilínea	159

LISTA DE ANEXOS

- | | |
|---------|--|
| Anexo 1 | Software TOPO en CD, Para realizar cálculos topográficos en ingeniería, desarrollado en el marco de esta investigación |
| Anexo 2 | Manual del usuario del programa TOPO |
| Anexo 3 | Planos de los ejemplos de aplicación del programa TOPO |
| Anexo 4 | Artículo “Una mirada a la modelación digital de terrenos en topografía” |
| Anexo 5 | Artículo “Análisis comparativo de los métodos para toma de topografía mediante la generación del modelo digital del terreno” |

RESUMEN

El modelo digital de un terreno consiste en representar su superficie por una serie de planos que unidos unos a otros pueden dar una aproximación adecuada de las características del mismo; dichos planos son generados a partir de un gran número de puntos ubicados sobre el terreno con sus respectivas coordenadas (X,Y,Z).

El modelo digital de un terreno y su representación en un plano digital de curvas de nivel, tiene una gran aplicación no solo en la Ingeniería de Vías, si no también en otros campos de la Ingeniería Civil. Esta investigación tuvo como propósito el análisis y desarrollo de algoritmos que permitan el desarrollo de software para la generación de modelos digitales de terrenos a partir de mediciones topográficas de campo, ya sea mediante equipo electrónico o con equipo tradicional de topografía. Este trabajo permite conocer los procesos utilizados para el cálculo del modelo digital de terreno por el software extranjero especializado en topografía y vías que es distribuido en el país debido a la ausencia de desarrollos propios. Conocer la fundamentación teórica y los algoritmos desarrollados permitirán realizar adecuaciones tecnológicas y creación de software propio adaptado a las condiciones nacionales. Se presenta el software **TOPO** desarrollado en el marco de esta investigación, el cual es una herramienta computacional con la que es posible realizar la captura y procesamiento de la información de campo tanto de

planimetría como de altimetría. El programa efectúa cálculos, chequeos, ajustes, elabora el plano digital de curvas de nivel y genera el dibujo de los trabajos en un editor gráfico propio, pero se puede exportar a un software de dibujo para realizar la edición de los planos definitivos.

INTRODUCCIÓN

El desarrollo tecnológico de los últimos años ha traído consigo nuevos equipos de trabajo topográfico, así como nuevas herramientas computacionales para realizar los trabajos de topografía y diseño geométrico de vías. Se han elaborado potentes equipos de medición electrónica para trabajo de campo. Esta potencialidad no sería tal, si no se contara con software para el procesamiento ágil de los datos, como un herramienta versátil durante el proceso de diseño. Esta necesidad y la ausencia de creaciones propias, ha permitido la llegada al país de software realizado en el exterior sin considerar las condiciones y necesidades nacionales. Estos sistemas son “cajas negras”, de los cuales no se conocen los procedimientos y algoritmos utilizados para los procesos de cálculo y diseño; adicionalmente son desarrollados en países en donde la topografía y normatividad son diferentes a las colombianas.

Es importante realizar adecuaciones tecnológicas y más aun, desarrollar programas propios que puedan ser utilizados por estudiantes y profesionales colombianos con el pleno conocimiento de la fundamentación teórica y algoritmos involucrados en los procesos de calculo. Esto permite su óptima utilización por parte de profesores, estudiantes y profesionales.

Este proyecto esta enfocado a desarrollar un sistema al interior de la **Universidad del Cauca** que permita el manejo de la información de campo recolectada en un levantamiento topográfico, de una manera ágil y óptima, hasta obtener el modelo digital del terreno y que también permita el crecimiento académico, institucional y profesional de los estudiantes, profesores y egresados en el área de la topografía y las vías. La formulación matemática y el sistema implementado que se presentan en este trabajo son de acceso libre para estudiantes, profesores y profesionales de la ingeniería.

1.OBJETIVOS

1.1 Objetivos Generales.

Desarrollar el modelo digital de un terreno, utilizando herramientas matemáticas y computacionales.

1.2.Objetivos Específicos

Diseñar un sistema que permita el almacenamiento y proceso de la información topográfica de campo.

Deducir la información topográfica de cualquier elemento colocado sobre el terreno, tomando como base el modelo digital.

Generación del dibujo y los datos respectivos para presentar el modelo topográfico.

Capacitar a docentes de la facultad en el trabajo realizado.

2.DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA INVESTIGACIÓN

2.1 Título.

GENERACIÓN DEL MODELO DIGITAL DE UN TERRENO A PARTIR DE DATOS TOPOGRÁFICOS.

2.2 Tema.

Utilización de la información de campo de un trabajo topográfico para la generación del modelo digital de un terreno.

2.3 Antecedentes.

En el Departamento de Vías y Transportes de la Universidad del Cauca, se desarrolló el programa CATO en los inicios de los años 90, siendo este un programa bajo DOS que realiza cálculos de Coordenadas y ajustes de poligonales a partir de datos de campo. Posteriormente al interior del mismo Departamento se creó el programa TOPO como una herramienta académica, la cual se podía extender al ejercicio profesional TOPO al igual que CATO fue

desarrollado bajo DOS y permitía calcular coordenadas y realizar ajustes a partir de datos de campo.

Ninguno de los anteriores programas incorporaba la captura de datos de los nuevos equipos electrónicos de topografía, ni el manejo del dibujo de los planos, ni la generación del modelo digital del terreno como base para otros trabajos de ingeniería.

2.4 Justificación.

La situación actual del país es la de adquirir software extranjero y usarlo sin ninguna adecuación tecnológica; adicionalmente los costos de los sistemas existentes son muy altos, de difícil adquisición y tienen escaso soporte técnico y conceptual, lo cual crea una barrera entre la tecnología y el Ingeniero Civil Colombiano.

Los sistemas existentes en el mercado, son “cajas negras”, de los cuales no se conocen los procedimientos y algoritmos utilizados para los procesos de cálculos y diseño, ya que son desarrollados en otros países en donde la topografía y normatividad son diferentes a las nuestras.

Durante esta investigación y con base en las consideraciones anteriores, se ha desarrollado al interior del Departamento de Vías y Transportes de la **Universidad del Cauca**, un sistema que permite el manejo de la información de campo recolectada en un levantamiento topográfico, de una manera ágil y óptima hasta obtener el modelo digital del terreno, lo que facilita el desarrollo académico, institucional y profesional de los estudiantes, profesores y egresados en el área de la topografía y las vías. El conocer los cálculos a realizar para la generación del modelo digital, permite la utilización óptima de éste por parte de profesores y estudiantes de la facultad.

2.5 Alcance.

El proyecto esta limitado al desarrollo de un sistema para la generación del modelo digital de un terreno, compuesto a partir de datos provenientes de levantamientos topográficos y al diseño de un software que permita el manejo, procesamiento de los datos, la generación del modelo digital de terrenos y exportación de la información generada a un CAD de amplio uso para la elaboración de planos.

3. SÍNTESIS DE LA RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN.

Durante el desarrollo de este trabajo, no fue posible encontrar en el país personas dedicadas a esta línea de investigación, pero se pudieron encontrar pares en Estados Unidos, Canadá, España y Argentina los cuales realizan actualmente investigaciones alrededor de este tema.

A pesar de que se visitaron varias bibliotecas universitarias y se trató de conseguir libros en librerías técnicas del país, no fue posible encontrar bibliografía referente al tema de modelación digital de terrenos, por lo cual se tuvo que realizar mucha investigación documental por Internet y como resultado se compraron algunos libros en los Estados Unidos vía Internet.

Adicionalmente se conocen en detalle los procedimientos de campo utilizados para la recolección de la información y se tiene destreza manual en los procesos de cálculo de coordenadas, movimiento de tierras, interpolación numérica de datos y demás procesos utilizados en la topografía y las vías.

3.1 Libros relacionados con topografía

Para la parte teórica en lo relacionado a los conceptos básicos en topografía y métodos de levantamiento y toma de topografía, implementados en el software **TOPO**, se consultaron los siguientes libros:

WOLF, Paul R.y BRINKER, Russell C, Topografía. 9^a ed. Bogota, DC : Alfa omega,1998, 834p.

TORRES, Alvaro y VILLATE, Eduardo. Topografía. 4^a ed. Bogota, DC: Pearson Educacion, 2001.460p.

BALLESTEROS, Nabor. Topografía. 6^a ed. México, DF: Limusa, 1998.474p.

MONTES DE OCA, Miguel. Topografía. 4a ed. México, 1994 DF: Alfaomega,

3.2 Libros relacionados con matemáticas computacionales

En lo relacionado con la triangulación, interpolación, dibujo de curvas de nivel y gráficos por computador se consultaron los siguientes textos.

DE BERG, Mark y Otros. Computational Geometry. . 2^a ed. New York: Springer,2000.367p.

HEARN,Danald y BEKER, Pauline. Graficas por Computadora. 4^a ed. Mexico, DF:Preantice Hall.1995.686p.

3.3 Libros relacionados con modelos digitales de terrenos:

En lo relacionado con los conceptos sobre modelos digitales de terreno, se revisó el siguiente libro:

EL-SHEIMY, Nacer, Digital Terrain Modelling. Calgary; University of Calgary.1999.

4 MARCO TEORICO

4.1 DEFINICIONES BÁSICAS

Superficies tales como la de la tierra son fenómenos continuos y no objetos discretos. En otras palabras, para modelar completamente una superficie se necesita un numero infinito de puntos, lo cual requiere una capacidad infinita de almacenamiento de datos, una tarea imposible para cualquier sistema digital. Entonces nuestro objetivo es representar superficies continuas en una forma digital una con cantidad finita de almacenamiento. Para realizar este objetivo se han creado diferentes técnicas de generación de modelos digitales.

4.1.1 Modelo Digital de un Terreno: El concepto de creación de modelo digital de un terreno es relativamente reciente y la introducción del término modelo digital de un terreno (DTM)¹ es generalmente atribuido a dos ingenieros americanos del Instituto Tecnológico de Massachussets (MIT) durante los años 50. La definición dada por ellos fue la siguiente “el DTM es

¹ Digital Terrain Model

simplemente una representación estática de la continua superficie de la tierra por un gran número de puntos seleccionados con coordenadas conocidas X, Y y Z en un arbitrario sistema de coordenadas”². Específicamente los primeros trabajos fueron concernientes al uso de datos de secciones transversales para definir el terreno. Desde entonces otros términos como, modelo digital de elevación (DEM)³, modelo digital de altura (DHM)⁴, modelo digital de terreno (DGM)⁵, modelo digital de datos de elevación de terreno (DTED), han sido combinados para describir estos y otros procesos relacionados.

La siguiente discusión pretende suministrar una simplificación y estandarización del uso de estos términos.

4.1.2 Terminología: Aunque en la práctica estos términos son considerados como sinónimos en realidad ellos con frecuencia se refieren a diferentes productos⁶. Al revisar varios diccionarios de literatura técnica, una variedad de definiciones o significados para las palabras y términos usados en modelación digital de un terreno son encontrados. Por ejemplo, **tierra** puede ser definida como la superficie sólida de la tierra, una base sólida o cimentación, una superficie de la tierra, o una porción de la superficie de la tierra. Similarmente, **altura** puede tener diferentes significados tales como

² Miller and La Flamme, 1958

³ Digital Elevation Model

⁴ Digital Height Model

⁵ Digital Ground Model

⁶ Petrie and Kennie, 1990

medida desde la base a la cima o a la parte superior, distancia ascendente, o elevación sobre el terreno o a un nivel conocido. **Elevación** puede ser la altura sobre el horizonte o la altura sobre una superficie dada generalmente el nivel del mar. Y finalmente **terreno** tiene en cambio diferentes conceptos o significados, un tramo de una región considerando sus características naturales, o una extensión de tierra, región, territorio⁷. Desde estas definiciones algunas diferencias son manifestadas entre los distintos términos:

4.1.2.1 DEM: El termino elevación enfatiza la medida de la altura sobre un datum o altitud absoluta de un punto en el terreno. DEM es un término de uso generalizado y se refiere a la creación de una colección regular de elevaciones, normalmente con un patrón cuadrado o hexagonal sobre el terreno.

4.1.2.2 DHM: Un término menos usado con el mismo significado de DEM teniendo en cuenta que la palabra elevación y altura son consideradas sinónimos, los términos parecen haber sido originados en Alemania.

4.1.2.3 DGM: este término parece ubicar su énfasis sobre un modelo digital de la superficie sólida de la tierra, se presume que de esta manera tendrá alguna conexión entre elementos que no son considerados discretos. Esta conexión generalmente toma la forma de una inherente función de

⁷ Petrie and Kennie, 1990

interpolación que puede ser usada para generar algún punto sobre la superficie del terreno. El termino es en general usado en el Reino Unido aunque su uso se ha extendido.

4.1.2.4 DTM: es el más complejo concepto, el cual encierra no solo elevación y altura sino también otras características de un sistema de información geográfico tales como cuencas hidrográficas, etc. En un estrecho sentido el DTM representa el relieve del terreno. En su forma general un DTM es considerado por la mayoría de las personas para incluir datos planimétricos, altimétricos y datos de relieve; además DTM puede también incluir datos derivados a cerca del terreno tales como pendiente, aspecto, visibilidad, etc.

4.1.2.5 DTED: un termino usado por la agencia de cartografía de la armada de los Estados Unidos. Describe esencialmente datos producidos por el mismo proceso aunque esta específicamente usa datos basados en una estructura matricial que registra las relaciones entre datos de puntos conocida como Grid.

4.1.3 La Importancia y Necesidad de los Modelos Digitales de Terreno: los modelos digitales de terreno tienen aplicación en varios campos de la ingeniería. Su más temprano uso se conoce desde los años 50 y desde ese tiempo han demostrado ser un importante método de modelación y análisis de información topográfica espacial. Los modelos digitales se usan en

Ingeniería Civil, Ingeniería Militar, Ciencias de la tierra (Geología, Geografía, ect), Planeación y administración de recursos, topografía y fotogrametría.

4.1.3.1 Ingeniería Civil: Los Ingenieros Civiles están principalmente internados en el uso de DTMs para resolver problemas de corte y relleno relacionados con el diseño de carreteras, en explanaciones, en cálculos volumétricos para la construcción de presas, en depósitos y similares. Puede ser pertinente puntualizar que debido a tales aplicaciones concernientes a volumen y diseño llamar un DTM un modelo de terreno tiene mayor importancia en la Ingeniería Civil que en otros usos de los DTMs.

4.1.3.2 Ciencias de la tierra: Las aplicaciones geo-científicas se centran principalmente en funciones específicas para modelación, análisis e interpretación de la geomorfología. Las tareas desempeñadas en las ciencias de la tierra empleando DTM pueden incluir el desarrollo y definición de las cuencas hidrográficas, modelación hidrológica, simulación y clasificación geomorfología y la elaboración de mapas geológicos, generación de mapas de pendiente y de paisaje, perfiles para la creación de mapas de la forma del relieve.

4.1.3.3 Planeación y administración de recursos: es una mayor agrupación de diversos campos incluyendo sensores remotos, agricultura, ciencias del suelo, meteorología, climatología, planeación ambiental, urbana y forestal, lo cual esta enfocado en la administración de los recursos

naturales. La mejor aplicación incluye ubicación, soporte de clasificación de imágenes de sensores remotos por derivaciones de DTM, corrección geométrica y radiométrica de imágenes, el modelo potencial de erosión del suelo, estudios de aplicabilidad de cultivos, modelos de dispersión, de polución y flujo de viento. Como es evidente este grupo encierra un amplio rango de aplicaciones y debe incluir procedimientos de captura, edición y verificación de datos, modelos de estabilización, estructura de datos y rastreo, un sistema robusto de análisis y herramientas de visualización.

4.1.3.4 Topografía y Fotogrametría: Uno de los principales objetivos de la fotogrametría y topografía es la construcción confiable de DTMs, evaluación de la precisión con el propósito de obtener mapas de curvas de nivel de alta calidad. Esto puede ser hecho en un número diverso de aplicaciones: topografía o captura y edición de datos fotogramétricos, producción de ortofotos, valoración de calidad de los datos y realización de mapas topográficos.

4.1.3.5 Aplicaciones Militares: Los militares no solo son el principal consumidor de DTMs, ellos también son un significativo productor, además todos los aspectos del ambiente militar dependen de un confiable y preciso entendimiento del terreno, elevación y pendiente de la superficie de la tierra. El uso militar de DTMs combina aspectos y métodos de todas las aplicaciones referidas previamente y sus objetivos finales son muy especializados y exigentes. Un ejemplo de tal uso incluiría análisis de

íntervisibilidad en la administración de los campos de batalla, sistema de guía tridimensional de despliegue de misiles y simulación de vuelo, análisis de línea de observación de radares.

4.1.4 Formas de Presentación grafica de DTMs. La figura 4.1 muestra algunas formas de presentación grafica de modelos digitales de terreno.

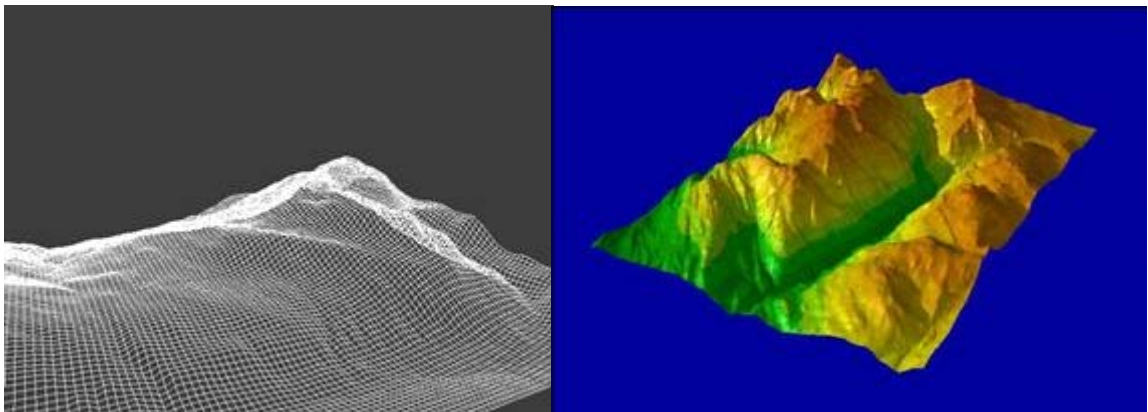


Figura. 4.1. Ejemplos de modelos digitales de terrenos

4.1.5 Elementos de Modelación Digital de Terrenos: La producción y uso de DTMs generalmente involucra 5 procedimientos o tareas. Estos son la generación, manipulación, interpretación, visualización y aplicación.

4.1.5.1 Generación de DTM: Muestreo de datos del terreno original y formación de las relaciones entre diversas observaciones (modelo de construcción). El dato básico para DTM está basado en las observaciones de

la elevación del terreno que son derivadas generalmente de una de las siguientes fuentes.

- a. Curvas de nivel digitalizadas.
- b. Captura de datos fotogramétricos (incluye fotografía aérea e imágenes digitales de satélite)
- c. Mediciones directas mediante topografía.

DTMs obtenidos a partir de curvas de nivel digitalizadas, son quizás la mas común de las fuentes. Esto es por que los datos digitales de curvas de nivel han sido desarrollados de mapas análogos por un largo tiempo. Cuando se compara con las otras fuentes, las curvas de nivel obtenidas de mapas análogos pueden ser digitalizadas manualmente, por seguimiento semi-automatizado o escaneo automático. Las curvas de nivel generadas por digitación son registradas, almacenadas, editadas y etiquetadas con el valor de la elevación.

La captura de datos fotogrametricos abarca dos métodos para generación por sensores remotos: fotografía aérea e imágenes satelitales. Estos métodos han sido usados para generar con precisión datos topográficos de alta resolución. Hay también un numero de nuevas fuentes tales como el radar y la altimetria láser, SAR (Synthetic Aperture Radar), los cuales están siendo desarrollados para la generación de datos topográficos.

Las mediciones directas de topografía es el método mas preciso disponible actualmente y su operación está designada a dibujar la mayor información del terreno. Esto es realizado mediante la incorporación de un número significativo de puntos en el terreno, tal nivel de precisión requiere sin embargo una gran cantidad de tiempo en el trabajo de campo y además, las mediciones de campo son solo factibles para proyectos específicos que involucran áreas pequeñas.

La arquitectura fundamental de un DTM se deriva del modelo de datos usado para representarlo. Los DTMs pueden ser representados mediante una imagen o matemáticamente. Una variedad de estructura de datos ha sido ensayada para almacenar y desplegar la superficie topográfica, sin embargo dos en particular han sido las mas populares y las mas empleadas: el rectangular grid y la TIN (Triangulated Irregular Network); estas dos estructuras son representaciones graficas. La rectangular grid es el modelo más comúnmente usado para construir DTMs, esto es por que la estructura de datos de un grid comparte muchas similitudes con la estructura de un archivo de un computador, las elevaciones pueden ser fácilmente almacenadas en un computador como un arreglo bidimensional (cada punto puede ser asignado a una fila y a una columna). Esto también moderniza el procesamiento de información y desarrollo de algoritmos. El modelo TIN suministra una red de triángulos conectados con nodos espaciados irregularmente u observación de puntos de coordenadas X , Y y valores de elevación Z. Su mejor ventaja sobre la rectangular grid es su habilidad de

generar mayor información en áreas de relieve complejo y evitar el problema de aglomeración de datos de área de relieve simple.

4.1.5.2 Manipulación de DTMs: En la modificación, refinamiento de DTMs y derivación de modelos intermedios. Los procedimientos de manipulación son esencialmente para modificar, calibrar o refinar DTMs existentes; ello incluye editar, filtrar, fusionar y unir DTMs y procedimientos para convertir DTMs de una estructura de datos a otra (por ejemplo de TIN a GRID). La edición es requerida para corregir errores y actualizar DTMs. El filtrado involucra el pulimento y mejora de las funciones. El pulimento reduce o remueve detalles en el DTM mientras que el realce destaca discontinuidades del terreno. Los filtros también pueden ser usados para reducir el volumen de datos de un DTM el cual a su vez puede ahorrar espacio de almacenamiento de disco o economizar tiempo de procesamiento. El filtrado puede también ser hecho para modificar la resolución de la imagen, los DTMs cuando son adyacentes pueden ser unidos, lo cual es posible solo cuando la orientación y resolución son compatibles.

4.1.5.3 Interpretación de DTM: Análisis y extracción de información a partir de DTMs. La importancia de los DTMs radica en el conocimiento e información referente al terreno y sus atributos. La interpretación sirve para suministrar información geomorfológica a través de un análisis cuantitativo del terreno digital. Tal análisis puede suministrar una entrada directa a los campos de aplicación, la interpretación puede ser dirigida a dos diferentes

niveles: Geomorfometría general y Geomorfometría específica. La Geomorfometría general apunta a generar pendientes y su inclinación y aspecto mientras que una Geomorfometría específica, describe analíticamente las características y atributos del terreno en relación a su superficie hidrológica. Esto es extremadamente útil en la definición de la tasa de drenaje, simulación hidrológica y estudio de modelos geomorfológicos.

4.1.5.4 Visualización de DTM: Interpretación gráfica de DTMs y deducción de información. La visualización de DTMs juega un importante rol en la percepción de entendimiento y apreciación. Esto es especialmente relevante en el contexto de comunicación de resultados de un modelo de DTM. La visualización se direcciona a dos objetivos:

- Visualización interactiva para explorar el modelo, calibrarlo y refinarlo.
- Visualización estática para comunicación básica de resultados.

Las representaciones mediante curvas de nivel es el método más conocido para el despliegue e interpretación de la topografía; ha ayudado a la visualización por un largo tiempo a pesar de su alto grado de abstracción. Hoy en día hay un gran progreso en hardware y software en relación con la visualización de un modelo tridimensional, interpretación fotorealística, animación, etc. Todo esto es benéfico para las operaciones de interpretación y análisis visual de representaciones gráficas.

4.1.5.5 Aplicación de DTM: El desarrollo de modelos apropiados de aplicación para disciplinas específicas. La aplicación de DTM forma el contexto para modelación digital de terrenos, cada aplicación particular tiene sus requerimientos funcionales específicos relativos a otras tareas de modelación de terreno.

Los DTM han sido desarrollados para dirigir su funcionalidad en una variedad de aplicaciones. Los avances tecnológicos en computación gráfica y visualización, teoría espacial, bases de datos y áreas relacionadas, están haciendo posible explorar y utilizar DTMs en una variedad de aplicaciones. Ampliamente esto incluye las áreas anteriormente discutidas de Ingeniería Civil y Militar, Ciencias de la tierra, planeación y administración de recursos, topografía y fotogrametría.

4.1.6 Modelos de datos en DTM: Durante el proceso de muestreo del terreno, un conjunto de datos relativamente desordenados son capturados con el propósito de construir un comprensivo y útil DTM. Es necesario establecer las relaciones topológicas entre los datos, tanto como un modelo de interpolación apropiado para aproximar el comportamiento de la superficie.

Una superficie continua, como la tierra, tiene un infinito número de puntos que pueden ser medidos. Obviamente es imposible registrar cada punto y

consecuentemente un método de muestreo debe ser utilizado para extraer puntos representativos. Estos puntos discretos pueden ser usados para construir un modelo que se aproxime a la superficie real del terreno. El tipo de modelo de superficie fija el método de muestreo. Un modelo de superficie debe:

- a. Representar la superficie con precisión.
- b. Ser adecuado para una eficiente obtención de datos.
- c. Minimizar los requerimientos de almacenamiento de datos.
- d. Maximizar el manejo eficiente de los datos.
- e. Ser adecuado para el análisis de superficie.

Tres métodos son comúnmente usados para representar la superficie de un terreno en forma digital: Curvas de Nivel, GRID y TIN (Triangulated Irregular Networks).

4.1.6.1 Curvas de nivel: Las curvas de nivel son probablemente la representación más familiar de la superficie de un terreno. Los mapas de curvas de nivel para la mayor parte del mundo están fácilmente disponibles a una variedad de escalas. La precisión de las curvas de nivel depende de si fueron generadas por datos primarios o datos deducidos. Cuando la topografía ha sido capturada directamente de fotografías aéreas, como un dato primario usando un estereoplotter, las curvas de nivel son altamente precisas; si la topografía ha sido generada a partir de puntos tomados

directamente en el terreno la localización de las curvas de nivel debe ser interpolada entre puntos conocidos. Uno de los mayores inconvenientes de las curvas de nivel es que ellas solo indican el valor de superficie a lo largo de isoclinas, las anomalías de la superficie entre curvas no pueden ser representadas. En una superficie que ha sido representada con curvas de nivel, puede usarse la interpolación para estimar elevaciones localizadas entre las curvas de nivel.

4.1.6.2 Grid: Es una estructura de representación gráfica utilizada para almacenar y desplegar la superficie topográfica. Los Grid son rejillas rectangulares espaciadas de manera regular, sus datos se almacenan en una matriz que registra las relaciones entre los puntos implícitamente. Siendo la estructura de los datos similar a la estructura de almacenamiento de los computadores, el manejo de la matriz de elevación es simple y los algoritmos de modelación de terreno basados en Grid, tienden a ser relativamente sencillos. Por otro lado la densidad de punto de Grid regular no pueden ser adaptadas a la complejidad del relieve, así que es requerido un excesivo número de puntos para representar el terreno con un alto nivel de precisión. Un lattice es la interpretación de la superficie de un grid representado por igual espacio de puntos referenciados a un origen común y a una distancia constante en la dirección X y Y, cada rejilla de puntos contiene un valor Z de esa localización y es referenciado a un valor base Z como por ejemplo el nivel del mar.

4.1.6.3 TIN (Triangulated Irregular Networks): Es una estructura de representación grafica utilizada para almacenar y desplegar la superficie topográfica. Puntos de muestra irregularmente distribuidos pueden representar el terreno, requiriendo mas puntos en áreas de terreno montañoso y menor numero en áreas de terrenos mas suaves, una muestra espaciada irregularmente es por lo tanto mas eficiente para representar una superficie, que una muestra de espaciamiento regular tal como un Grid. En un modelo TIN los puntos tomados son conectados por líneas para formar triángulos y dentro de cada triangulo la superficie es usualmente representada por un plano, usando triángulos se asegura que cada pieza que conforma la superficie ensamblará con las piezas vecinas, de esa manera la superficie será continua y cada superficie triangular estará definida por las 3 elevaciones de sus vértices.

Polígonos que son mas complejos, también pueden ser usados como piezas del mosaico, pero ellos también pueden ser divididos en triángulos. Para sistemas de información geográfico, los TIN pueden ser vistos como polígonos, con atributos de pendiente, aspecto y área, con 3 vértices con atributos de elevación y 3 ejes con pendiente y atributos de dirección. El modelo TIN es atractivo por su simplicidad y economía. Ciertos tipos de terrenos se dividen muy eficientemente con triángulos de superficie plana, otros terrenos sin embargo no son bien representados con triángulos planos (por ejemplo paisajes glaciales) los cuales trabajan mejor en áreas con

quebres de pendiente bien definidos, donde los ejes del TIN pueden ser alineados como líneas de quiebre, por ejemplo a lo largo de ríos o canales.

El modelo TIN es una importante alternativa para un rastreo regular de un DEM y ha sido adaptada por numerosos sistemas de información geográfica y paquetes de computadores. El modelo TIN fue desarrollado en los principios de los años 70 (Peucker 1978) como una manera simple de construir una superficie a partir de un conjunto de puntos irregularmente distribuidos; varios prototipos de sistemas emplean esta estructura de datos y sistemas comerciales, usando TIN, comenzaron a aparecer en los años 80, como programas para calculo de curvas de nivel algunas veces incorporados en sistemas de información geográfica

Un modelo TIN está conformado por nodos, ejes, triángulos y topología.

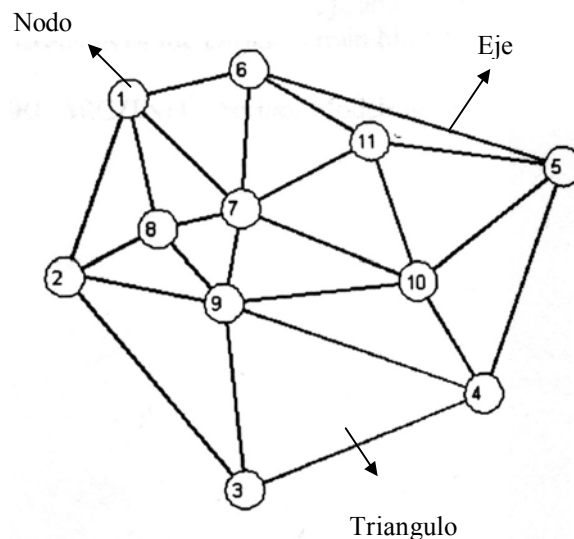


Figura. 4.2. Estructura de un TIN

- **Nodo:** Los nodos son el bloque fundamental de construcción del TIN. Los nodos son los puntos contenidos en los datos de origen con coordenadas norte, este y el valor de elevación Z. Cada nodo forma parte de la triangulación.
- **Ejes:** Son las líneas mediante las cuales, cada nodo es unido con sus adyacentes para formar triángulos, esto debe satisfacer los criterios de Triangulación de Delaunay⁸. Cada eje tiene dos nodos pero cada nodo puede tener dos o más ejes. Debido a que los ejes tienen un nodo con valor de elevación Z, en cada uno de sus extremos es posible calcular la pendiente a lo largo del eje desde un nodo hasta el otro.
- **Triángulos:** Cada región triangular describe el comportamiento de una porción de la superficie. Las coordenadas X, Y y Z de los 3 nodos del triángulo pueden ser usadas para deducir información a cerca de la superficie triangular tales como pendiente, aspecto, área y longitud. Considerando el conjunto de triángulos como un todo es posible deducir información adicional a cerca del terreno, tal como volumen, perfiles superficiales, análisis de visibilidad y vistas superficiales. Debido a que cada cara triangular resume cierto comportamiento de la superficie, es importante asegurarse que los

⁸ Estructura matemática adecuada para la representación de terrenos.

puntos tomados sean seleccionados adecuadamente para representar lo mejor posible la superficie. Un modelo de superficie TIN puede producir pobres resultados si en importantes regiones de la superficie no se toman los puntos necesarios.

- **Topología:** Topológicamente la estructura de un TIN está definida por la información de los nodos de los triángulos, números de ejes y tipo y la cercanía a otros triángulos. Para cada triángulo un modelo TIN registra el número de cada triángulo adyacente, los 3 nodos que definen el triángulo, las coordenadas X y Y de cada nodo y el valor de elevación Z para cada nodo.

4.2.MACROPROCESOS EN LOS MODELOS DIGITALES DE TERRENO A PARTIR DE DATOS TOPOGRÁFICOS.

4.2.1 Diagramas de Voronoi: El diagrama de Voronoi es una estructura geométrica, que permite fragmentar un plano que contiene un conjunto de n puntos P, en un número de n celdas, una celda para cada uno de los puntos p_i de P, de tal manera que cualquier punto q ubicado dentro de la celda correspondiente a p_i , esta mas cerca de p_i que de cualquier otro punto p_j del conjunto P, siendo $p_i \neq p_j$.

4.2.1.1 Definición y propiedades básicas de un diagrama de Voronoi: La distancia euclidiana entre dos puntos p y q , denotada como $\text{dist}(p, q)$, se define como:

$$\text{dist}(p, q) = \sqrt{(p_x - q_x)^2 + (p_y - q_y)^2}$$

donde p_x, p_y, q_x y q_y son las coordenadas del punto p y q respectivamente, en un plano de coordenadas XY .

Considérese a P como el conjunto $\{p_1, p_2, \dots, p_n\}$ de n puntos distintos en el plano. Se define el diagrama de Voronoi de P como la subdivisión del plano en n celdas, una por cada sitio en P . Un punto q pertenece a la celda correspondiente al sitio p_i sí y sólo sí $\text{dist}(q, p_i) < \text{dist}(q, p_j)$ para cada $p_j \in P$ con $j \neq i$. Se denota el diagrama de Voronoi de P como $\text{Vor}(P)$. La celda correspondiente a un sitio p_i se representa como $V(p_i)$, y es llamada celda de Voronoi de p_i (ver figura 4.3).

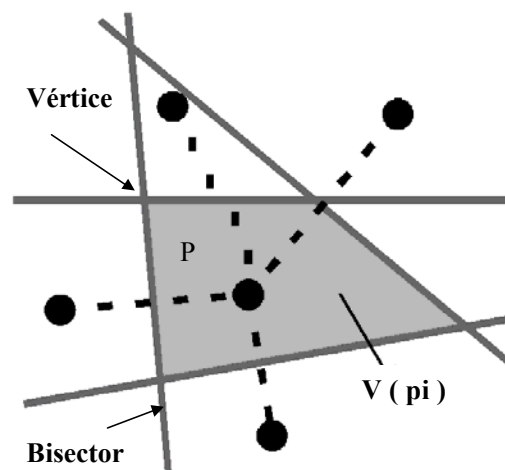


Figura. 4.3. Celda de Voronoi de un punto p

Para dos puntos p y q en el plano se define el *bisector de p y q* como el bisector perpendicular al segmento de línea formado por p y q . Este bisector divide al plano en dos; denotando a la mitad que contiene a p como $h(p, q)$, y a la otra mitad, como $h(q, p)$. Nótese que un punto $r \in h(p, q)$ sí y sólo sí $\text{dist}(r, p) < \text{dist}(r, q)$. De esto, se obtiene que la celda $V(p_i)$ es la intersección de $n - 1$ "mitades", donde n es el número de puntos. Esto es, se genera una región poligonal abierta convexa, posiblemente no limitada, formada por máximo $n - 1$ vértices y máximo $n - 1$ aristas. Es decir, se puede definir a $V(p_i)$ de la siguiente forma:

$$v(p_i) = \bigcap_{i \leq j \leq n, j \neq i} h(p_i, p_j)$$

Se puede apreciar que cada celda está formada como la intersección de un número determinado de semiplanos. Entonces, el diagrama de Voronoi es una subdivisión del plano en donde las aristas son segmentos de línea recta.

4.2.1.2 Teoremas del Diagrama de Voronoi.: Algunas aristas son segmentos de recta, mientras que otras son semirectas. A menos que todos los puntos de P , sean colineales, no habrá aristas que sean líneas completas.

Teorema 1.

Sea P el conjunto de n puntos de sitio en el plano. Si todos los puntos son colineales entonces $\text{Vor}(P)$ consiste de $n - 1$ líneas paralelas y de n celdas tal como se aprecia en la Figura. 4.4. De otra manera, $\text{Vor}(P)$ está conectado y sus aristas son segmentos de recta o semirrectas. Figura 4.5.

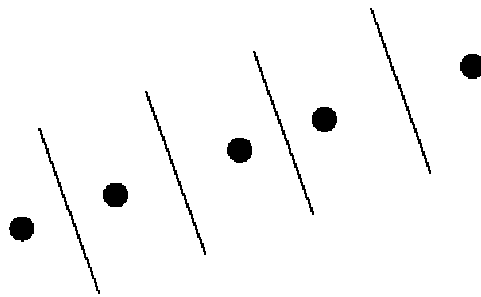


Figura. 4.4. Diagrama de Voronoi con puntos colineales

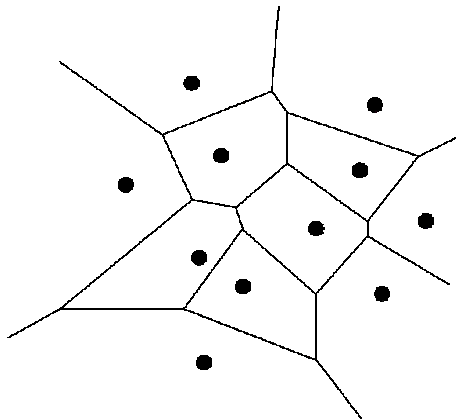


Figura. 4.5 Líneas u aristas de un Diagrama de Voronoi

La demostración de este teorema se realiza por contradicción. Supóngase que se tienen dos puntos p y q que son colineales, denotando su bisector

como e . Pero, se agrega un tercer punto r no colineal a los otros dos. El bisector entre p y r ya no será paralelo a e , por lo que en algún punto e y el bisector de p y r se cortarán. Entonces, tanto e como el bisector de p y r dejarán de ser rectas para pasar a ser semirectas, es decir, una parte de e estará en la mitad de $r - h(r, p)$ y otra, en la mitad de $p - h(p, r)$. Para demostrar que $\text{Vor}(P)$ está conectado supóngase que si no fuese así entonces existiría una región que partiría al plano en dos. Es decir, esta región estaría definida por dos líneas paralelas. Al ser líneas paralelas se deduce que son completas, pero su existencia contradice lo demostrado anteriormente (cuando se habla de puntos no colineales) (ver figura 4.6).

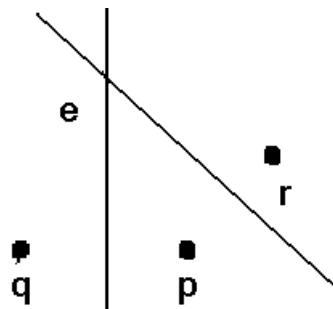


Figura. 4.6. Intersección de bisectores

Teorema 2.

Ya se ha expuesto la estructura de un diagrama de Voronoi. En cuanto a su complejidad, es decir, el número de vértices y aristas, se expresa mediante el siguiente teorema:

El número de vértices del diagrama de Voronoi de un conjunto de n puntos de sitio en el plano es a lo máximo $2n - 5$. El número de aristas del mismo diagrama es a lo máximo $3n - 6$.

Para probar el anterior teorema se necesita utilizar la *fórmula de Euler*. Dicha fórmula indica que para un grafo conectado que tiene m_v nodos, m_e aristas y m_f caras la siguiente igualdad se cumple :

$$m_v - m_e + m_f = 2$$

No se puede aplicar esta fórmula directamente a un diagrama de Voronoi, porque $\text{Vor}(P)$ contiene aristas semi-infinitas como en la figura 4.5 y no sería propiamente un grafo. Para evitar esto se introduce un vértice *artificial* llamado V_∞ "al infinito". Al vértice V_∞ se conectan todas las aristas semi-infinitas figura 4.7, con lo cual se puede tener un grafo plano conectado al cual se puede aplicar la fórmula de Euler, tomando como n_v al número de vértices más uno porque se aumento el vértice infinito (V_∞), que anteriormente en la formula era los m_v nodos, n_e , al de aristas (m_e aristas), y n , al de sitios de $\text{Vor}(P)$. Esta fórmula se adaptaría para dar la siguiente ecuación:

$$(n_v + 1) - n_e + n = 2 \dots\dots\dots(1)$$

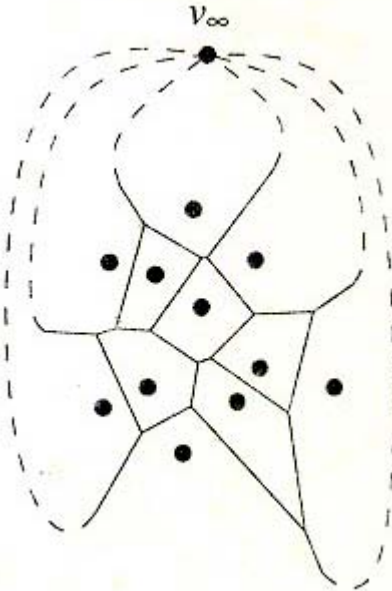


Fig. 4.7. Grafo conectado

Además, si cada arista del grafo basado en V_{∞} (P) tiene exactamente dos vértices, y si se entiende que el grado de un vértice está definido por el número de aristas que llegan a él, entonces al sumar los grados de todos los vértices se tiene el doble del número de aristas. Dado que cada vértice, incluyendo V_{∞} , tiene al menos grado tres, se obtiene lo siguiente:

$$2n_e \geq 3(n_v + 1) \quad (2)$$

Si se despeja el valor de n_e de la ecuación (1) y se sustituye en (2), se obtiene el siguiente proceso:

$$\begin{aligned}n_e &= (n_v + 1) - 2 + n \\2(n_e) &\geq 3(n_v + 1) \\2((n_v + 1) - 2 + n) &\geq 3(n_v + 1) \\2n_v + 2 - 4 + 2n &\geq 3n_v + 3\end{aligned}$$

$$n_v \leq 2n - 5 \quad (3)$$

El resultado obtenido, indicado por la expresión (3) confirma la primera parte del teorema. Para comprobar el resto sólo es necesario sustituir el valor de n_v en la expresión (2) y se obtiene la desigualdad (4), según los siguientes pasos:

$$\begin{aligned}n_v &= 2n - 5 \\2n_e &\geq 3(n_v + 1) \\2n_e &\geq 3((2n - 5) + 1) \\2n_e &\geq 6n - 15 + 3 \\2n_e &\geq 6n - 12\end{aligned}$$

$$n_e \geq 3n - 6 \quad (4)$$

Con esto se termina la demostración del teorema antes citado.

Se ha expuesto que las aristas son partes de bisectores dados por pares de puntos de P , y que los vértices son puntos de intersección entre estos bisectores. Entonces, no todos los bisectores definen aristas de $\text{Vor}(P)$ y no todas las intersecciones son vértices de $\text{Vor}(P)$. Para distinguir cuáles bisectores e intersecciones definen a $\text{Vor}(P)$ se necesita antes tomar un punto q del conjunto de puntos que forman los bisectores. Para este punto se define el *círculo vacío más grande de q con respecto a P* , denotado por $C_P(q)$, como el círculo más grande que tiene a q como su centro y que no contiene ningún punto de P en su interior. (ver figura 4.8).

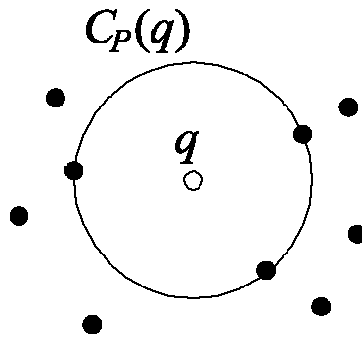


Figura. 4.8 Círculo que determina cuales son vértices o aristas

Teorema 3.

El siguiente teorema expresa esta propiedad de los vértices y las aristas del diagrama de Voronoi :

Para el diagrama de Voronoi $\text{Vor}(P)$ de un conjunto P de puntos se tiene lo siguiente:

- i. Un punto q , perteneciente al conjunto de puntos que forman los bisectores, es un vértice de $\text{Vor}(P)$ si y sólo si su círculo vacío más grande $C_P(q)$ contiene tres o más sitios en su borde (figura 4.7).
- ii. El bisector entre los sitios p_i y p_j define una arista de $\text{Vor}(P)$ si y sólo si hay un punto q contenido en el bisector, tal que $C_P(q)$ contiene en su borde a p_i y a p_j pero ningún otro punto más. figura 4.9

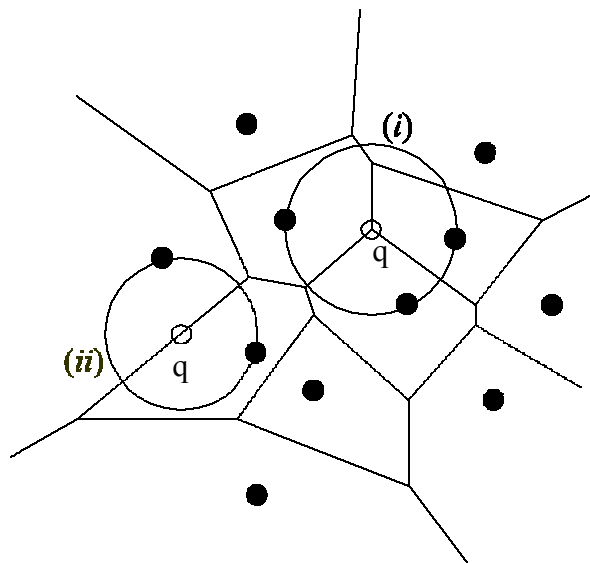


Figura. 4.9. Diagrama de Voronoi para el Teorema 3

Para demostrar la primera parte de teorema supóngase que existe un punto q tal que $C_P(q)$ contiene tres o más puntos de P en su borde. Para la demostración consideramos los puntos p_i , p_j y p_k . Como el interior de $C_P(q)$ está vacío (no contiene punto o sitio alguno), q debe estar en el borde de cada celda $—V(p_i), V(p_j)$ y $V(p_k)—$, y q debe ser un vértice del diagrama de Voronoi. El vértice q debe ser equidistante a p_i , p_j , y p_k , y no puede haber otro

sitio más cerca a q . Si existiera algún punto de P más cerca entonces las celdas $V(p_i)$, $V(p_j)$, y $V(p_k)$ no concurrirían en q . Entonces, el interior del círculo que tiene a p_i , p_j y p_k en su borde no contiene ningún otro punto de P .

En cuanto al segundo apartado del teorema, supóngase que existe un punto q con la propiedad ahí mencionada. Dado que $C_P(q)$ no contiene sitios en su interior y tanto p_i como p_j están en su borde, se tiene que $\text{dist}(q, p_i) = \text{dist}(q, p_j)$. Pero, si denotamos a los demás puntos de P del diagrama de Voronoi como p_k ($1 \leq k \leq n$), entonces también se cumple que estas distancia a p_i y a p_j es menor o igual a $\text{dist}(q, p_k)$, pues p_k debe quedar fuera del interior de $C_P(q)$. La primera parte del teorema implica que q no puede ser un vértice de $\text{Vor}(P)$. Entonces, q forma parte de una arista de $\text{Vor}(P)$, la cual está definida por el bisector de p_i y de p_j . Dicho de otra manera, si el bisector de p_i y p_j define a una arista de Voronoi, el círculo vacío más grande de cualquier punto q que define esta arista debe contener a p_i y a p_j en su borde y a ningún otro sitio.

4.2.2 Triangulación de Delaunay

Representar un terreno en un modelo digital implicaría representar cada uno de los puntos que constituyen la superficie del mismo, dado que se trata de una superficie continua esto implicaría la utilización de infinitos puntos en dicha representación, lo cual no es una tarea posible de realizar y para cualquier sistema de procesamiento, requeriría una capacidad infinita de

memoria para el almacenamiento de los datos, sin embargo no es necesario tal nivel de detalle para el propósito de representar la superficie de un terreno, basta con un muestreo de puntos especialmente seleccionados que pueden dar una aproximación adecuada de las características de la superficie.

Un terreno es una superficie bidimensional en un espacio tridimensional con la especial propiedad, de que cada línea vertical lo intercepta en un punto. Dado que la tierra es redonda, a una escala global definir terrenos de esta manera no es un buen modelo. Pero a una escala mas local suministra un muy buena representación. Un terreno puede ser visualizado en perspectiva como se puede ver en la figura 4.10

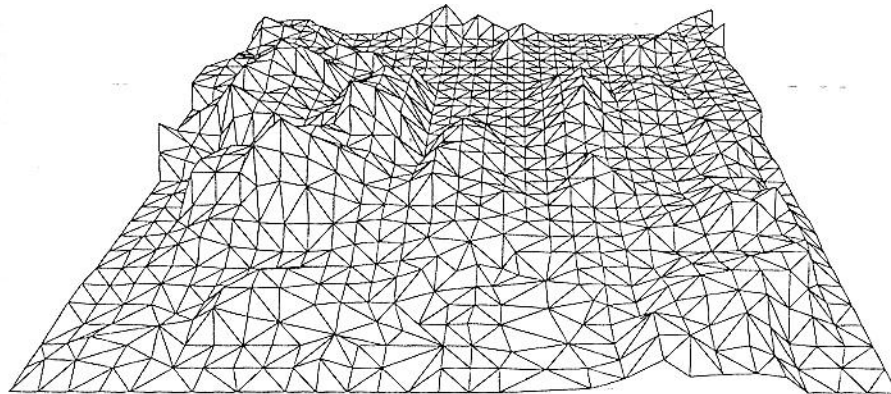


Figura 4.10 Una vista en perspectiva de un terreno

No se conocen las alturas de todos los puntos sobre el terreno, solo se conocen las alturas que fueron medidas. Esto significa que cuando se habla

acerca de la representación de un terreno, solo se conoce el valor de las coordenadas y altura de un conjunto P de puntos que fueron medidos. Considerando la aproximación que nos da este tipo de representación es posible mediante un proceso de interpolación calcular las alturas de otros puntos del terreno con base a la altura de los puntos medidos. Primero se determina una triangulación de P , con base en la proyección de los puntos sobre un plano se consigue una subdivisión plana en la cual las caras definidas son triángulos y cuyos vértices son los puntos de P (es necesario que los puntos medidos estén ubicados de tal forma que se pueda cubrir toda la superficie del terreno), luego se eleva cada punto a su altura correcta teniendo así cada triángulo de la triangulación en un espacio tridimensional. la figura 4.11 ilustra este procedimiento.

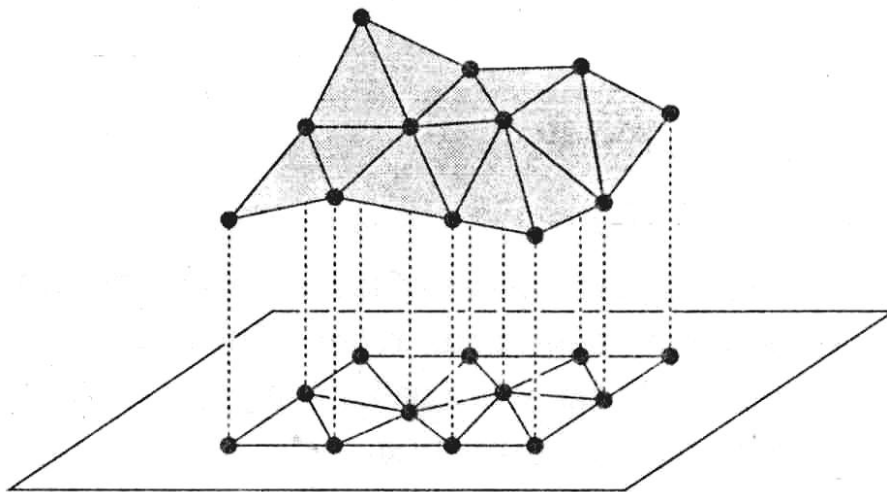


Figura. 4.11 Terreno poliédrico formado a partir de un conjunto.

Lo que se obtiene con este procedimiento es un terreno poliédrico, el gráfico de una función continua, el cual puede usarse para representar una aproximación del terreno original⁹.

Sabiendo que existen diferentes formas de realizar una triangulación de un conjunto de puntos conocidos, es de esperarse que no todas representen el terreno de la mejor manera, aunque debe tenerse en cuenta que no se conoce la forma del terreno original, es muy importante que la representación obtenida a partir de los puntos de muestra, sea lo mas aproximada posible.

Si el terreno es plano, cualquier triangulación del conjunto de puntos de muestra se verán igualmente bien, pero desafortunadamente no siempre tenemos este caso y se deba buscar una triangulación que represente el terreno de la manera mas natural posible.. En la Figura 4.12 se muestran dos triangulaciones de un mismo grupo de puntos. Con base en la altura de los puntos se tiene la impresión de que la forma del terreno es la cima de una montaña en donde la triangulación (a) refleja esta idea, la triangulación (b) en donde un eje ha sido girado, ha introducido un estrecho valle cortando la cima de la montaña. Intuitivamente esto esta mal.

⁹ DE BERG, Mark y Otros. Computational Geometry,2000.367p.

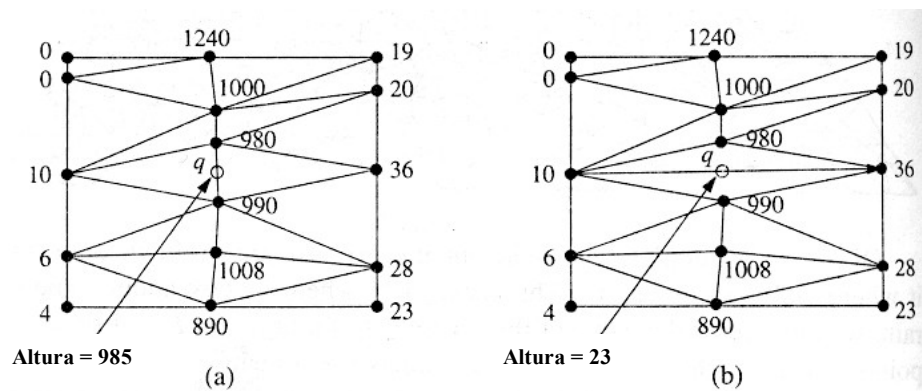


Figura 4.12 Cambiar un eje puede hacer una gran diferencia.

El problema de la triangulación (b) es que la altura del punto q es determinada por dos puntos que están relativamente lejos. Esto sucede porque q esta ubicado en medio de un eje que forma dos largos y delgados triángulos. La delgadez de esos triángulos causa un problema. Parece ser que una triangulación que contiene pequeños ángulos es mala. En consecuencia se comparan y catalogan las triangulaciones mediante la comparación de ángulos mas pequeños. Si los mínimos ángulos de dos triangulaciones son idénticos, entonces se revisa el segundo ángulo mas pequeño y así sucesivamente. Como existe un numero finito de diferentes ángulos de un conjunto de puntos dado P, esto implica que debe existir una optima triangulación en la que se maximicen los mínimos ángulos. Esta será la triangulación que represente mejor el terreno.

4.2.2.1 Triangulación de un Conjunto de Puntos en un Plano: Sea $P = \{p_1, p_2, p_3, \dots, p_n\}$ un conjunto de puntos contenidos en un plano. Para formar una triangulación de P, se definirá primero la máxima división planar como

una subdivisión S , tal que ningún eje que conecte dos puntos intercepte uno de los ejes existentes. Entonces una triangulación de P se define como la máxima división planar cuyo conjunto de vértices es P .

Cada cara excepto las de la frontera es un triángulo, cualquier eje que conecte dos puntos ubicados sobre la frontera será un eje de cualquier triangulación T y la línea que une todos los puntos sobre la frontera es un polígono convexo, esto puede verse en la Figura 4.13 (Por lo anterior se deduce que si el dominio es un área rectangular, tenemos que asegurarnos de que las esquinas estén contenidas en el conjunto de puntos para que la triangulación cubra todo el dominio del terreno). El numero de triángulos es el mismo para cualquier triangulación de P . Esto también es cierto para el numero de ejes. El número exacto depende del número de puntos de P y de los que están en la frontera.

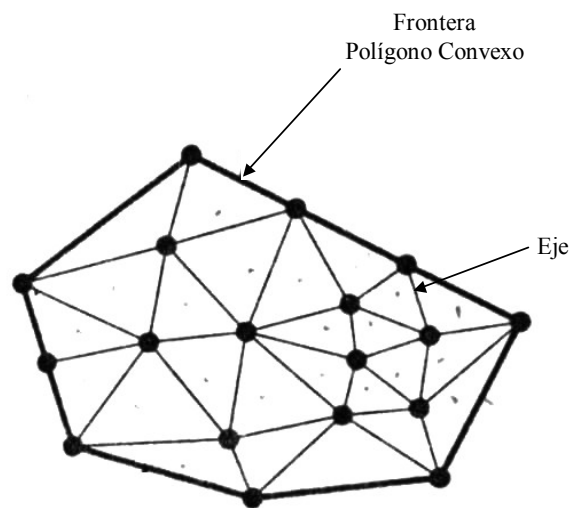


Fig. 4.13 Triangulación Planar de un conjunto de Puntos

Dado que la triangulación es una estructura matemática que ha sido estudiada desde hace mas de un siglo, se cuenta con los siguientes teoremas los cuales son útiles en el proceso de realizar la representación de un terreno.

Teorema 1: Sea P un conjunto de n puntos no colineales contenidos en un plano y si k denota el numero de puntos en P que están ubicados sobre la frontera de P . Entonces cualquier triangulación de P tiene $2n - 2 - k$ triángulos y $3n - 3 - k$ ejes.

Prueba: Sea T una triangulación de P y m denota el numero de triángulos de T , note que el numero de caras de la triangulación que será denotada como n_f , es $m+1$. Cada triangulo tiene 3 ejes y la frontera tiene k ejes, además cada eje incide exactamente en dos caras por lo tanto el numero total de ejes de T es $n_e = (3m + k)/2$. La formula de Euler nos dice que $n - n_e + n_f = 2$.

Remplazando los valores de n_e y n_f en la formula se obtiene $m = 2n - 2 - k$, lo cual implica $n_e = 3n - 3 - k$.

Si T es una triangulación de P , con m triángulos y se consideran los $3m$ ángulos de los triángulos de T , clasificados ascendentemente por su magnitud y si $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \dots, \alpha_{3m}$ el resultado de la secuencia de ángulos, por lo tanto $\alpha_i \leq \alpha_j$ para $i < j$. Si se llama a $A(T) = (\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \dots, \alpha_{3m})$ el vector

de ángulos de T y si T' es otra triangulación del mismo conjunto de puntos T y $A(T') = (\alpha'_1, \alpha'_2, \alpha'_3, \dots, \alpha'_{3m})$ su vector de ángulos, se dice que el vector de ángulos de T es mayor que el vector de ángulos de T' , si $A(T)$ es en su composición, mayor que $A(T')$ o en otras palabras si existe un índice i con $1 \leq i \leq 3m$ tal que $\alpha_j = \alpha'_j$ para todo $j < i$ y $\alpha_i > \alpha'_i$

Se denotará esto como $A(T) > A(T')$. Una triangulación T es llamada de ángulo óptimo, si $A(T) \geq A(T')$ para toda triangulación T' de P . Las triangulaciones de ángulo óptimo son importantes por que son buenas triangulaciones cuando se quiere construir un terreno poliédrico, desde un conjunto de puntos muestreados.

Para estudiar cuando una triangulación es óptima es importante conocer el siguiente teorema frecuentemente llamado teorema de Thales, el cual denota el ángulo mas pequeño definido por 3 puntos p, q, r en un $\angle pqr$.

Teorema 2: Sea C un círculo (ver Figura 4.14), ℓ una línea que intercepta a C en los puntos a y b y p, q, r y s puntos ubicados en el mismo lado de ℓ . Suponga que p y q están sobre C , que r está dentro de C y que s está por fuera de C entonces:

$$\angle arb > \angle apb = \angle aqb > \angle asb$$

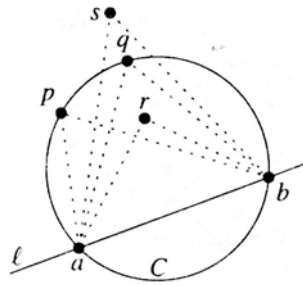


Figura 4.14 Correspondiente al teorema 2

Ahora se considera un eje $e = \overline{p_i p_j}$ de la triangulación T de P . Si e no es un eje de la frontera es incidente a dos triángulos $p_i p_j p_k$ y $p_i p_j p_l$. Si estos dos triángulos, forman un cuadrilátero convexo, se obtiene una nueva triangulación T' removiendo $\overline{p_i p_j}$ de T e insertando $\overline{p_k p_l}$ en vez de este. La única diferencia en el vector de ángulos de T y de T' está en que sus 6 ángulos $\alpha_1, \dots, \alpha_6$ en $A(T)$ han sido reemplazados por $\alpha'_1, \dots, \alpha'_6$ en $A(T')$ la figura 4.15 ilustra esto:

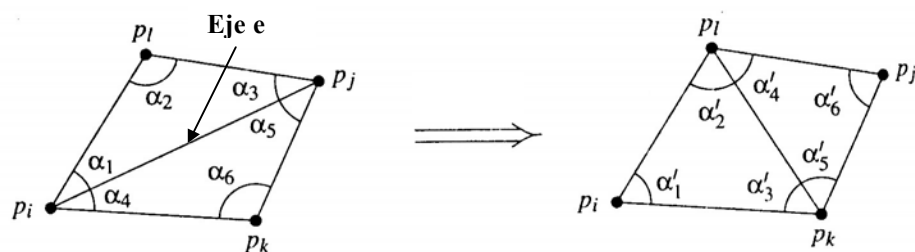


Figura 4.15. Rotación de un eje.

Se llamará el eje $e = \overline{p_i p_j}$ como un eje ilegal si:

$$\min \alpha_i < \min \alpha'_i \quad 1 \leq i \leq 6$$

En otras palabras un eje es ilegal si se puede incrementar localmente su ángulo mas pequeño girando el eje. La siguiente observación se puede deducir de la definición de eje ilegal.

Observación 1. Sea T una triangulación con un eje ilegal e y sea T' la triangulación obtenida de T mediante el giro del eje e . Entonces $A(T') > A(T)$.

No es necesario calcular los ángulos $\alpha_1, \dots, \alpha_6, \alpha'_1, \dots, \alpha'_6$, para chequear si un eje dado es ilegal, en vez de esto se puede usar el criterio simple dado en el siguiente lemma.

Lemma 1. Sea $\overline{p_i p_j}$ un eje común de los triángulos $p_i p_j p_k$ y $p_i p_j p_l$ y sea C la circunferencia que pasa a través de p_i, p_j y p_k . El eje $\overline{p_i p_j}$ es ilegal si y solo si el punto p_l esta ubicado en el interior de C . Además, si los puntos p_i, p_j, p_k y p_l forman un cuadrilátero convexo y no están sobre un circulo común, entonces uno de los ejes $\overline{p_i p_j}$ o $\overline{p_k p_l}$ es un eje ilegal (ver Figura 4.16).

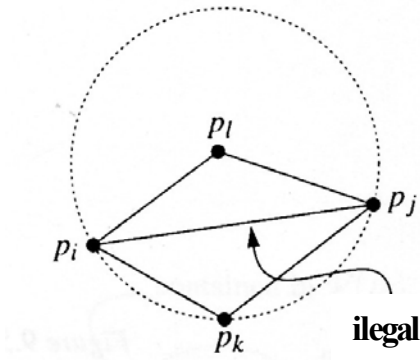


Fig 4.16 Correspondiente al Lemma 1

Observe que el criterio es simétrico con p_k y p_l : p_l está dentro de el círculo que pasa por los puntos p_i , p_j y p_k . Si y solo si p_k esta dentro del círculo que pasa por los puntos p_i , p_j y p_l . Cuando todos los cuatro puntos están sobre el mismo círculo, tanto $\overline{p_i p_j}$ o $\overline{p_k p_l}$ son legales. Nótese que dos triángulos adyacentes en un eje ilegal deben formar siempre un cuadrilátero convexo, entonces es siempre posible girar un eje ilegal.

Se define entonces una triangulación legal como una triangulación que no contiene ningún eje ilegal. Según la anterior observación hecha cualquier triangulación optima (de ángulos óptimos) es legal. Calcular una triangulación legal es algo simple una vez se haya dado una triangulación inicial. Se pueden girar los ejes ilegales hasta que sean legales.

4.2.2.2 Propiedades de la Triangulación de Delaunay: La triangulación de Delaunay genera una solución única para un conjunto de puntos dados, salvo en el caso especial en el que cuatro puntos pertenecen a una

circunferencia en donde pueden existir triangulaciones alternativas validas. En cualquier caso las, propiedades del método garantizan que la forma de los triangulo de una buena representación del terreno. Las propiedades de esta triangulación son las siguientes:

- Cualquier punto perteneciente a la muestra de puntos medidos del terreno es siempre un vértice de un triangulo.
- Dos triángulos del conjunto de puntos pueden estar conectados por un vértice o un lado común, en ningún caso podrá existir superposición.
- Dado un triangulo $p_i p_j p_k$ no existe otro punto de la triangulación interno al circulo que pasa por los puntos p_i , p_j y p_k .
- Dados 4 puntos y el cuadrilátero definido por ellos, la diagonal que los divide en dos triángulos es aquella que hace máximo el menor de los ángulos internos, es decir, la triangulación de Delaunay tiende a crear triángulos lo mas equiláteros posible.

4.2.2.3 Construcción de la Triangulación de Delaunay: Sea P un conjunto de n puntos dados en un plano. Y según el diagrama de Voronoi, P es una subdivisión del plano en n regiones, una para cada punto de P , tal que la región de un punto $p \in P$ contiene todos los puntos del plano para el cual p es el punto mas cercano. El diagrama de Voronoi de p se denota por $Vor(p)$.

La región de un punto p es llamada celda de Voronoi de p y se denota $V(p)$. El gráfico de Voronoi G tiene un nodo por cada celda(equivalentemente para cada punto) y tiene un arco entre dos nodos si las correspondientes celdas comparten un eje, esto significa que G tiene un arco por cada eje de $Vor(P)$. Como se puede ver en la Figura 4.17. existe una correspondencia uno a uno entre las caras fronterizas de G y los vértices de $Vor(P)$.

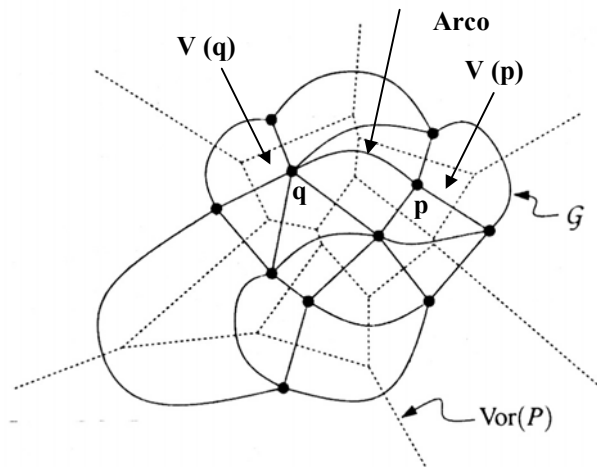


Figura 4.17. Gráfico Vor (P)

Si se considera que el arco que conectan los nodos correspondientes a las celdas de Voronoi $v(p)$ y $v(q)$ es un segmento \overline{pq} . Se llamará a esta incorporación el Gráfico de Delaunay de P y el cual se denota por $DG(P)$. Esto se puede ver en la Figura 4.18 El gráfico de Delaunay de un conjunto de puntos tiene como principal propiedad que es un gráfico contenido en un plano y en el que ningún par de ejes puede cortarse.

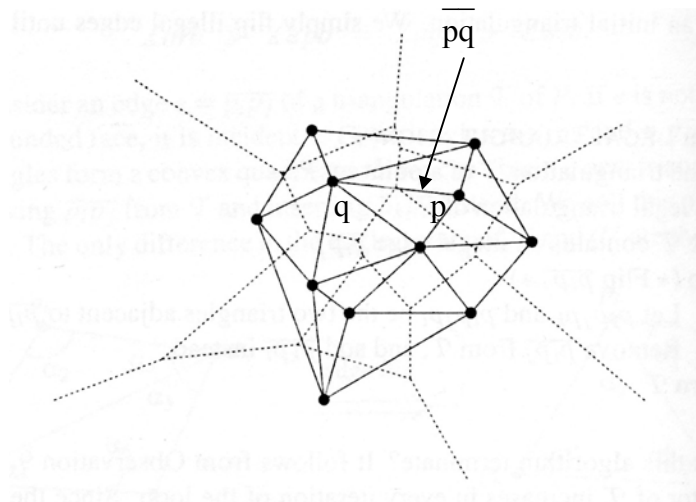


Figura 4.18 Gráfico de Delaunay $DG(P)$

El Gráfico de Delaunay de P es una incrustación del gráfico del diagrama de Voronoi. Como observamos anteriormente, este tiene una cara por cada vértice de $Vor(P)$. Si los puntos de P están organizados aleatoriamente, la posibilidad de que cuatro puntos estén contenidos en un círculo es bastante pequeña.

Se define que un conjunto de puntos está en posición general, si ningún grupo de cuatro puntos está contenido en un círculo. Si P está en posición general entonces todos los vértices de el diagrama de Voronoi tienen tres grados y consecuentemente todas las caras de $DG(P)$ son triángulos. Esto explica porque $DG(P)$ es con frecuencia llamado triangulación de Delaunay de P . Se define entonces la triangulación de Delaunay como cualquier triangulación obtenida mediante la adición de ejes al gráfico de Delaunay.

4.3 APLICACIONES DE LOS MODELOS DIGITALES DE TERRENO

Los modelos digitales de un terreno tienen grandes aplicaciones dentro de la ingeniería entre las cuales se pueden mencionar:

- Aplicación en el diseño geométrico de carreteras
- Estimación de curvas de nivel y realización de mapas topográficos
- Cálculo de pendientes de alineamientos colocados sobre la superficie
- Cálculo de volúmenes de movimiento de tierras
- Cálculo de volúmenes de inundación en embalses
- Determinación de la visibilidad entre varios puntos
- Determinación del impacto visual de nuevas construcciones sobre la superficie
- Análisis e interpretación de la morfología del terreno, drenaje, modelos hidrológicos, mapas geológicos y mapas de relieve del terreno
- Diversas aplicaciones militares.

i

ⁱ Este Capítulo fue tomado y adaptado de:

DE BERG, Mark y Otros. Computational Geometry. . 2^a ed. New York: Springer,2000.367p.

EL-SHEIMY, Nacer, Digital Terrain Modelling. Calgary; University of Calgary.1999.

5. DESARROLLO DE LA INVESTIGACION

5.1. INFORMACIÓN DE CAMPO

Con el fin de aplicar los procesos de triangulación y deducción de curvas de nivel de un terreno, lo cual se traduce en su modelo digital, se debe tener cierta información de la zona objeto del problema; dicha información se puede obtener por diferentes metodologías.

Antes de aplicar un método específico, se debe definir el terreno al cual se le va a deducir su información topográfica, con el fin seleccionar cual metodología es la mas adecuada para su levantamiento y el equipo necesario para realizarla.

Los métodos analizados en el presente trabajo son los siguientes:

- Poligonal con Nivelación y Toma de Topografía
- Radiación con base medida y Nivelación Radial

- Levantamiento topográfico con Estación Total
- Levantamiento topográfico con GPS.

5.1.1. Poligonal con Detalles, Nivelada y con Toma de Topografía

5.1.1.1. Equipo Utilizado: El equipo utilizado en esta investigación para efectuar el levantamiento topográfico de las poligonales fue el siguiente:

- Tránsito con Brújula
- Nivel de Precisión
- Nivel Locke ó Abney
- Plomadas
- Cinta
- Maceta
- Machete
- Jalones
- Estacas
- Mira con nivel de burbuja
- Escuadra del agrimensor

5.1.1.2. Procedimiento de Campo: Se materializa sobre el terreno una poligonal abierta o cerrada, con alineamientos lo mas largos posibles, colocando en cada delta una estaca con puntilla.

Se materializa el Delta(Δ) #1 con estaca y puntilla, centrando allí el tránsito y colocando en ceros con la norte magnética, luego se materializa el Delta(Δ) #2 y se mide la longitud y el azimut del alineamiento $\Delta\#1-\Delta\#2$, abscisando cada 5, 10 ó 20 m.

Luego se ubica el tránsito en $\Delta\#2$ y se materializa el $\Delta\#3$ y se mide el ángulo entre los alineamientos $\Delta\#1-\Delta\#2$ y $\Delta\#2-\Delta\#3$ y la longitud $\Delta\#2-\Delta\#3$ abscisando dicho alineamiento. De esta misma manera se materializan todos los deltas de la poligonal. Cada uno de los deltas se debe referenciar¹ con el fin de poder replantar la poligonal si fuere necesario.

5.1.1.3 Medición de Ángulos: El ángulo entre dos alineamientos se puede medir de las siguientes maneras:

- **Angulo de Deflexión:** Angulo comprendido entre la prolongación del alineamiento anterior y el alineamiento siguiente. Para medirlo se ubica el tránsito en $\Delta\#2$ en ceros, con el anteojo invertido se mira hacia $\Delta\#1$, se transita (se voltea el anteojo), se sueltan los ángulos y se mira a $\Delta\#3$. La deflexión puede ser derecha ó izquierda (ver Figura 5.1).

¹ Colocar estacas (normalmente son 4 en parejas de 2), cuya finalidad es poder ubicar un delta(s) perdido(s) de una manera precisa

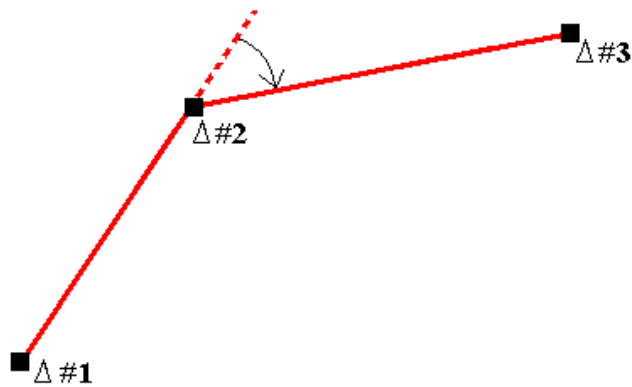


Figura. 5.1. Ángulo de Deflexión

- **Ángulo Positivo ó Negativo:** Ángulo medido entre los alineamientos. Si el ángulo es medido en el sentido de las manecillas del reloj es positivo, sino, es negativo. Para medirlo se ubica el tránsito en $\Delta\#2$ en ceros, y se da vista a $\Delta\#1$, se sueltan los ángulos y se mira a $\Delta\#3$; el ángulo será positivo ó negativo según como se gire el anteojo del tránsito (ver Figura 5.2).

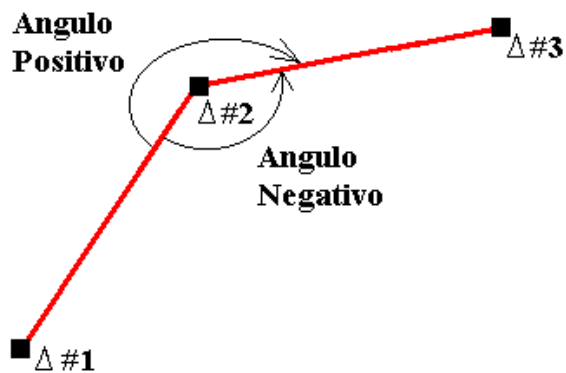


Figura. 5.2. Ángulo Positivo y Ángulo Negativo

- **Azimutes Directos:** El azimut de un alineamiento es el ángulo positivo formado entre la Norte y el alineamiento. Para medirlo se ubica el tránsito en $\Delta\#2$ con el azimut $\Delta\#1-\Delta\#2$ colocado en el equipo, con el anteojo invertido se mira hacia $\Delta\#1$, se transita (giran el anteojo verticalmente), se sueltan los ángulos y se mira a $\Delta\#3$ y el ángulo horizontal que se lea en el tránsito es el azimut $\Delta\#2-\Delta\#3$ (ver Figura 5.3).

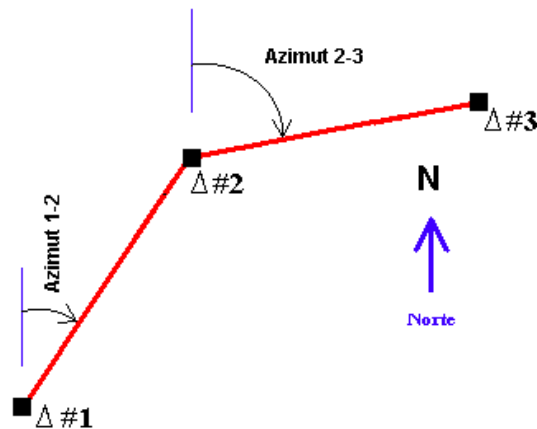


Figura. 5.3. Azimut Directo

5.1.1.4 Medición de distancias: La distancia entre dos alineamientos se puede medir de las siguientes maneras:

- **Con Cinta Métrica:** Con una cinta métrica o decámetro se mide directamente la distancia entre los dos deltas que conforman un alineamiento.
- **Por Taquimetría:** Procedimiento indirecto para la medición de distancias y desniveles utilizando tránsito y mira. Se realizan tres(3) lecturas en la

mira (el hilo superior, el hilo medio y el hilo inferior), y se lee el ángulo de inclinación del anteojo, con las cuales se pueden calcular la distancia entre dos puntos y el desnivel mediante las siguientes ecuaciones:

$$DH = k * (ls - li) \cos^2 \alpha$$

$$DV = k / 2 * (ls - li) \sin(2\alpha)$$

$$Desnivel = He + DV - lm$$

$$Cota_B = Cota_A + Desnivel$$

Donde:

DH: Distancia horizontal

DV: Distancia vertical

k: Constante taquimétrica del equipo (k=100)

ls: Lectura de mira con el hilo superior

li: Lectura de mira con el hilo inferior

lm: Lectura de mira con el hilo medio

α : Ángulo de inclinación de la visual respecto a la horizontal

He: Altura del equipo

Cota A: Cota del punto donde se ubica el tránsito.

Cota B: Cota del punto donde se ubica la mira.

- **Con Distanciómetro:** El distanciómetro es un equipo electrónico que permite medir la distancia inclinada entre un punto y otro y adicionalmente se puede calcular el desnivel entre los puntos. Se utiliza como equipo

auxiliar un prisma, el cual sirve como reflector de una señal de ondas electromagnéticas que es enviada por el distanciómetro, para así calcular las distancias electrónicamente. Para el cálculo de la distancia horizontal y el desnivel entre dos puntos se utiliza la siguiente formulación:

$$DH = DI * \text{Cos}\alpha$$

$$DV = DI * \text{Sen}\alpha$$

$$\text{Desnivel} = H_e + DV - H_b$$

$$Cota_B = Cota_A + \text{Desnivel}$$

Donde:

DH: Distancia horizontal

DV: Distancia vertical

DI: Distancia inclinada

α : Angulo de inclinación de la visual respecto a la horizontal

He: Altura del equipo

Hb: Altura del bastón

Cota A: Cota del punto donde se ubica el transito.

Cota B: Cota del punto donde se ubica la mira.

- **Con Estación Total:** Este es un equipo electrónico que utiliza un prisma como equipo auxiliar y calcula directamente en terreno el valor de la distancia y el desnivel entre dos puntos.

Desde cada delta ó abscisa de la poligonal se pueden levantar detalles (puntos que representan objetos particulares: árboles, esquinas, mallas, etc.), ya sea, por medio de radiación ó con el trazo de una perpendicular

5.1.1.5 Nivelacion: Luego de tener la poligonal materializada en el terreno con todas sus abscisas, se procede a realizar la nivelación, o sea, encontrar la cota de cada uno de los puntos de la poligonal.

Dichas cotas se pueden encontrar mediante cualquiera de los siguientes métodos:

- **Con Nivel de Precisión ó Nivel Locke y Mira:** Se encuentra la cota de la visual efectuando la lectura de mira a un punto de control (BM² y Cambio³) y luego se realiza una lectura de mira a cada una de las abscisas de la poligonal, con la cual se calculan las cotas respectivas.

$$Altura_Instrumental = Cota_{BM-CAMBIO} + V(+)$$

$$Cota = Altura_Instrumental - VI(-)$$

Donde:

Altura_Instrumental: Cota de la visual

V(+): Lectura de mira a un punto con cota conocida

² BM: Bench Mark, punto fijo en el terreno al cual se le conoce su cota (distancia vertical al plano de referencia)

³ Cambio: Punto auxiliar en la nivelación, similar a un BM

VI(-): Lectura de mira a un punto con cota desconocida

Cota A: Cota del punto donde se ubica el tránsito.

Cota B: Cota del punto donde se ubica la mira.

- Nivel Abney: Se encuentra la pendiente del alineamiento y la distancia inclinada así:

$$DH = DI * \text{Cos}\alpha$$

$$\text{Desnivel} = DI * \text{Sen}\alpha$$

$$Cota_B = Cota_A + \text{Desnivel}$$

Donde:

DI: Distancia inclinada

DH: Distancia horizontal

Desnivel: Distancia vertical entre dos puntos

α : Angulo de inclinación de la visual respecto a la horizontal

Cota: Altura del punto al plano de referencia

- **Por Taquimetría:** Utilizando la formulación enunciada anteriormente
- **Con Distanciómetro:** Utilizando la formulación enunciada anteriormente
- **Con Estación Total:** Este equipo electrónico calcula directamente la cota de un punto cualesquiera del terreno

Después de calcular las cotas se ejecuta la toma de topografía, procedimiento que consiste en encontrar las cotas cerradas⁴ en el terreno utilizando la nivelación realizada con nivel de precisión. Este trabajo se realiza con el *nivel locke* y la *mira*, trazando transversales a la poligonal con la *escuadra del agrimensor* sobre cada una de las abscisas y en los deltas bisectrices. Sobre cada transversal y bisectriz se encuentra en campo la distancia que existe desde la poligonal a cada cota cerrada.

5.1.1.6. Resultados Obtenidos: El resultado es la poligonal abscisada , nivelada, con los puntos referenciados en el terreno y toda la información necesaria para realizar el dibujo de plano de curvas de nivel.

5.1.2. Radiación con Base Medida y Nivelación Radial

5.1.2.1. Equipo Utilizado: El equipo utilizado en esta investigación para efectuar el levantamiento topográfico de una radiación fue el siguiente:

- Tránsito con Brújula
- Nivel de Precisión
- Plomadas
- Cinta
- Maceta

⁴ Cotas que unidas formaran una curva de nivel (línea que une puntos que poseen igual cota), normalmente son enteras y van de 1 en 1, 2 en 2 (pares), 5 en 5 (múltiplos de cinco), etc.

- Machete
- Jalones
- Estacas
- Mira con Nivel

5.1.2.2. Procedimiento de Campo

Se materializa en el terreno el primer foco de radiación, se ubican puntos en el contorno del terreno a levantar. Ubicando el *tránsito* en el foco y se trazan alineamientos entre el foco y cada uno de los puntos sobre el contorno del terreno, estos alineamientos se abscisan para medir la distancia del foco al punto y se mide su azimut ó ángulo a un alineamiento de referencia. Se pueden tener dos ó mas focos de radiación todos amarrados al primero. En cada foco de radiación se coloca una estaca con puntilla.

La forma de medición de los ángulos y distancias se efectúa de la misma forma como se realizó en la Poligonal.

Luego de tener la radiación materializada con todos sus alineamientos y abscisas en el terreno, se procede a realizar la nivelación, o sea, encontrar la cota de cada uno de los puntos. El procedimiento de nivelación para cada uno de los alineamientos de la radiación es el mismo utilizado para una poligonal.

5.1.2.3. Resultados Obtenidos: El resultado del trabajo de campo serán focos de radiación con alineamientos abscisados y nivelados.

5.1.3. Levantamientos con Estación Total

5.1.3.1. Equipo Utilizado: El equipo utilizado en esta investigación para efectuar el levantamiento topográfico con estación total fue el siguiente.

- Estación Total con Prisma
- Brújula
- Maceta
- Machete
- Estacas

5.1.3.2. Procedimiento de Campo: Se ubica en el terreno un punto con las coordenadas conocidas (Norte, Este, Cota), sobre el cual se ubica la estación total y se digita en está las coordenadas de dicho punto. Se ubica la norte u otro punto con coordenadas conocidas lo cual permite orientar la estación total, en el sistema de coordenadas utilizado en el trabajo. Se empiezan a encontrar las coordenadas N, E y Cota de cada punto del terreno colocando sobre cada uno de ellos el prisma de la estación. Se pueden tener dos ó mas puntos de estación, donde se arma el equipo y se realiza el

levantamiento de varios puntos del terreno, tratando de tomar todas las deformaciones existentes sobre la zona en cuestión.

5.1.3.3. Resultados Obtenidos: Puntos de Estación y listado de puntos del terreno con código y sus coordenadas Norte, Este y Cota.

5.1.4. Levantamientos con GPS

5.1.4.1. Procedimiento de Campo: Para realizar un levantamiento topográfico con GPS, se debe cubrir el terreno con una nube de puntos a cada uno de los cuales se les encuentra las coordenadas *Latitud*, *Longitud* y *Altitud* con un equipo ó una red de equipos GPS. Mediante un software especializado se transforman dichas coordenadas geodésicas a coordenadas rectangulares (N, E, Cota), las cuales se incluyen al sistema como si fueran coordenadas levantadas con estación total.

5.1.4.2. Resultados Obtenidos: Listado de puntos del terreno con código y sus coordenadas Longitud, Latitud y Altitud y N, E, Cota.

5.2. CALCULOS DE COORDENADAS

Las coordenadas N, E, Cota de cualesquier punto B dependen siempre de un punto A desde donde se efectuó el levantamiento. Del punto A se deben conocer las coordenadas N, E, Cota, y la distancia, el azimut y el desnivel del alineamiento A-B (ver Figura 5.4).

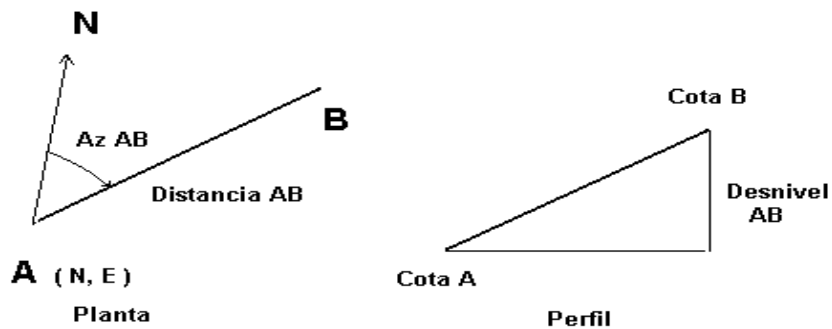


Figura 5.4 Datos para el cálculo de coordenadas.

Las ecuaciones para el cálculo de las coordenadas del punto B son las siguientes:

$$\text{Coordenada Norte: } N_B = N_A + \text{Distancia}_{A-B} * \text{Cos}(\text{Azimut}_{A-B})$$

$$\text{Coordenada Este: } E_B = E_A + \text{Distancia}_{A-B} * \text{Sen}(\text{Azimut}_{A-B})$$

$$\text{Cota: } \text{Cota}_B = \text{Cota}_A + \text{Desnivel}_{A-B}$$

Para el cálculo del azimut de un alineamiento se tiene la siguiente formulación, la cual dependerá del método de levantamiento utilizado:

- Con el método de deflexiones:

$$\text{Azimut}_{2-3} = \text{Azimut}_{1-2} \pm \text{Deflexión}_{1-2-3}$$

- Con el método de ángulo positivo ó negativo

$$\begin{aligned} \text{Azimut}_{2-3} &= \text{ContraAzimut}_{1-2} + \text{Angulo_Positivo}_{1-2-3} \\ &= \text{Azimut}_{2-1} + \text{Angulo_Positivo}_{1-2-3} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Azimut}_{2-3} &= \text{ContraAzimut}_{1-2} - \text{Angulo_Negativo}_{1-2-3} \\ &= \text{Azimut}_{2-1} - \text{Angulo_Negativo}_{1-2-3} \end{aligned}$$

Para la distancia entre dos(2) puntos cuando se conocen sus coordenadas se tiene la expresión.

$$\text{Distancia } AB = \sqrt{(N_A - N_B)^2 + (E_A - E_B)^2}$$

Donde:

N_A : Coordenada Norte del punto A

E_A : Coordenada Este del punto A

N_B : Coordenada Norte del punto B

E_B : Coordenada Este del punto B

Cuando el trabajo se realiza con Estación Total el equipo reporta directamente las tres coordenadas (N,E,Cota) de cada punto del levantamiento.

El procedimiento computacional utilizado para el cálculo de las coordenadas de los puntos pertenecientes al levantamiento se presenta en la Figura 5.5.

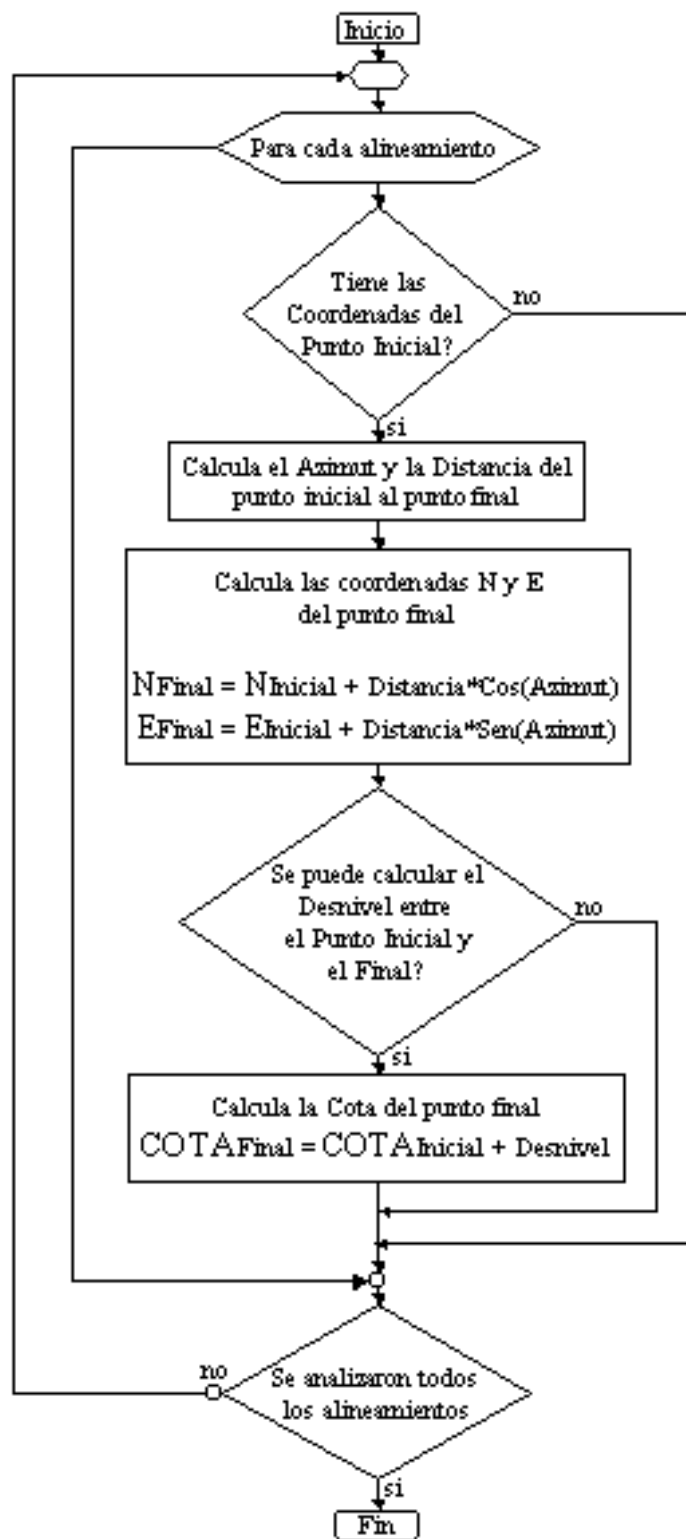


Figura. 5.5. Procedimiento computacional para calculo de coordenadas

En caso de tener una poligonal cerrada es necesario antes del cálculo de las coordenadas, ajustarla tanto angularmente como en distancia.

5.3. INFORMACIÓN REQUERIDA PARA LA GENERACIÓN DEL MODELO DIGITAL

Para la generación del modelo digital se requieren todos los puntos que posean sus tres coordenadas (N,E,Cota) calculadas. Estos puntos pueden ser deltas, abscisas, puntos de toma de topografía, focos de radiación, puntos levantados con estación total, detalles, etc.

Todos los puntos se deben ordenar de tal manera que primero se ubiquen los puntos que tengan menor coordenada Este y si dos puntos tienen igual coordenada Este primero se ubica el que tenga menor coordenada Norte.

5.4. GENERACIÓN DEL MODELO DIGITAL

5.4.1. TRIANGULACION

El modelo digital de un terreno es la representación estática de su superficie, dada por un gran número de puntos con coordenadas conocidas X, Y y Z ó N, E y Cota en un arbitrario sistema de coordenadas.

Ya que los puntos seleccionados anteriormente son puntos discretos, y como se sabe, el terreno es una superficie continua, estos puntos se unirán unos a otros con sus vecinos mas cercanos mediante líneas, teniendo como resultado una triangulación, una superficie continua que representa el terreno de forma aproximada. Sobre los lados del los triángulos se podrán interpolar un gran número de puntos de cotas redondas, con los cuales se construyen las curvas de nivel.

La triangulación de una serie de n puntos consiste en unirlos punto a punto con la línea mas corta que existe entre ellos, es decir trazar la recta con la menor longitud de tal forma que no se crucen.

Para trazar las posibles líneas que se crearan a partir de un punto m perteneciente a la nube de puntos, se efectuará el siguiente proceso:

5.4.1.1. Ordenación de la Nube Puntos: Se ordenan los puntos, mediante un proceso de numeración que ubica primero los puntos de menor coordenada Este, si dos puntos tienen la misma coordenada Este se ubica primero el que tenga menor coordenada Norte. En la Figura 5.6 se presentan los puntos en su numeración original dentro del vector o lista de coordenadas. En la Figura 5.7 se presentan los puntos con la numeración resultante después de la ordenación.

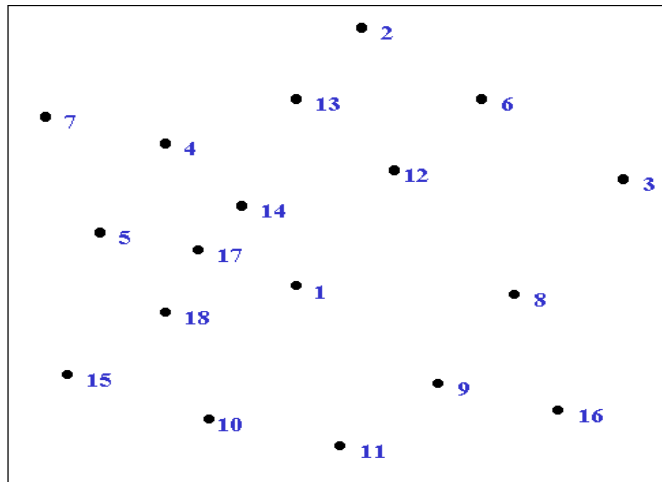


Figura. 5.6 Nube de puntos Original

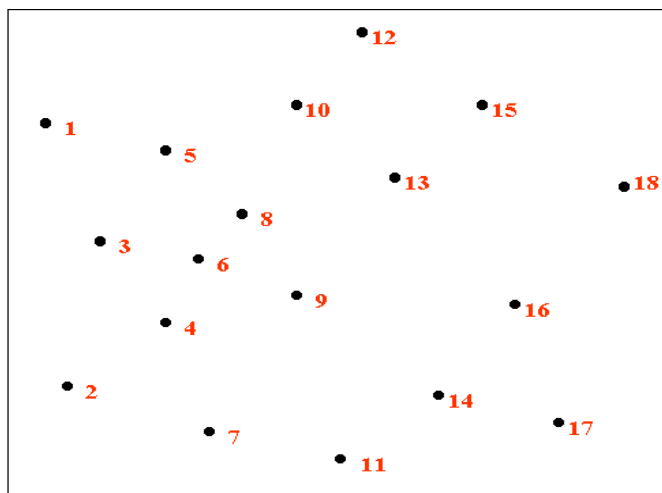


Figura. 5.7 Nube de puntos ordenada

El proceso de ordenación se realiza con el método SHELL⁵ el cual es muy eficiente y no presenta problemas cuando hay una gran cantidad de puntos. Una descripción general de SHELL se presenta en la Figura 5.8.

⁵ Método de ordenación de listas utilizando intercambio de posiciones

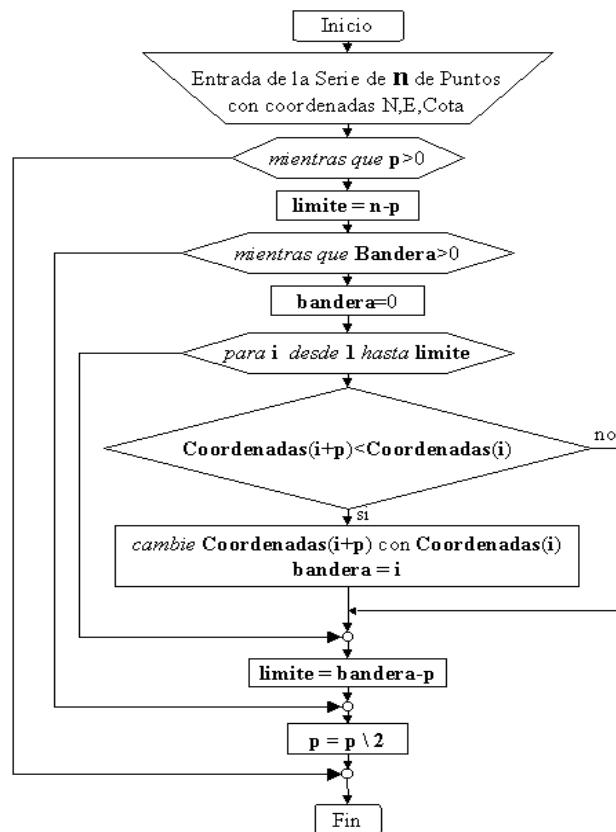


Figura. 5.8 Descripción general de SHELL

5.4.1.2. Triangulación

Ordenados los puntos, se unen los tres primeros puntos formando así el primer triángulo del sistema. Figura 5.9

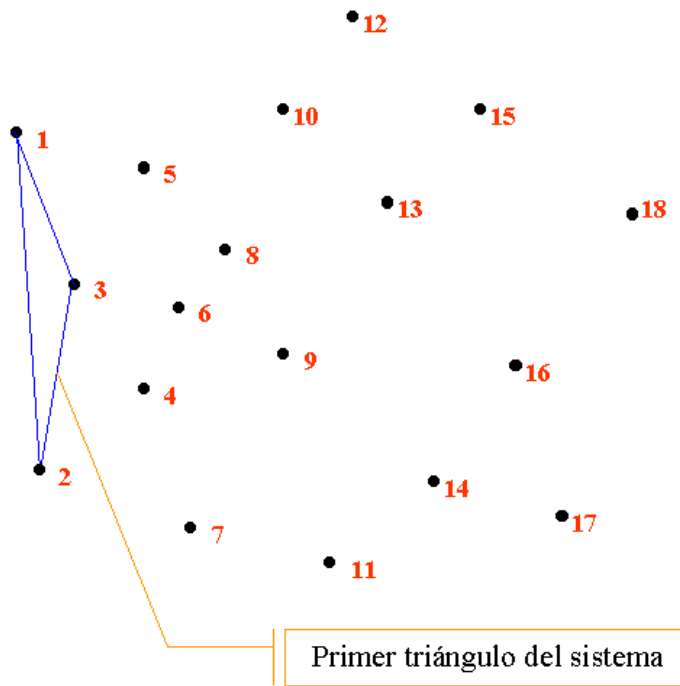


Figura. 5.9 Primer triángulo del sistema

Con el triángulo formado por los primeros 3 puntos, se encuentra el polígono convexo que los cubre. Figura 5.10. El polígono convexo es aquel polígono que almacena en su interior a todos los puntos. El proceso para encontrar el polígono convexo de una serie de puntos se explicará mas adelante.

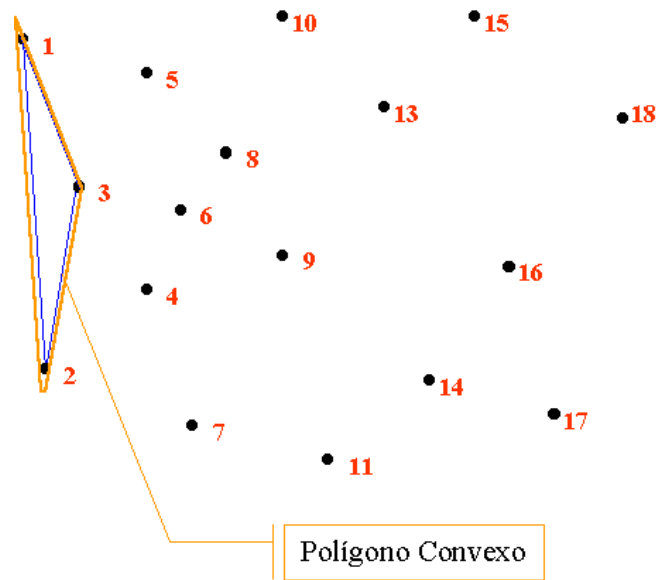


Figura. 5.10 Polígono convexo para los tres primeros puntos

Luego se encuentran los puntos pertenecientes al polígono convexo que son vistos desde el punto 4, trazando para cada uno de ellos la recta correspondiente. Figura 5.11. Un punto no es visto desde el punto 4 si la línea trazada de este al punto 4 corta el polígono convexo.

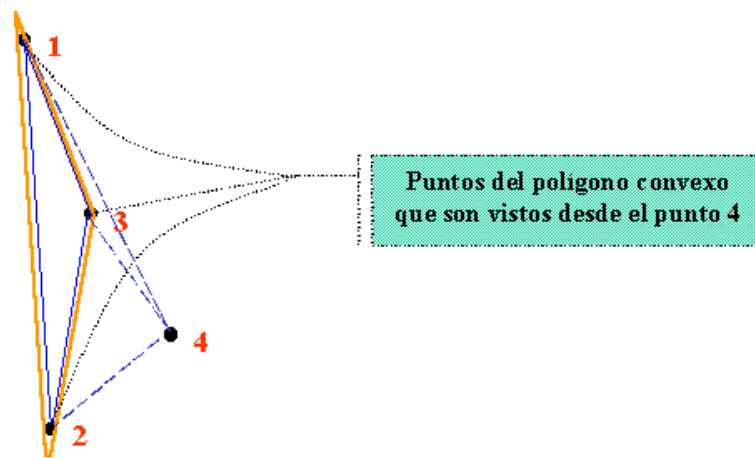


Figura. 5.11 Puntos del polígono convexo vistos desde el punto 4

Si el punto **4** estuviese un poco mas abajo tal como se muestra en la Figura 5.12

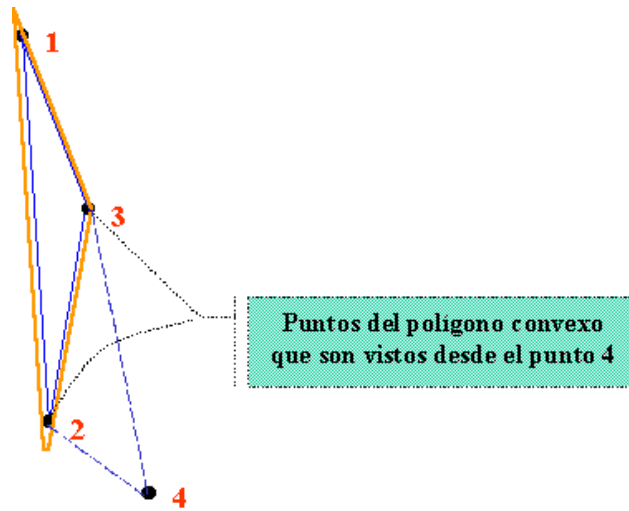


Figura. 5.12 Otra posición para el punto 4

Se intentaría unir el punto **4** con el punto **1**, esta línea cortaría la línea **2-3**, si la longitud de la línea **1-4** es menor que la longitud de la línea **2-3**, se borraría la línea **2-3** y se registraría la línea **1-4** de lo contrario se registra la línea **2-3** Figura 5.13.

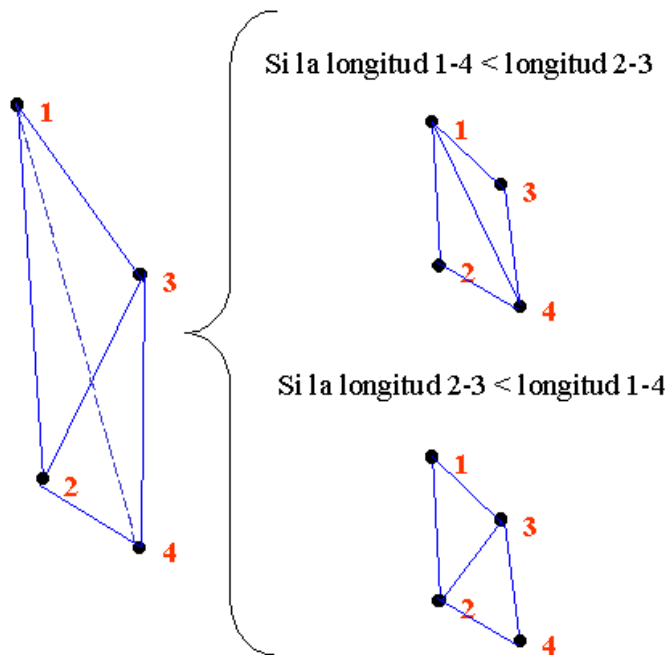


Figura. 5.13 Construcción del triangulo

Teniendo esta última triangulación se incluye el punto **5**, efectuando el mismo análisis realizado con el punto **4** y así sucesivamente hasta el punto **n**.

Generalizando el proceso, a continuación se presenta una explicación mas detallada de cómo generar el polígono convexo y como encontrar los puntos que son vistos desde un punto cualesquiera **m**.

Partiendo de una triangulación realizada hasta el punto **m-1** se encuentra el polígono convexo de los **m-1** puntos ya analizados, como se puede ver en el ejemplo Figura 5.14 para la cual $m = 8$ y $m - 1 = 7$. El polígono convexo es aquel polígono que almacena en su interior a todos los puntos.

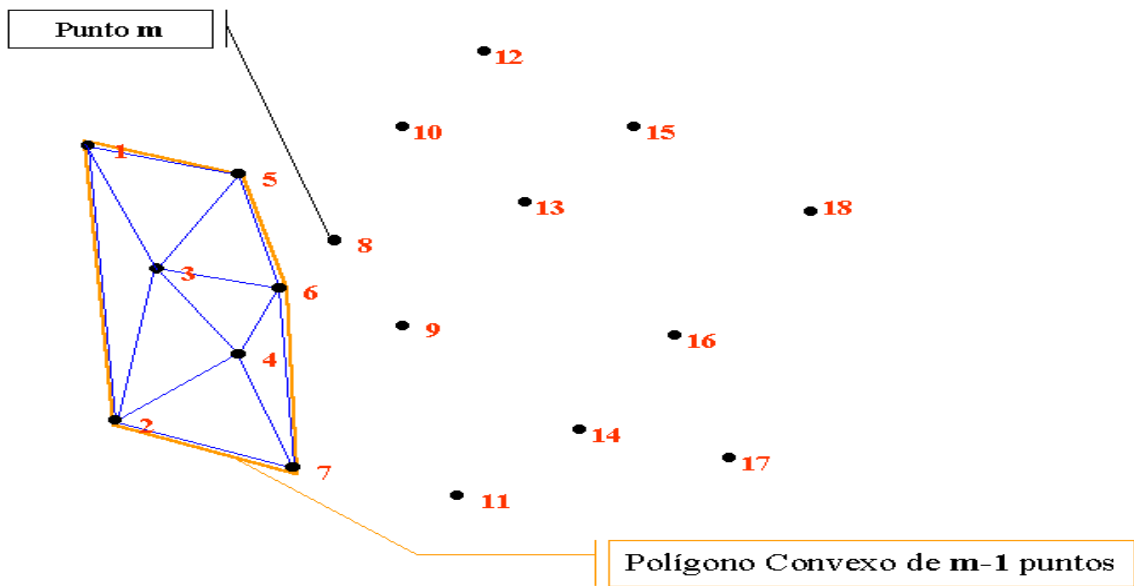


Figura. 5.14 Polígono convexo de los m-1 puntos

Todos los puntos pertenecientes a un polígono convexo deben cumplir con la siguiente premisa: El área del triángulo formado por cada 3 puntos consecutivos debe ser mayor ó igual a cero (0). Esto se comprueba de manera rápida, si al recorrer en su orden los puntos que conforman el triangulo se gira en el sentido de las manecillas del reloj.⁶

5.4.1.3 Procedimiento para Construir del polígono convexo: El polígono convexo de una serie de puntos se encuentra en 2 fases: En la primera se encuentra el polígono convexo superior y en la segunda se consigue el polígono convexo inferior; la unión de estos 2 polígonos constituyen el polígono convexo de la nube de puntos analizada:

⁶ Criterio conocido en topografía como la regla de las cruces para el calculo del área por coordenadas.

$$PC_{total} = PC_{superior} \cup PC_{inferior}$$

El procedimiento para encontrar el polígono convexo superior se describe a continuación:

- Se leen los n puntos a los cuales se les va a encontrar el polígono convexo, con sus coordenadas X e Y y se ordenan
- Los primeros dos(2) puntos se asume que pertenecen al $PC_{superior}$
- Se incluye el siguiente punto al polígono convexo y se analizan cada 3 puntos ($i, i-1, i-2$ para todo i entre 3 y n), si el área del triángulo formado por ellos es menor que cero(0), entonces el punto $i-1$ esta por fuera del polígono convexo, de lo contrario los tres puntos pertenecen al $PC_{superior}$
- Se repite el paso c hasta que todas las áreas sean mayor que cero(0).

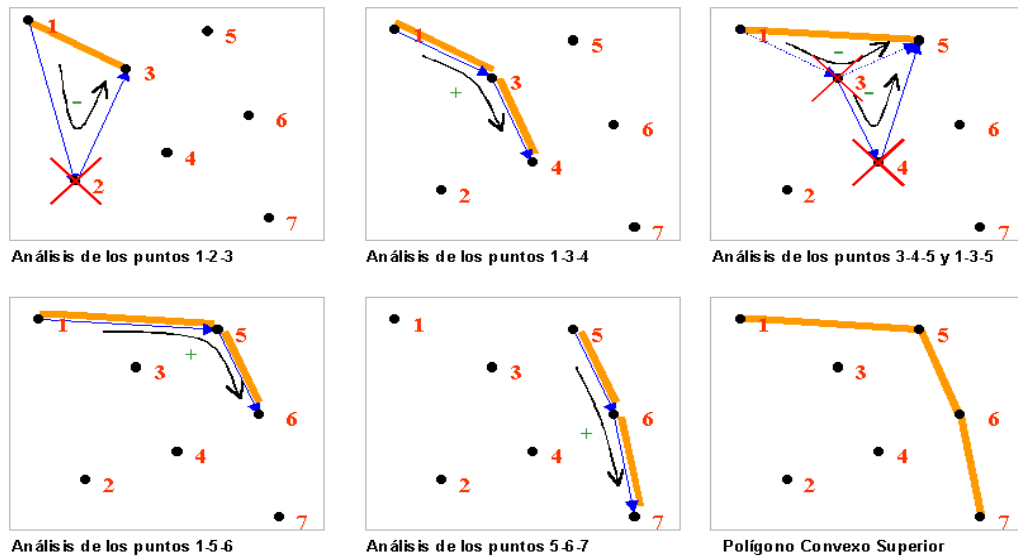


Figura 5.15 Procedimiento para encontrar el polígono convexo superior de una serie de 7 puntos

El proceso computacional para encontrar el polígono convexo superior puede verse en la Figura 5.16

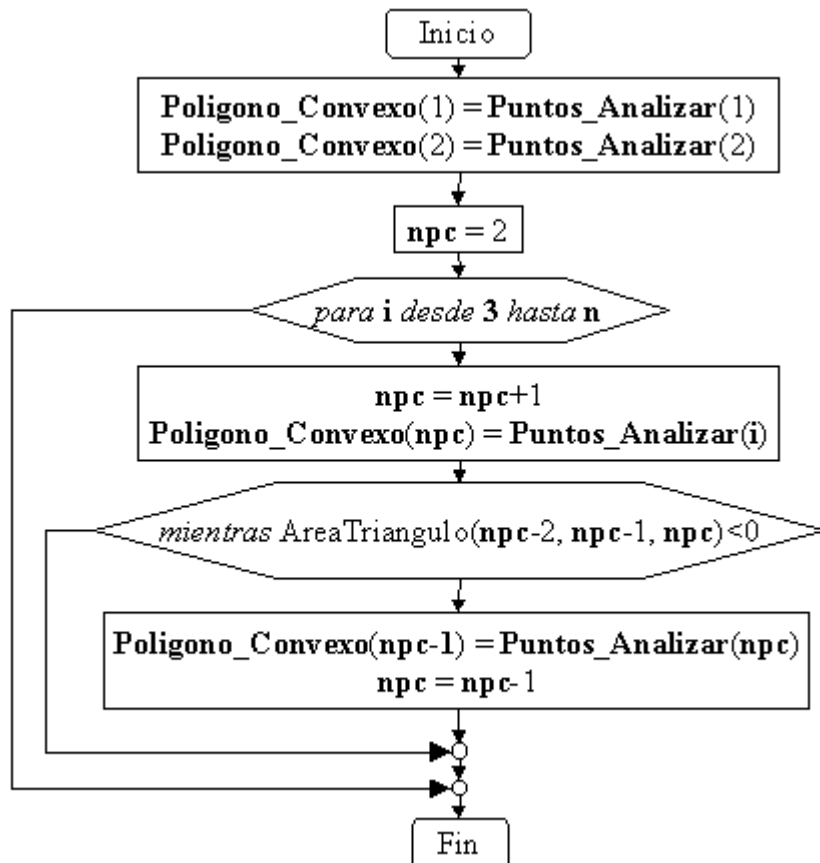


Figura 5.16 Proceso computacional para encontrar el polígono convexo superior.

El procedimiento para encontrar el polígono convexo inferior se describe a continuación:

- a. Se leen los n puntos a los cuales se les va a encontrar en polígono convexo con sus coordenadas X e Y y se ordenan
- b. Los últimos dos(2) puntos se asume que pertenecen al $PC_{inferior}$

- c. Se incluye el siguiente punto al polígono convexo y se analizan cada 3 puntos ($i, i+1, i+2$ para todo i entre $n-2$ y 1), donde si el área del triangulo formado por ellos es menor que cero(0), entonces el punto $i+1$ sale del polígono convexo, sino, los tres puntos pertenecen al $PC_{inferior}$
- d. Se repite el paso c hasta que todas las áreas sean mayor que cero(0).

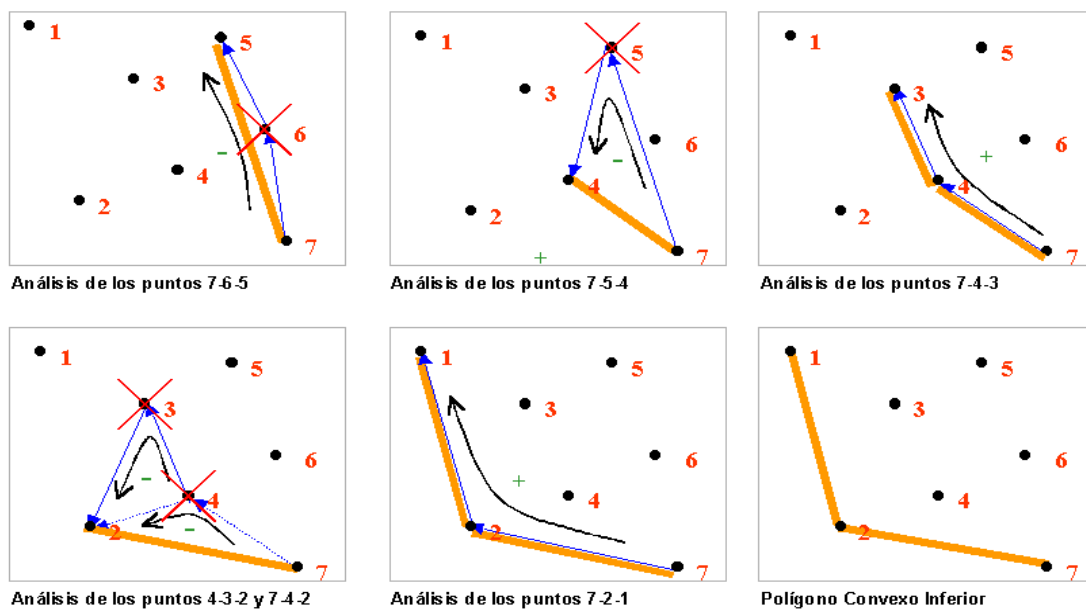


Figura 5.17 Procedimiento para encontrar el polígono convexo inferior de una serie de 7 puntos

El proceso computacional para encontrar el polígono convexo inferior puede verse en la Figura 5.18.

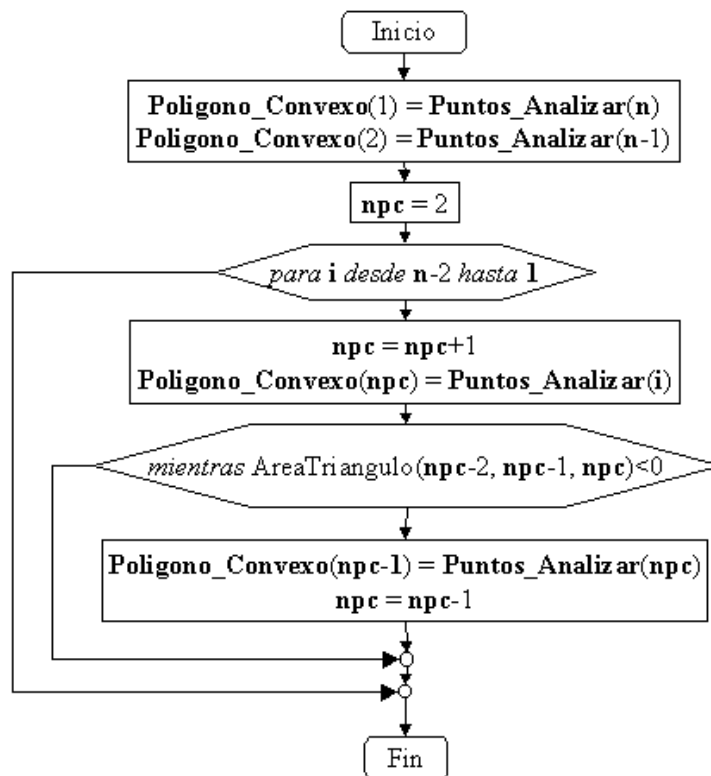


Figura 5.18 Proceso computacional para encontrar el polígono convexo inferior

La unión de los dos polígonos encontrados dará como resultado el polígono convexo de la nube de puntos analizada.

Luego se encuentran los puntos pertenecientes al polígono convexo que son vistos desde el punto m , trazando para cada uno de ellos la línea correspondiente. Un punto no es visto desde el punto m si la línea que une este punto, con el punto m , corta el polígono convexo

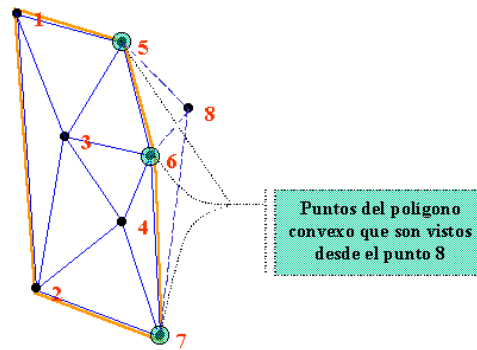


Figura 5.19 Puntos del polígono convexo vistos desde el punto 8

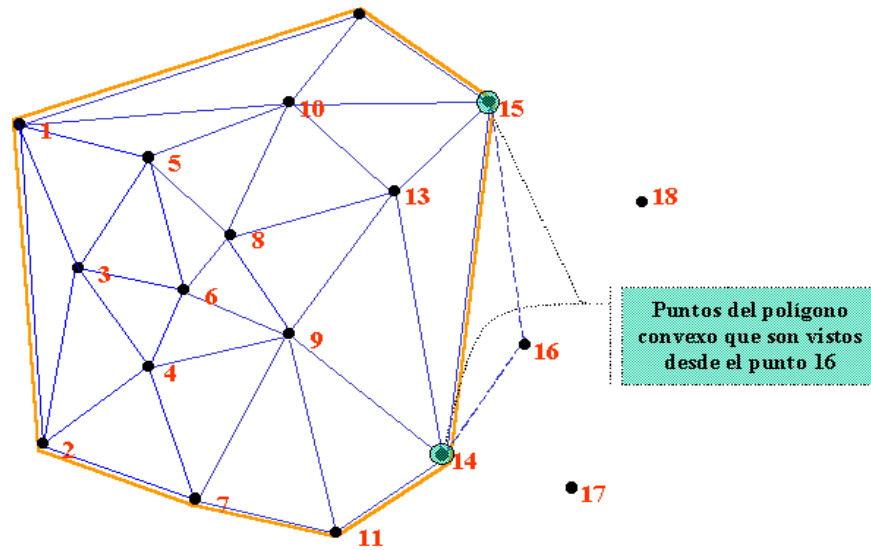


Figura 5.20 Puntos del polígono convexo vistos desde el punto 16

Siguiendo el mismo procedimiento explicado en el numeral 5.4.1.2. Se encuentran los puntos anexos a los puntos del polígono convexo que son vistos desde el punto m . Un punto anexo, se unirá mediante línea con el punto m , si las líneas que corta está, son de mayor longitud que la línea al punto m . Figura 5.21 y Figura 5.22.

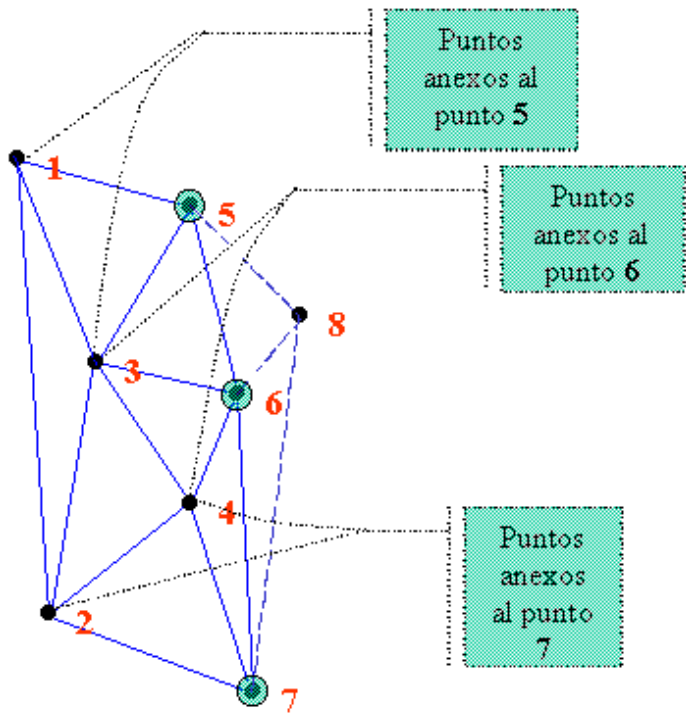


Figura 5.21 Puntos anexos analizando el punto 8

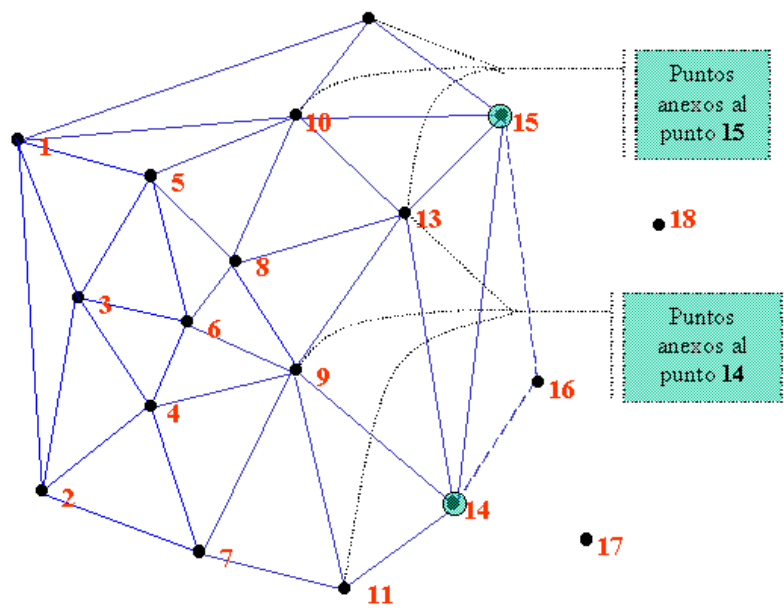


Figura 5.22 Puntos anexos analizando el punto 16

Si la línea *m*-punto_anexo se puede trazar, entonces, se borran las líneas que son cortadas por ella y se rehace la triangulación interior Figura 5.23 y Figura 5.24.

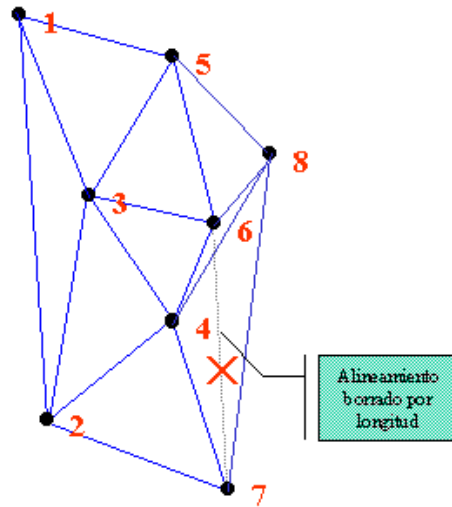


Figura 5.23 Triangulación desde el punto 8

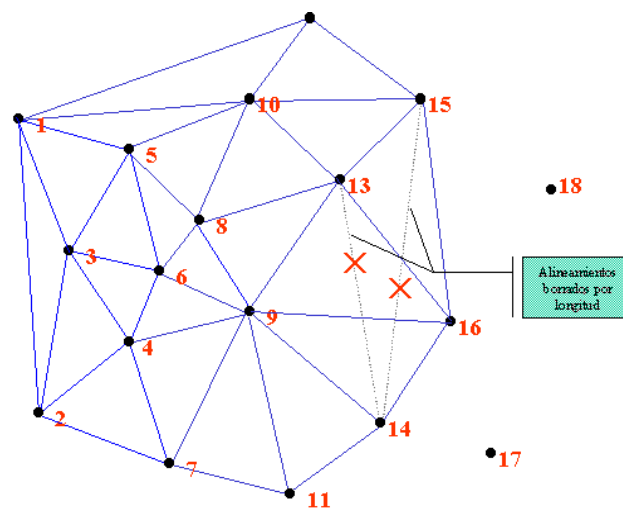


Figura 5.24 Triangulación desde el punto 16

Este proceso se realiza para todos los puntos a analizar, obteniendo finalmente una triangulación .Figura 5.25

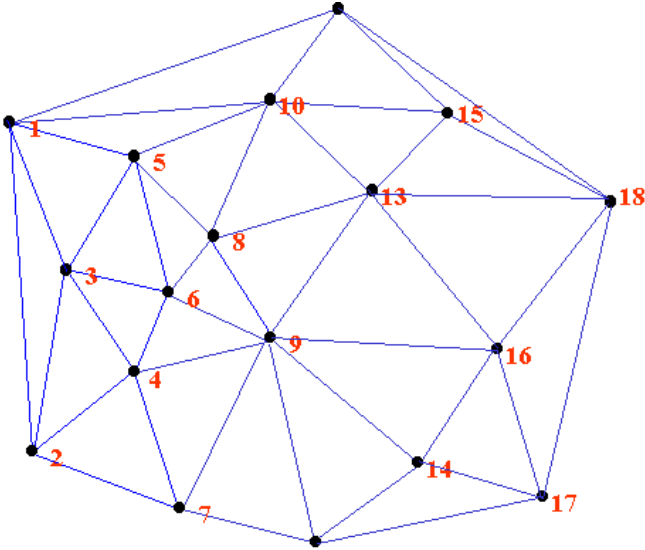


Figura 5.25 Triangulación

El procedimiento computacional general utilizado para efectuar el proceso de triangulación puede verse en la Figura 5.26

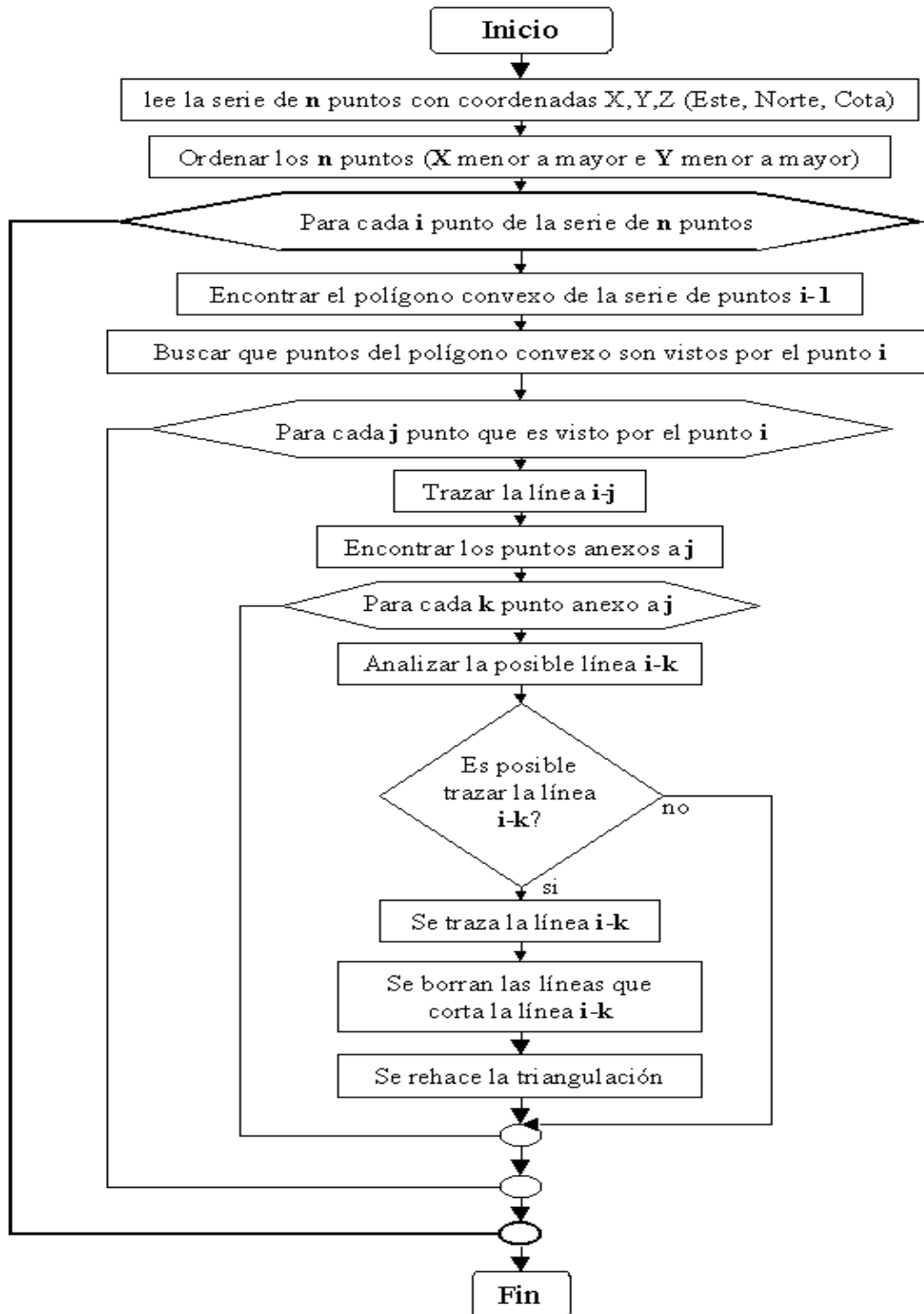


Figura 5.26 Procedimiento computacional utilizado para efectuar el proceso de triangulación

5.4.2. INTERPOLACIÓN DE COTAS CERRADAS

Cada vértice de los triángulos formados en el proceso anterior posee las tres coordenadas N, E, Cota.

En cada uno de los lados de los triángulos se interpolan las cotas cerradas existentes. Figura 5.27

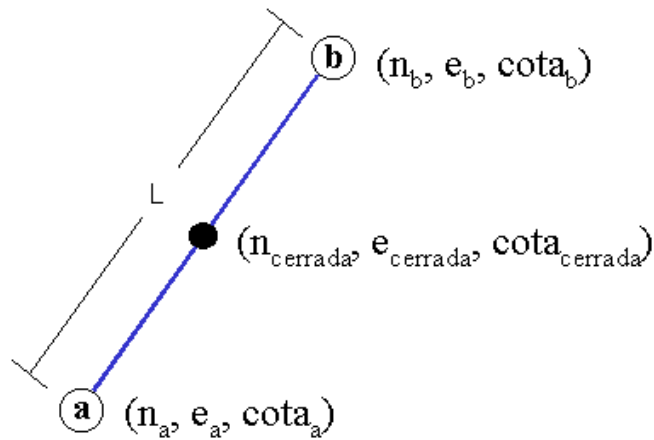


Figura 5.27 Interpolación de cotas cerradas

Para encontrar las coordenadas x (Este) e y (Norte) de una cota cerrada se utilizan las siguientes ecuaciones:

$$e_{cerrada} = e_a + (e_b - e_a) * \frac{cota_{cerrada} - cota_a}{cota_b - cota_a}$$
$$n_{cerrada} = n_a + (n_b - n_a) * \frac{cota_{cerrada} - cota_a}{cota_b - cota_a}$$

Este proceso se realiza para todos los lados de los triángulos existentes en la triangulación. Figura 5.28

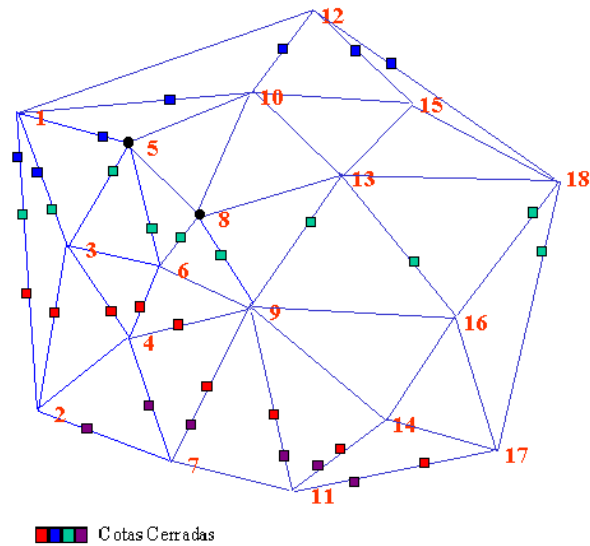


Figura 5.28 Alineamientos con cotas cerradas interpoladas linealmente

5.4.3 CURVAS DE NIVEL

Una curva de nivel es aquella línea que une puntos con igual elevación ó cota, o sea, es una línea que posee una pendiente igual a cero(0).

El procedimiento para la generación de las curvas de nivel del terreno analizado a partir de la triangulación es el siguiente:

1. Se organizan todas las cotas cerradas encontradas en todos los alineamientos de la triangulación y se unen con un polígono de tal

forma que ninguna línea de este corte algún lado de la triangulación.

Figura 5.29

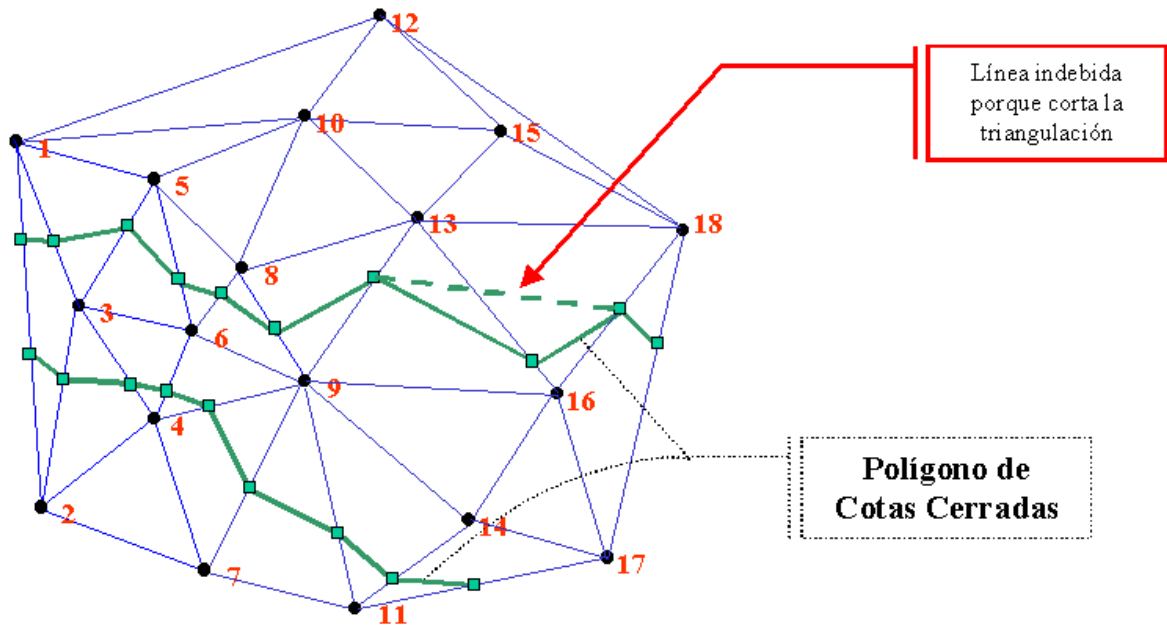


Figura 5.29 Polígonos de cotas cerradas

Se pueden formar múltiples polígonos que posean la misma cota cerrada, ya que al no tener un lado de la triangulación en común no se pueden unir tal como se ilustra en las figuras 5.30 y 5.31

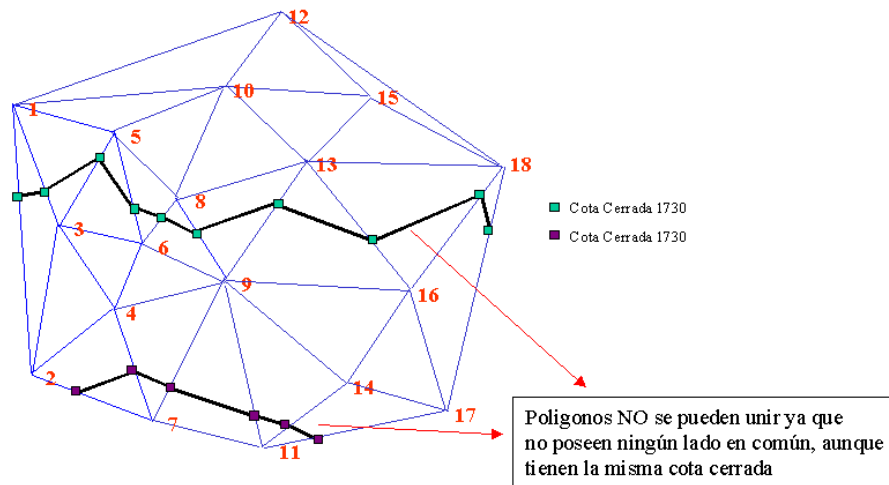


Figura 5.30 Polígonos de cotas cerradas iguales

Un polígono de cotas cerradas puede formar una curva de nivel cerrada cuando el punto inicial del polígono coincide con el punto final del mismo.

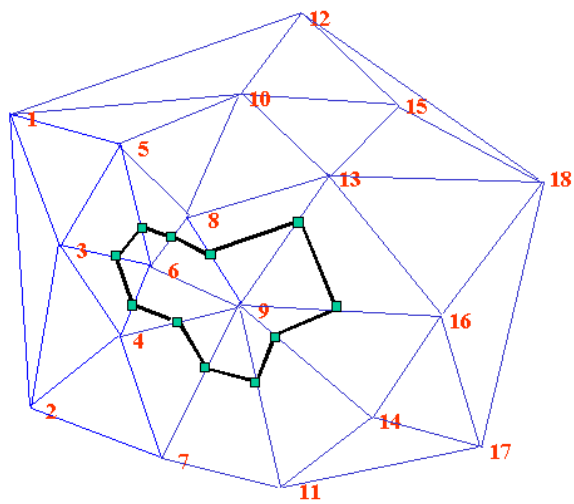


Figura 5.31 Polígono cerrado de cotas cerradas

2. Se calculan las deflexiones entre línea y línea del polígono formado

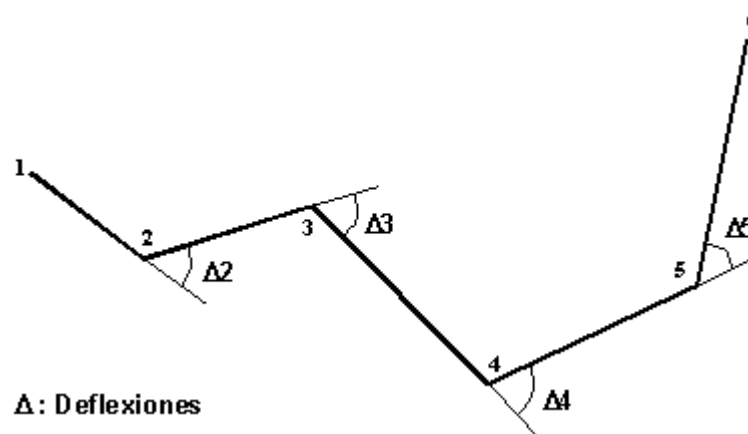


Figura 5.32 Deflexiones del polígono de cotas cerradas

3. Se deducen dos(2) puntos adicionales en cada alineamiento de la poligonal, los cuales darán la forma a la curva de nivel. El procedimiento para encontrarlos es el siguiente:

- a. Se traza la bisectriz de cada deflexión

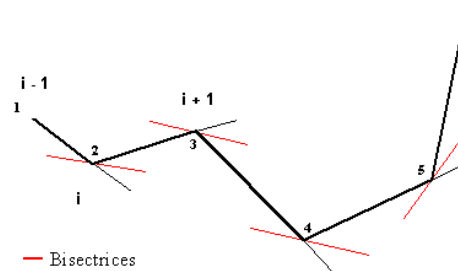


Figura 5.33 Trazado de las bisectrices para cada deflexión

- b. Se calcula la longitud (L) entre el punto i y el punto $i+1$ de la poligonal y se divide en K partes, donde K va a caracterizar la curvatura de la curva de nivel. El valor por defecto de K es 4. Sobre las bisectrices se mide la distancia L/K y se materializan

los 2 puntos, el punto i' sobre la bisectriz adelante y el punto i'' sobre la bisectriz atrás tal como se indica en la Figura 5.32

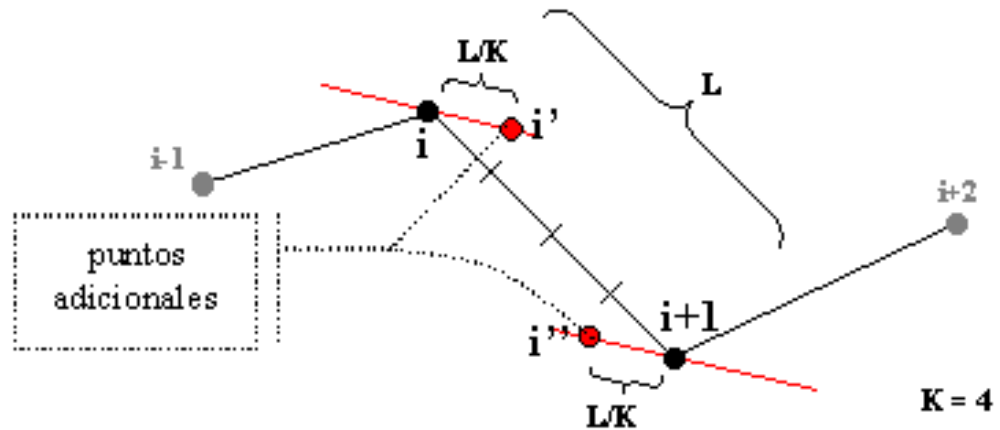


Figura 5.34 Materialización de puntos adicionales

Se efectúa este proceso para cada par de puntos consecutivos del polígono

- c. Para el primer punto de la poligonal se traza una línea a $\Delta 2/K$ con respecto a la línea $\Delta 1 \Delta 2$, esta línea se trazara hacia la derecha si la deflexión en $\Delta 2$ es izquierda o hacia la izquierda si la deflexión en $\Delta 2$ es derecha. Sobre esta línea se coloca un punto i a una distancia igual a $L_{\Delta 1-\Delta 2}/K$. Para el último punto se traza una línea a $\Delta n-1/4$ y se coloca el punto a una distancia igual a $L_{\Delta n-1-\Delta n}/K$. El sentido de esta línea es similar al de la línea correspondiente al $\Delta 1$, si la deflexión en el $\Delta n-1$ es

izquierda la línea se trazara hacia la derecha y si la deflexión en Δ_{n-1} es derecha la línea se trazara hacia la izquierda. La Figura 5.33 ilustra esto.

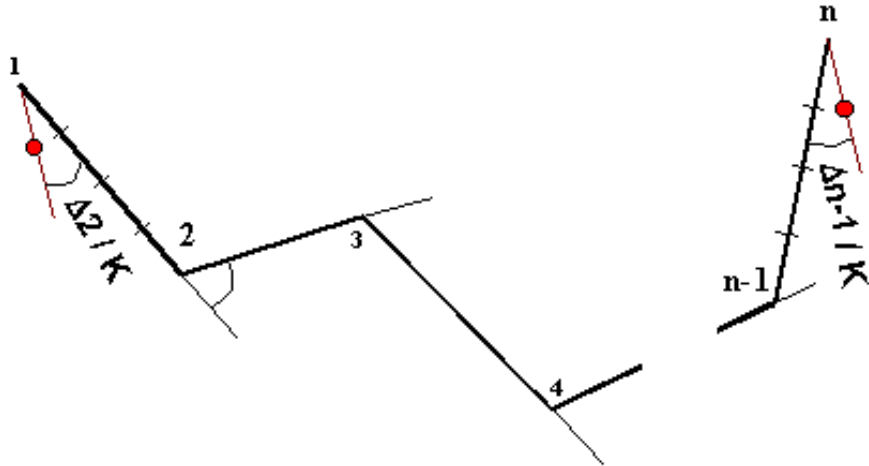


Figura 5.35 Trazado de las líneas Δ_2 / K y Δ_{n-1} / K

4. Teniendo los puntos i , i' , i'' e $i+1$, se interpola una *Parábola Cúbica de Bezier*, la cual debe cumplir lo siguiente: Primero que pase por los puntos i e $i+1$ y segundo que sea tangente a las bisectrices trazadas en i y en $i+1$, Figura 5.36. Para esto se utilizó la siguiente formulación:

Coordenadas Parábola Cúbica:

$$\text{Coordenada Este} = \sum_{j=0}^{n-1} \text{Coordenada Este}(j) * c(j) * u^j * (1-u)^{n-j-1}$$

$$\text{Coordenada Norte} = \sum_{j=0}^{n-1} \text{Coordenada Norte}(j) * c(j) * u^j * (1-u)^{n-j-1}$$

Donde:

Coordenada Este y Norte : Coordenadas (N,E) de los puntos i ,

i' , i'' , $i+1$

n : número de puntos(4)

u : valor que varia entre 0 y 1, donde 0 correspondería al primer punto (i), 1 al último punto ($i+1$) y por ejemplo 0.5 a un punto en la mitad del segmento analizado

c : Vector que caracteriza la parábola cúbica. $c(0)=1$, $c(1)=3$, $c(2)=3$, $c(3)=1$ (Valores prefijos del Triángulo de Pascal utilizados para el desarrollo de un binomio elevado a la potencia 3).

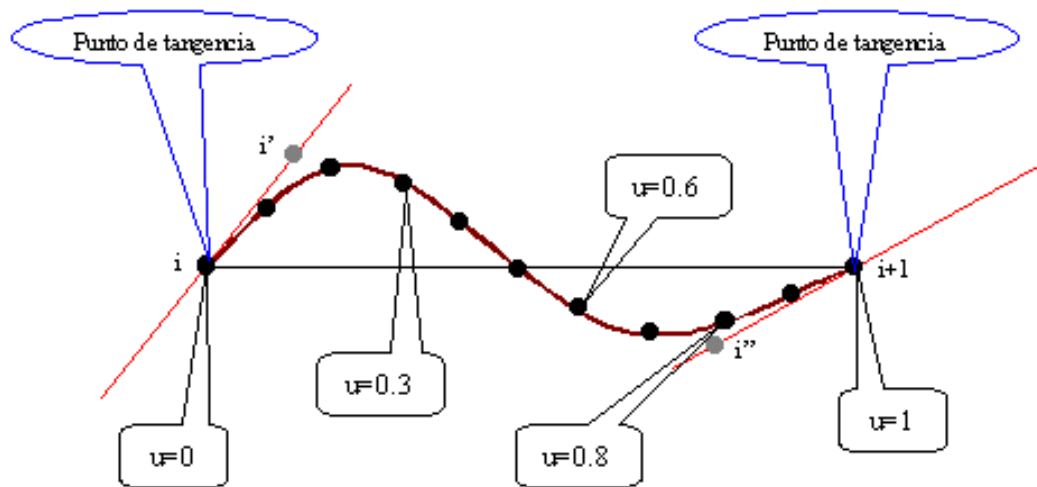


Figura 5.36 Interpelación de la *Parábola Cúbica de Bezier*

Este paso se repite para todos los puntos del polígono. La continuidad entre tramo y tramo del polígono está garantizada, ya que, la curva es tangente a las bisectrices de entrada y de salida.

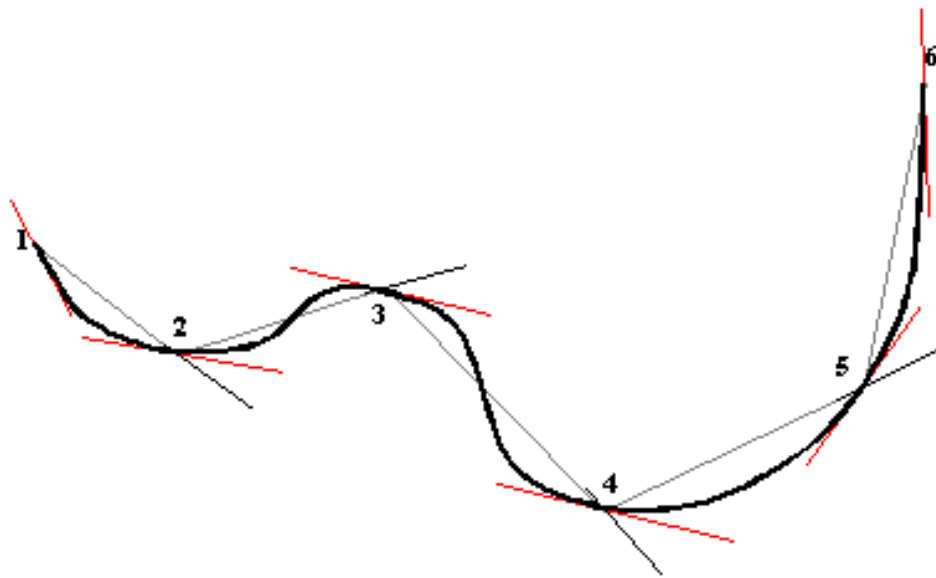


Figura 5.37 Polígono de 5 tramos con 5 parábolas cúbicas de Bezier

Para entender mejor el proceso de calculo de las coordenadas de la parábola cúbica de Bezier a continuación se realiza el calculo de coordenadas para dos curvas.

Para la primera curva, se tienen las siguientes coordenadas de los puntos a unir mediante la parábola cubica de Bezier

	Este	Norte
Punto con Cota Cerrada	2	1
Punto de Control	5	7
Punto de Control	15	3
Punto con Cota Cerrada	18	9

Descomponiendo en columnas la expresión para el calculo de Coordenadas de la parábola cúbica y realizando el desarrollo para cada coordenada de los puntos que se desean unir se tiene el siguiente cuadro de calculos.

u	i	Coordenada	c()	u^j	$(1-u)^{(n-j-1)}$	Resultado	u	i	Coordenada	c()	u^j	$(1-u)^{(n-j-1)}$	Resultado		
0	Este	0	2	1	1.000	1.000	2.000	0.6	Este	0	2	1	1.000	0.064	0.128
		1	5	3	0.000	1.000	0.000			1	5	3	0.600	0.160	1.440
		2	15	3	0.000	1.000	0.000			2	15	3	0.360	0.400	6.480
		3	18	1	0.000	1.000	0.000			3	18	1	0.216	1.000	3.888
							2.000								11.936
	Norte	0	1	1	1.000	1.000	1.000		Norte	0	1	1	1.000	0.064	0.064
		1	7	3	0.000	1.000	0.000			1	7	3	0.600	0.160	2.016
		2	3	3	0.000	1.000	0.000			2	3	3	0.360	0.400	1.296
		3	9	1	0.000	1.000	0.000			3	9	1	0.216	1.000	1.944
							1.000								5.320
0.1	Este	0	2	1	1.000	0.729	1.458	0.7	Este	0	2	1	1.000	0.027	0.054
		1	5	3	0.100	0.810	1.215			1	5	3	0.700	0.090	0.945
		2	15	3	0.010	0.900	0.405			2	15	3	0.490	0.300	6.615
		3	18	1	0.001	1.000	0.018			3	18	1	0.343	1.000	6.174
							3.096								13.788
	Norte	0	1	1	1.000	0.729	0.729		Norte	0	1	1	1.000	0.027	0.027
		1	7	3	0.100	0.810	1.701			1	7	3	0.700	0.090	1.323
		2	3	3	0.010	0.900	0.081			2	3	3	0.490	0.300	1.323
		3	9	1	0.001	1.000	0.009			3	9	1	0.343	1.000	3.087
							2.520								5.760
0.2	Este	0	2	1	1.000	0.512	1.024	0.8	Este	0	2	1	1.000	0.008	0.016
		1	5	3	0.200	0.640	1.920			1	5	3	0.800	0.040	0.480
		2	15	3	0.040	0.800	1.440			2	15	3	0.640	0.200	5.760
		3	18	1	0.008	1.000	0.144			3	18	1	0.512	1.000	9.216
							4.528								15.472
	Norte	0	1	1	1.000	0.512	0.512		Norte	0	1	1	1.000	0.008	0.008
		1	7	3	0.200	0.640	2.688			1	7	3	0.800	0.040	0.672
		2	3	3	0.040	0.800	0.288			2	3	3	0.640	0.200	1.152
		3	9	1	0.008	1.000	0.072			3	9	1	0.512	1.000	4.608
							3.560								6.440

u	i	Coordenada	c()	u^j	$(1-u)^{(n-j-1)}$	Resultado	u	i	Coordenada	c()	u^j	$(1-u)^{(n-j-1)}$	Resultado		
0.3	Este	0	2	1	1.000	0.343	0.686	0.9	Este	0	2	1	1.000	0.001	0.002
		1	5	3	0.300	0.490	2.205			1	5	3	0.900	0.010	0.135
		2	15	3	0.090	0.700	2.835			2	15	3	0.810	0.100	3.645
		3	18	1	0.027	1.000	0.486			3	18	1	0.729	1.000	13.122
							6.212								16.904
	Norte	0	1	1	1.000	0.343	0.343		Norte	0	1	1	1.000	0.001	0.001
		1	7	3	0.300	0.490	3.087			1	7	3	0.900	0.010	0.189
		2	3	3	0.090	0.700	0.567			2	3	3	0.810	0.100	0.729
		3	9	1	0.027	1.000	0.243			3	9	1	0.729	1.000	6.561
							4.240								7.480
0.4	Este	0	2	1	1.000	0.216	0.432	1	Este	0	2	1	1.000	0.000	0.000
		1	5	3	0.400	0.360	2.160			1	5	3	1.000	0.000	0.000
		2	15	3	0.160	0.600	4.320			2	15	3	1.000	0.000	0.000
		3	18	1	0.064	1.000	1.152			3	18	1	1.000	1.000	18.000
							8.064								18.000
	Norte	0	1	1	1.000	0.216	0.216		Norte	0	1	1	1.000	0.000	0.000
		1	7	3	0.400	0.360	3.024			1	7	3	1.000	0.000	0.000
		2	3	3	0.160	0.600	0.864			2	3	3	1.000	0.000	0.000
		3	9	1	0.064	1.000	0.576			3	9	1	1.000	1.000	9.000
							4.680								9.000
0.5	Este	0	2	1	1.000	0.125	0.250								
		1	5	3	0.500	0.250	1.875								
		2	15	3	0.250	0.500	5.625								
		3	18	1	0.125	1.000	2.250								
							10.000								
	Norte	0	1	1	1.000	0.125	0.125								
		1	7	3	0.500	0.250	2.625								
		2	3	3	0.250	0.500	1.125								
		3	9	1	0.125	1.000	1.125								
							5.000								

El resumen de las coordenadas calculadas se presenta a continuación:

U	Este	Norte
0.0	2.000	1.000
0.1	3.096	2.520
0.2	4.528	3.560
0.3	6.212	4.240
0.4	8.064	4.680
0.5	10.000	5.000
0.6	11.936	5.320
0.7	13.788	5.760
0.8	15.472	6.440
0.9	16.904	7.480
1.0	18.000	9.000

En la Figura 5.38 se presenta la grafica correspondiente a las coordenadas calculadas.

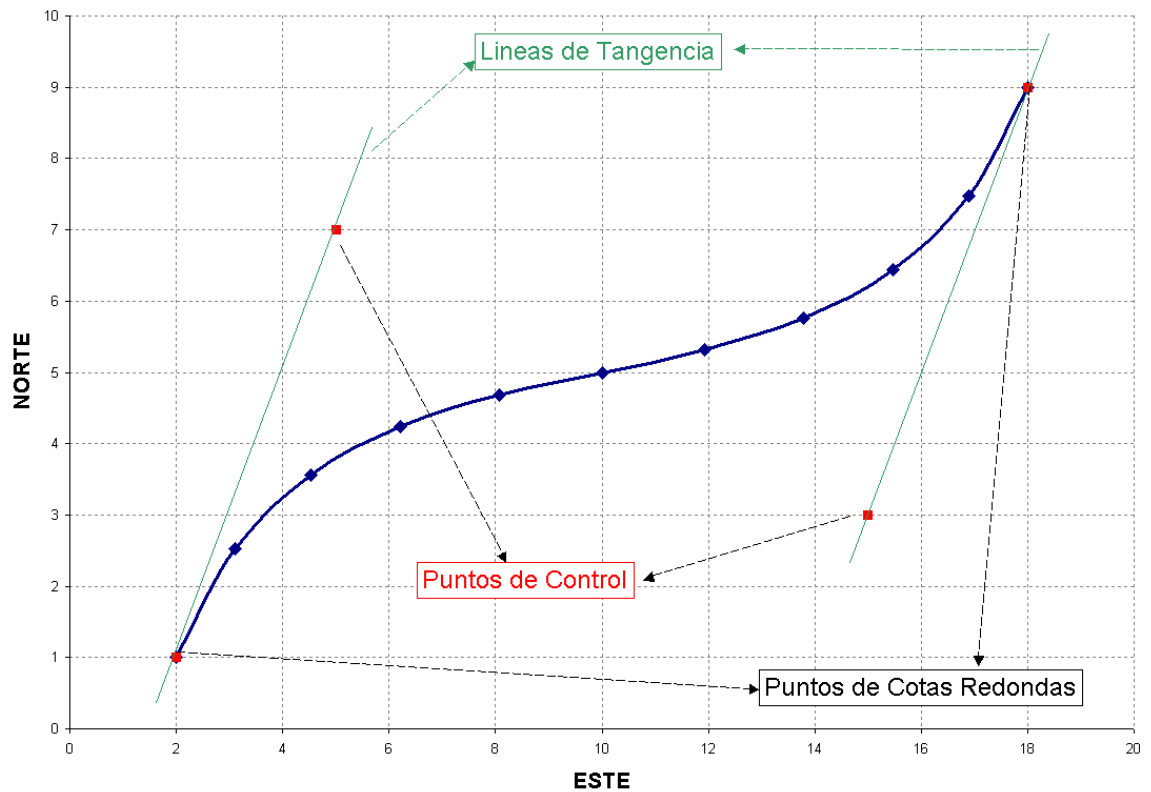


Figura 5.38 Dibujo de la Parábola Cúbica de Bezier calculada -1

Para el calculo de la segunda curva, se tienen las siguientes coordenadas de los puntos a unir mediante la parábola cúbica de Bezier.

	Este	Norte
Punto con Cota Cerrada	10	5
Control	17	6
Control	23	12
Punto con Cota Cerrada	11	16

Descomponiendo en columnas la expresión para el calculo de Coordenadas de la parábola cúbica y realizando el desarrollo para cada coordenada de los puntos que se desean unir se tiene el siguiente cuadro de calculos.

u	i	Coordenada	c()	u ^j	(1-u) ^(n-j-1)	Resultado	u	i	Coordenada	c()	u ^j	(1-u) ^(n-j-1)	Resultado		
0	Este	0	10	1	1.000	1.000	10.000	0.6	Este	0	10	1	1.000	0.064	0.640
		1	17	3	0.000	1.000	0.000			1	17	3	0.600	0.160	4.896
		2	23	3	0.000	1.000	0.000			2	23	3	0.360	0.400	9.936
		3	11	1	0.000	1.000	0.000			3	11	1	0.216	1.000	2.376
							10.000								17.848
	Norte	0	5	1	1.000	1.000	5.000		Norte	0	5	1	1.000	0.064	0.320
		1	6	3	0.000	1.000	0.000			1	6	3	0.600	0.160	1.728
		2	12	3	0.000	1.000	0.000			2	12	3	0.360	0.400	5.184
		3	16	1	0.000	1.000	0.000			3	16	1	0.216	1.000	3.456
							5.000								10.688
0.1	Este	0	10	1	1.000	0.729	7.290	0.7	Este	0	10	1	1.000	0.027	0.270
		1	17	3	0.100	0.810	4.131			1	17	3	0.700	0.090	3.213
		2	23	3	0.010	0.900	0.621			2	23	3	0.490	0.300	10.143
		3	11	1	0.001	1.000	0.011			3	11	1	0.343	1.000	3.773
							12.053								17.399
	Norte	0	5	1	1.000	0.729	3.645		Norte	0	5	1	1.000	0.027	0.135
		1	6	3	0.100	0.810	1.458			1	6	3	0.700	0.090	1.134
		2	12	3	0.010	0.900	0.324			2	12	3	0.490	0.300	5.292
		3	16	1	0.001	1.000	0.016			3	16	1	0.343	1.000	5.488
							5.443								12.049
0.2	Este	0	10	1	1.000	0.512	5.120	0.8	Este	0	10	1	1.000	0.008	0.080
		1	17	3	0.200	0.640	6.528			1	17	3	0.800	0.040	1.632
		2	23	3	0.040	0.800	2.208			2	23	3	0.640	0.200	8.832
		3	11	1	0.008	1.000	0.088			3	11	1	0.512	1.000	5.632
							13.944								16.176

u	i	Coordenada	c()	u ^j	(1-u) ^(n-j-1)	Resultado	u	i	Coordenada	c()	u ^j	(1-u) ^(n-j-1)	Resultado
Norte	0	5	1	1.000	0.512	2.560	Norte	0	5	1	1.000	0.008	0.040
	1	6	3	0.200	0.640	2.304		1	6	3	0.800	0.040	0.576
	2	12	3	0.040	0.800	1.152		2	12	3	0.640	0.200	4.608
	3	16	1	0.008	1.000	0.128		3	16	1	0.512	1.000	8.192
						6.144							13.416
0.3Este	0	10	1	1.000	0.343	3.430	0.9Este	0	10	1	1.000	0.001	0.010
	1	17	3	0.300	0.490	7.497		1	17	3	0.900	0.010	0.459
	2	23	3	0.090	0.700	4.347		2	23	3	0.810	0.100	5.589
	3	11	1	0.027	1.000	0.297		3	11	1	0.729	1.000	8.019
						15.571							14.077
Norte	0	5	1	1.000	0.343	1.715	Norte	0	5	1	1.000	0.001	0.005
	1	6	3	0.300	0.490	2.646		1	6	3	0.900	0.010	0.162
	2	12	3	0.090	0.700	2.268		2	12	3	0.810	0.100	2.916
	3	16	1	0.027	1.000	0.432		3	16	1	0.729	1.000	11.664
						7.061							14.747
0.4Este	0	10	1	1.000	0.216	2.160	1Este	0	10	1	1.000	0.000	0.000
	1	17	3	0.400	0.360	7.344		1	17	3	1.000	0.000	0.000
	2	23	3	0.160	0.600	6.624		2	23	3	1.000	0.000	0.000
	3	11	1	0.064	1.000	0.704		3	11	1	1.000	1.000	11.000
						16.832							11.000
Norte	0	5	1	1.000	0.216	1.080	Norte	0	5	1	1.000	0.000	0.000
	1	6	3	0.400	0.360	2.592		1	6	3	1.000	0.000	0.000
	2	12	3	0.160	0.600	3.456		2	12	3	1.000	0.000	0.000
	3	16	1	0.064	1.000	1.024		3	16	1	1.000	1.000	16.000
						8.152							16.000
0.5Este	0	10	1	1.000	0.125	1.250							
	1	17	3	0.500	0.250	6.375							
	2	23	3	0.250	0.500	8.625							
	3	11	1	0.125	1.000	1.375							
						17.625							
Norte	0	5	1	1.000	0.125	0.625							
	1	6	3	0.500	0.250	2.250							
	2	12	3	0.250	0.500	4.500							
	3	16	1	0.125	1.000	2.000							
						9.375							

El resumen de las coordenadas calculadas se presenta es el siguiente.:

u	Este	Norte
0.0	10.000	5.000
0.1	12.053	5.443
0.2	13.944	6.144
0.3	15.571	7.061
0.4	16.832	8.152
0.5	17.625	9.375
0.6	17.848	10.688
0.7	17.399	12.049
0.8	16.176	13.416
0.9	14.077	14.747
1.0	11.000	16.000

En la Figura 5.39 se presenta la grafica correspondiente a las coordenadas calculadas.

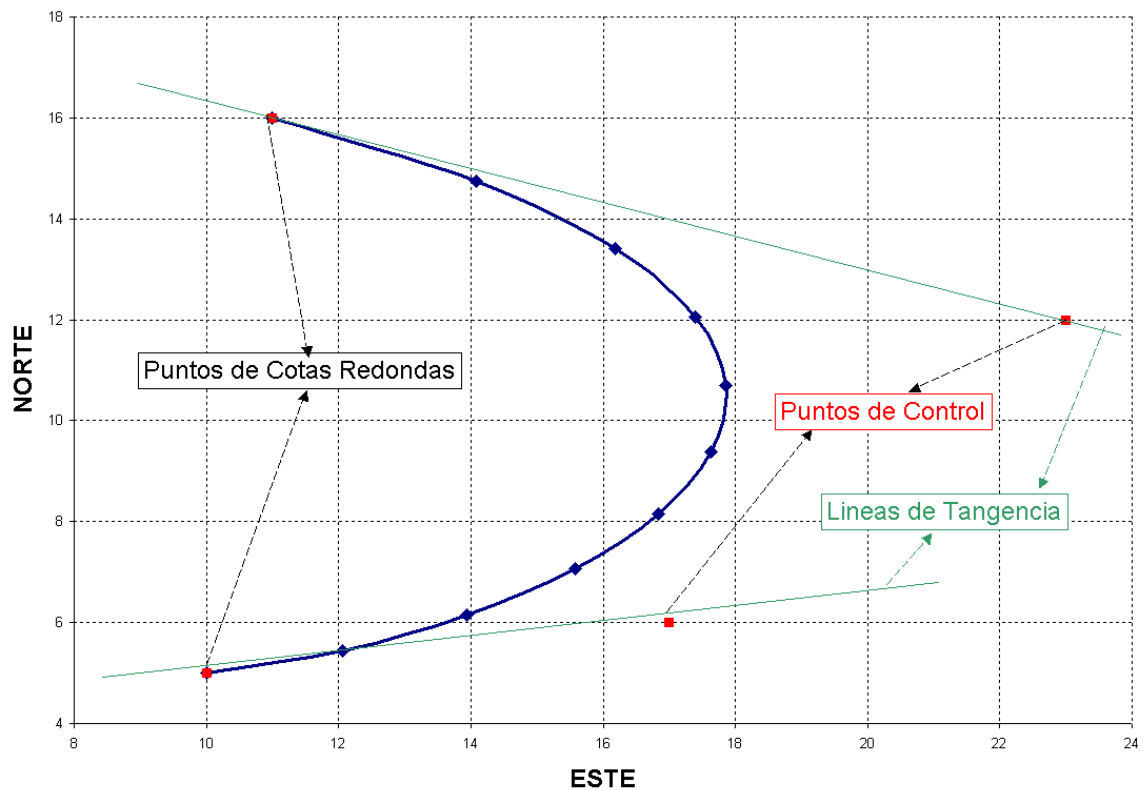


Figura 5.39 Dibujo de la Parábola Cúbica de Bezier calculada -2

Mediante este proceso se realiza el dibujo de todas las parábolas cúbicas de Bezier requeridas para la generación del plano de curvas de nivel.

El resultado final de todo el proceso se presenta en la Figura 5.40

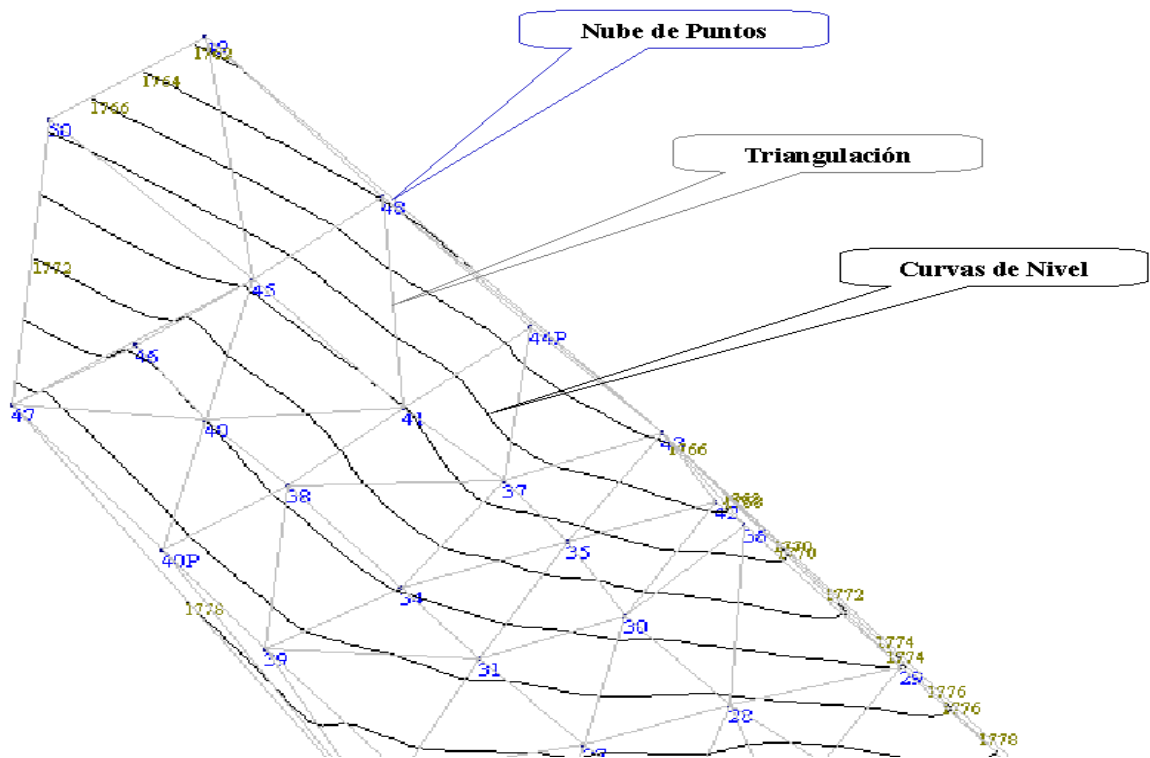


Figura 5.40 Nube de puntos, triangulación e interpolación de curva de nivel

El procedimiento computacional general utilizado para efectuar el proceso de generación de las curvas de nivel puede verse en la Figura 5.39

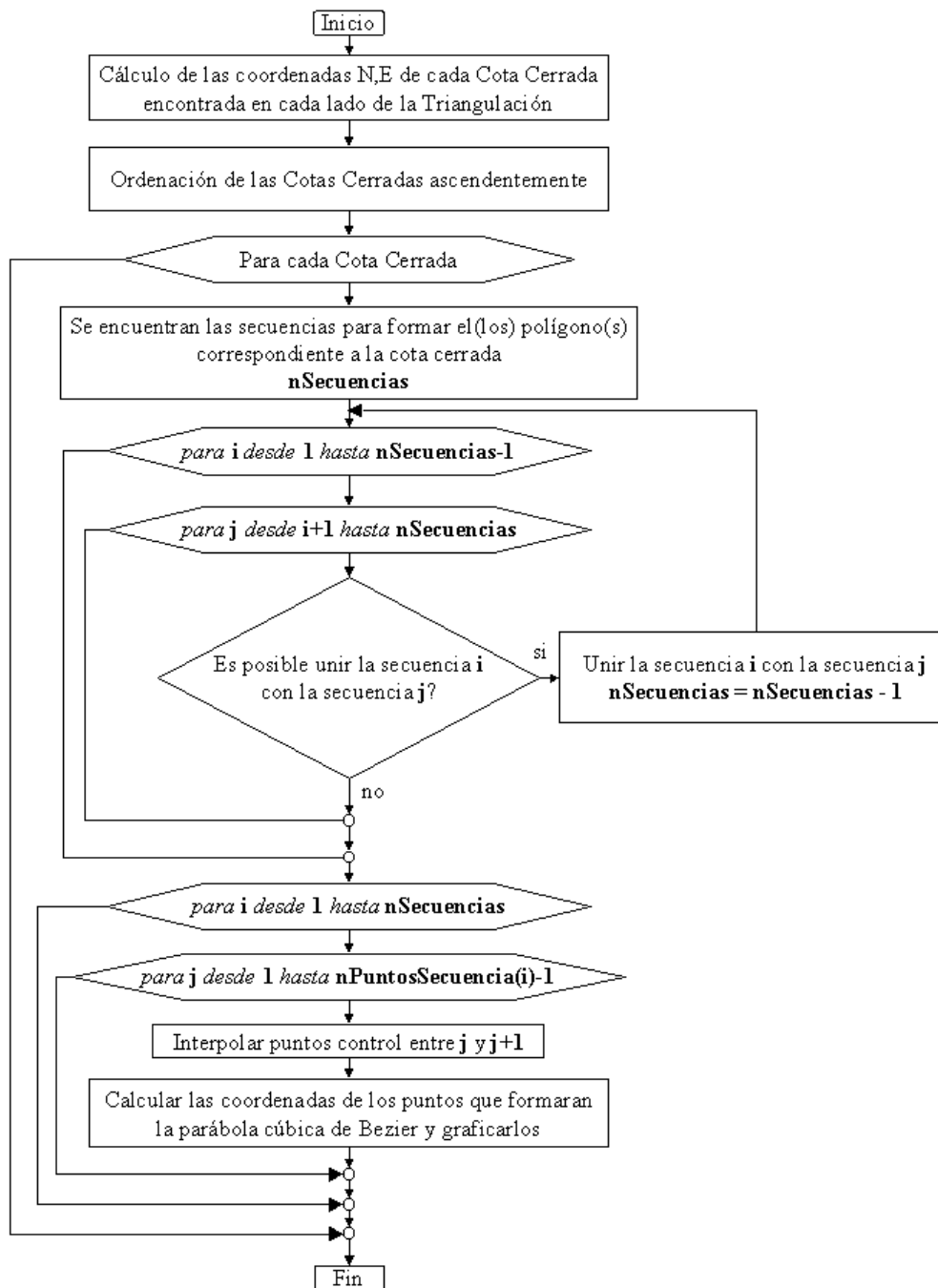


Figura 5.41 Procedimiento computacional para la generación de curvas de nivel

6. EJEMPLOS DE APLICACIÓN DEL SOFTWARE TOPO 1.0

Mediante la aplicación de los conceptos incluidos en los capítulos anteriores de este documento, se desarrolló el programa TOPO, un software que permite realizar cálculos topográficos en ingeniería. A continuación se presentarán tres(3) ejemplos de aplicación, el primer ejemplo se trata de una poligonal abierta levantada con *tránsito* por el método tradicional (deflexiones) nivelada con *nivel de precisión* y toma de topografía realizada con *nivel locke* y *mira*. El segundo es el levantamiento de un terreno mediante una poligonal cerrada tomando detalles al interior y en el contorno del mismo y el tercer ejemplo es el levantamiento de un terreno con *estación total*.

6.1 Poligonal abierta, nivelada y con toma de topografía

Se realizó el levantamiento de un terreno ubicado en el barrio “Los Naranjos” en la ciudad de Popayán(Cauca).

El primer paso para la inclusión de la información al software TOPO es tener las carteras de campo respectivas, las cuales se presentan a continuación:

6.1.1 Carteras de Campo

Cartera de campo de la poligonal abierta levantada por deflexiones

Delta	Abscisa	Distancia (m)	Azimut (g,m,s)	Deflexión (g,m,s, l/D)
9	K0+500.000			
	+490			
	...	54.93		
	+450			
8	K0+445.070			22,11,0 D
	+440			
	...	38.31		
	+410			
7	K0+406.760			109,38,0 D
	+400			
	...			
	+360	63.48		
	+350			
6	K0+343.280			35,21,20 l
	+340			
	...	87.48		
	+260			
5	K0+255.800			118,11,10 l
	+250			
	...	101.78		
	+160			
4	K0+154.020			47,9,20 D
	+150			
	...	35.54		
	+120			
3	K0+118.480			43,40,50 D
	+110			
	...	67.21		
	+060			
2	K0+051.270			57,38,0 D
	+050			
	+040	51.27		
	+030			
	+020			
	+010			
1	K0+000.000		113,45,20	

Cartera de Campo de Nivelación

Abscisa	Punto	V(+)	A.Instr.	V(-)	Vf(-)	Cota
	BM#1	3.659				1700
+000					4.47	
+010					3.89	
+020					2.67	
+030					1.85	
+040					1.11	
+050					1.05	
+051.270					1.05	
+051.270	CM#1	4.221		1.031		
+060					3.18	
+070					2.15	
+080					1.11	
+090					0.21	
+090	CM#2	4.663		0.160		
+100					4.19	
+110					3.70	
+118.480					3.45	
+120					3.27	
+130					1.99	
+140					1.64	
+150					2.26	
+154.020					2.61	
+160					2.30	
+170					1.84	
+170	CM#3	2.330		1.831		
+180					2.24	
+190					2.37	
+200					2.90	
+210					3.84	
+220					4.34	
+230					4.58	
+240					4.55	
+250					4.45	
+255.800					4.14	
+260					3.85	
+270					3.38	
+280					3.11	
+290					2.76	
+300					1.83	
+310					0.77	
+310	CM#4	4.812		0.760		
+320					3.49	
+330					2.16	
+340					0.92	
+343.280					0.60	
+350					0.56	
+360					0.57	
+370					0.31	
+370	CM#5	3.721		0.290		
+380					3.28	
+390					2.55	
+400					1.81	
+406.760					2.53	
+410					2.26	
+420					1.50	
+430					1.80	
+440					2.95	
+445.070					2.97	
+450					2.99	
+460					3.92	
+460	CM#6	1.028		3.907		
+470					1.95	
+480					2.64	
+490					3.04	
+500					4.06	
	BM#2			2.704		

Cartera de Campo de Contranivelación

Punto	V(+)	A.Instr.	V(-)	Cota
BM#2	2.704			1713.751
CM#6	3.842		1.027	
CM#5	0.278		3.659	
CM#4	0.830		4.799	
CM#3	2.126		2.408	
CM#2	0.258		4.959	
CM#1	0.819		4.318	
BM#1			3.445	

Cartera de Campo de Toma de Topografía

IZQUIERDA Cota_Cerrada/Distancia				COTA ABSCISA	DERECHA Cota_Cerrada/Distancia			
		1711.0/7.16	1712.0/1.94	1712.395/500.000	1713.0/2.4	1714.0/6.95	1715.0/11.89	1716.0/17.77
					1717.0/25.07	1718.0/38.32		
				1713.00/493.600				
		1712.0/5.8	1713.0/1.8	1713.415/490.000	1714.0/3.9	1715.0/7.91	1716.0/13.31	1717.0/18.91
					1718.0/24.71	1719.0/34.63		
	1711.0/11.4	1712.0/7.18	1713.0/3.93	1713.815/480.000	1714.0/0.9	1715.0/4.34	1716.0/9.29	1717.0/13.59
					1718.0/18.53	1719.0/23.78	1720.0/38.0	
				1714.00/476.540				
	1712.0/8.46	1713.0/6.4	1714.0/3.08	1714.505/470.000	1715.0/1.26	1716.0/5.95	1717.0/10.11	1718.0/14.08
					1719.0/18.23	1720.0/28.73		
				1715.00/466.600				
	1713.0/7.63	1714.0/4.4	1715.0/1.3	1715.414/460.000	1716.0/2.12	1717.0/6.1	1718.0/9.88	1719.0/14.73
					1720.0/22.28			
				1716.00/453.500				
	1714.0/6.2	1715.0/3.68	1716.0/1.1	1716.344/450.000	1717.0/2.37	1718.0/6.37	1719.0/12.51	1720.0/18.34
	1714.0/5.72	1715.0/3.8	1716.0/1.1	1716.364/445.070	1717.0/2.1	1718.0/5.92	1719.0/13.06	1720.0/24.36
			1716.0/0.69	1716.384/440.000	1717.0/2.08	1718.0/6.28	1719.0/15.12	
				1717.00/439.750				
	1715.0/6.68	1716.0/4.2	1717.0/1.65	1717.534/430.000	1718.0/0.88	1719.0/5.08	1720.0/13.58	
1714.0/9.5	1715.0/7.2	1716.0/5.4	1717.0/3.2	1717.834/420.000	1718.0/0.87	1719.0/6.8	1718.0/19.94	
	1715.0/7.9	1716.0/4.82	1717.0/0.65	1717.074/410.000	1717.0/10.95			
1713.0/16.59	1714.0/11.32	1715.0/6.92	1716.0/3.36	1716.804/406.760				
1709.0/26.68	1710.0/23.97	1711.0/21.07	1712.0/18.83					
			1708.0/30.28					
				1717.00/405.100				
1714.0/17.38	1715.0/12.24	1716.0/7.97	1717.0/3.62	1717.524/400.000	1718.0/3.85	1718.0/18.2		
		1712.0/32.61	1713.0/23.81					
				1717.00/392.620				
1713.0/17.24	1714.0/12.48	1715.0/7.5	1716.0/3.4	1716.784/390.000	1717.0/1.64	1718.0/5.34	1719.0/10.2	1720.0/27.9
		1711.0/34.96	1712.0/25.54					
1713.0/15.02	1714.0/9.48	1715.0/4.76	1716.0/0.7	1716.054/380.000	1717.0/2.9	1718.0/6.7	1719.0/10.2	1720.0/16.82
	1710.0/37.85	1711.0/27.45	1712.0/20.45		1720.0/26.22			
				1716.00/379.000				
1712.0/15.72	1713.0/11.2	1714.0/5.99	1715.0/1.98	1715.593/370.000	1716.0/1.49	1717.0/5.46	1718.0/8.79	1719.0/12.82
		1710.0/31.05	1711.0/22.73		1720.0/20.46	1720.0/27.11		
1712.0/15.07	1713.0/9.64	1714.0/5.36	1715.0/1.1	1715.333/360.000	1716.0/2.49	1717.0/5.89	1718.0/11.33	1719.0/17.53
	1709.0/38.46	1710.0/27.46	1711.0/20.82		1720.0/22.73	1720.0/33.19		
1712.0/14.73	1713.0/9.97	1714.0/5.94	1715.0/1.54	1715.343/350.000	1716.0/2.93	1717.0/6.86	1718.0/15.41	1720.0/17.12
	1709.0/32.14	1710.0/25.51	1711.0/19.65		1719.0/22.88	1720.0/38.78		
				1715.303/343.280	1716.0/2.84	1717.0/10.68	1718.0/19.96	1719.0/29.49
				1715.00/340.050				

IZQUIERDA Cota_Cerrada/Distancia				COTA ABSCISA	DERECHA Cota_Cerrada/Distancia			
1711.0/22.94	1712.0/16.69	1713.0/10.37	1714.0/4.52	1714.983/340.000	1715.0/0.05	1716.0/6.48	1717.0/18.58	1718.0/32.62
			1710.0/31.87					
				1714.00/332.890				
1710.0/22.18	1711.0/15.46	1712.0/9.31	1713.0/3.27	1713.743/330.000	1714.0/0.97	1715.0/5.54	1716.0/15.11	1717.0/29.81
			1709.0/32.04					
				1713.00/324.460				
1709.0/22.3	1710.0/14.34	1711.0/8.6	1712.0/2.73	1712.413/320.000	1713.0/3.33	1714.0/6.61	1715.0/13.26	1716.0/21.19
					1717.0/31.39			
1708.0/27.97	1709.0/14.64	1710.0/5.62	1711.0/0.4	1711.081/310.000	1712.0/4.3	1713.0/8.13	1714.0/12.76	1715.0/18.72
					1716.0/26.42	1717.0/34.69		
				1711.00/309.240				
1708.0/50.36	1708.0/18.84	1709.0/6.84	1710.0/0.29	1710.021/300.000	1711.0/4.38	1712.0/9.2	1713.0/13.95	1714.0/20.55
					1715.0/26.66	1716.0/32.8		
				1710.00/299.000				
	1708.0/43.27	1708.0/10.63	1709.0/1.47	1709.091/290.000	1710.0/5.26	1711.0/9.79	1712.0/14.31	1713.0/18.66
					1714.0/23.87	1715.0/28.65	1716.0/33.96	
				1709.00/287.620				
		1708.0/39.28	1708.0/6.43	1708.741/280.000	1709.0/2.32	1710.0/7.35	1711.0/11.01	1712.0/14.53
					1713.0/19.47	1714.0/26.42	1715.0/36.22	
		1708.0/34.77	1708.0/4.0	1708.471/270.000	1709.0/3.48	1710.0/7.16	1711.0/10.91	1712.0/15.88
					1713.0/24.66	1714.0/30.84		
			1709.0/33.4	1708.001/260.000	1709.0/3.92	1710.0/7.83	1711.0/13.51	1712.0/23.43
				1707.711/255.800	1708.0/17.05			
1711.0/34.38	1710.0/26.87	1709.0/18.65	1708.0/7.3	1707.401/250.000	1708.0/42.67			
		1709.0/29.7	1708.0/17.5	1707.301/240.000	1708.0/25.7	1709.0/43.04		
		1709.0/36.84	1708.0/24.94	1707.271/230.000	1708.0/18.35	1709.0/26.97	1710.0/33.41	
			1708.0/30.91	1707.511/220.000	1708.0/8.28	1709.0/14.51	1710.0/20.51	1711.0/26.27
					1712.0/34.11			
				1708.00/210.020				
		1709.0/31.2	1708.0/0.27	1708.011/210.000	1709.0/5.77	1710.0/11.2	1711.0/16.54	1712.0/22.64
					1713.0/29.69			
		1708.0/33.34	1708.0/6.3	1708.951/200.000	1709.0/0.54	1710.0/5.07	1711.0/10.16	1712.0/16.5
					1713.0/23.18	1714.0/31.33		
				1709.00/197.790				
	1708.0/33.95	1708.0/11.09	1709.0/2.62	1709.481/190.000	1710.0/2.62	1711.0/7.4	1712.0/13.64	1713.0/20.32
					1714.0/27.96	1715.0/37.45		
	1708.0/36.94	1708.0/12.3	1709.0/4.2	1709.611/180.000	1710.0/2.37	1711.0/6.89	1712.0/12.24	1713.0/19.49
					1714.0/27.91	1715.0/35.96		
	1708.0/34.98	1708.0/9.83	1709.0/3.3	1709.512/170.000	1710.0/2.2	1711.0/6.72	1712.0/12.17	1713.0/18.65
					1714.0/25.45	1715.0/33.92		
1708.0/40.1	1707.0/21.05	1708.0/6.85	1709.0/0.48	1709.052/160.000	1710.0/4.27	1711.0/9.97	1712.0/15.15	1713.0/20.95
			1708.0/41.1		1714.0/29.25	1715.0/41.59		
				1709.00/156.200				
1709.0/34.3	1708.0/25.05	1707.0/10.95	1708.0/3.65	1708.742/154.020				

IZQUIERDA Cota_Cerrada/Distancia				COTA ABSCISA	DERECHA Cota_Cerrada/Distancia			
				1709.00/151.050				
1706.0/26.3	1707.0/10.94	1708.0/5.82	1709.0/0.72	1709.092/150.000	1710.0/4.55	1711.0/10.3	1712.0/15.67	1713.0/23.69
			1705.0/52.87		1714.0/34.91			
1706.0/18.17	1707.0/12.22	1708.0/7.8	1709.0/3.42	1709.712/140.000	1710.0/1.2	1711.0/6.02	1712.0/12.07	1713.0/18.32
					1714.0/25.74	1715.0/35.79		
1706.0/15.64	1707.0/11.1	1708.0/6.27	1709.0/2.18	1709.362/130.000	1710.0/2.55	1711.0/6.82	1712.0/11.65	1713.0/17.55
		1704.0/53.06	1705.0/26.99		1714.0/24.18	1715.0/32.87		
				1709.00/126.920				
1705.0/23.89	1706.0/13.4	1707.0/7.62	1708.0/0.95	1708.082/120.000	1709.0/6.05	1710.0/10.95	1711.0/15.4	1712.0/19.36
			1704.0/42.8		1713.0/24.0	1714.0/29.11	1715.0/37.01	
				1708.00/119.290				
1704.0/31.45	1705.0/18.5	1706.0/10.1	1707.0/4.5	1707.902/118.480				
1706.0/8.3	1706.0/8.3	1707.0/2.9	1707.0/2.9	1707.652/110.000	1708.0/1.3	1709.0/5.37	1710.0/9.07	1711.0/12.14
1704.0/24.66	1704.0/24.63	1705.0/15.23	1705.0/15.23		1712.0/15.39	1713.0/18.94	1714.0/25.82	1715.0/39.24
		1703.0/36.02	1703.0/36.02					
1704.0/18.87	1705.0/10.02	1706.0/4.62	1707.0/0.62	1707.162/100.000	1708.0/2.93	1709.0/6.6	1710.0/9.58	1711.0/12.36
			1703.0/30.85		1712.0/15.02	1713.0/18.25	1714.0/22.58	1715.0/30.74
				1707.00/95.920				
1703.0/26.63	1704.0/14.68	1705.0/7.37	1706.0/2.3	1706.639/90.000	1707.0/1.1	1708.0/4.07	1709.0/7.13	1710.0/9.79
			1702.0/46.83		1711.0/12.39	1712.0/15.04	1713.0/18.39	1714.0/23.22
					1715.0/27.57	1716.0/36.1		
				1706.00/82.400				
1702.0/32.36	1703.0/18.1	1704.0/8.92	1705.0/2.73	1705.739/80.000	1706.0/0.94	1707.0/3.63	1708.0/6.2	1709.0/8.72
					1710.0/11.72	1711.0/15.02	1712.0/18.18	1713.0/21.65
					1714.0/26.51	1715.0/34.81		
				1705.00/72.800				
1701.0/41.04	1702.0/21.0	1703.0/10.6	1704.0/3.56	1704.699/70.000	1705.0/1.91	1706.0/5.03	1707.0/7.61	1708.0/10.25
					1709.0/13.27	1710.0/16.87	1711.0/20.83	1712.0/25.83
					1713.0/33.63			
				1704.00/64.200				
	1701.0/30.04	1702.0/17.75	1703.0/5.56	1703.669/60.000	1704.0/1.58	1705.0/6.3	1706.0/9.72	1707.0/13.82
					1708.0/19.01	1709.0/24.47	1710.0/32.32	
				1703.00/53.740				
	1700.0/32.24	1701.0/15.69	1702.0/4.09	1702.609/51.270	1703.0/1.21	1704.0/6.36	1705.0/11.14	1706.0/14.52
					1707.0/17.41			
	1700.0/26.43	1701.0/13.0	1702.0/3.47	1702.609/50.000	1703.0/2.61	1704.0/6.86	1705.0/11.26	1706.0/14.37
					1707.0/17.32	1708.0/19.86	1709.0/23.29	1710.0/26.2
					1711.0/29.4	1712.0/33.15		
1699.0/37.19	1700.0/23.19	1701.0/10.55	1702.0/2.51	1702.549/40.000	1703.0/1.88	1704.0/6.68	1705.0/9.9	1706.0/12.67
					1707.0/14.99	1708.0/17.35	1709.0/20.5	1710.0/23.24
					1711.0/26.72	1712.0/30.04		
				1702.00/32.150				
	1699.0/30.63	1700.0/13.7	1701.0/4.25	1701.809/30.000	1702.0/0.95	1703.0/5.39	1704.0/8.56	1705.0/11.68
					1706.0/14.45	1707.0/17.35	1708.0/20.48	1709.0/23.24
					1710.0/25.6	1711.0/28.47	1712.0/31.65	
				1701.00/20.400				
	1698.0/31.21	1699.0/17.69	1700.0/7.73	1700.989/20.000	1701.0/0.05	1702.0/4.85	1703.0/9.66	1704.0/12.9
					1705.0/15.88	1706.0/19.16	1707.0/21.73	1708.0/24.83

IZQUIERDA Cota_Cerrada/Distancia				COTA ABSCISA	DERECHA Cota_Cerrada/Distancia			
					1709.0/27.57	1710.0/30.34		
				1700.00/11.020				
1697.0/42.84	1698.0/23.54	1699.0/9.2	1699.769/10.000	1700.0/1.5	1701.0/5.66	1702.0/10.56	1703.0/14.66	
				1704.0/17.86	1705.0/21.46	1706.0/24.43	1707.0/27.15	
1697.0/36.0	1698.0/16.4	1699.0/2.7	1699.189/0.000	1700.0/7.36	1701.0/12.34	1702.0/18.2	1703.0/23.28	
				1704.0/26.92	1705.0/31.1			

6.1.2 Entrada de datos al programa “TOPO”

El primer paso para digitar la información de campo al programa TOPO, es la creación del proyecto y el subproyecto, que describirán el trabajo a realizar y ubicarán los datos de campo en un lugar específico del computador.



6.1.2.1 Datos necesarios para la creación del proyecto

La información requerida para la creación del proyecto es la siguiente:

Variable	Valor a incluir en el programa
Código Proyecto	<i>Ejemplo1</i>
Descripción General	<i>Proyecto de Topografía</i>
Descripción Detallada	<i>Poligonal Abierta, Nivelada y con Toma de Topografía</i>
Ubicación	<i>Loma de barrio Los Naranjos, Popayán(Cauca)</i>
Entidad Contratante	<i>Universidad del Cauca, Facultad de Ingeniería Civil</i>
Entidad Responsable	<i>Estudiantes Asignatura VIAS I</i>
Ingeniero Responsable	<i>EFRAIN SOLANO</i>
Fecha de Inicio	<i>28-AGO-2002</i>
Fecha de Entrega	<i>15-OCT-2002</i>
Carpeta de Datos	<i>C:\EJEMPLO1</i>

Una presentación de la pantalla del computador con la información anterior incluida se presenta a continuación:

PROYECTOS

Código Proyecto : EJEMPLO1

Descripción General : PROYECTO DE TOPOGRAFIA

Descripción Detallada : Poligonal Abierta, Nivelada y con Toma de Topografía

Ubicación : Loma de barrio Los Naranjos, Popayán(Cauca)

Entidad Contratante : Universidad del Cauca, Facultad de Ingeniería Civil

Entidad Responsable : Estudiantes Asignatura VIAS I

Ingeniero Responsable : EFRAIN SOLANO

Carpeta de Datos : C:\EJEMPLO1

Fecha Inicio (dma) : 28/08/2002

Fecha Entrega : 15/10/2002



 

Figura 6.1 Ventana para la creación del proyecto

6.1.2.2 Datos necesarios para la creación del subproyecto



La información requerida para la creación del subproyecto es la siguiente:

Variable	Valor a incluir en el programa
Código Subproyecto	1
Descripción Subproyecto	<i>Poligonal Abierta, Nivelada y con Toma de Topografía</i>
Tipo	<i>Poligonal</i>
Ingeniero Responsable	<i>Estudiantes de Vías I, FIC-UNICAUCA</i>
Fecha de Inicio	<i>28-AGO-2002</i>
Fecha de Entrega	<i>15-OCT-2002</i>
Incremento en Abscisado	10
Intervalo Curvas de Nivel	1
Precisión Equipo (sg)	20
Tipo Poligonal	<i>Abierta</i>
Forma de Medición de Distancias	<i>Distancia con Cinta</i>
Forma de Medición de Ángulos	<i>Deflexiones</i>
Código Delta Inicial	1
Código Delta Final	9
Número de Deltas	9
Código BM Inicial	1
Código BM Final	2
Precisión Nivelación	20
COORDENADAS DELTA INICIAL	
Forma de Cálculo	<i>Coordenadas</i>
Coordenada Norte	1000
Coordenada Este	1000
Cota	0

SUBPROYECTOS [p.EJEMPL01]

Código Subproyecto : 1

Descripción Subproyecto : Poligonal Abierta, Nivelada y con Toma de Topografía

Tipo : 1. Poligonal 2. Radiación 3. Coordenadas

Ingeniero Responsable : Estudiantes de Vias I, FIC-UNICAUCA

Fecha Inicio (dma) : 28/08/2002 Fecha Entrega : 15/10/2002

Incremento Abscisado : 10 Intervalo Curvas de Nivel : 1 Precisión Equipo (sg) : 20

1. Poligonal

Tipo Poligonal : 1. Abierta 2. Cerrada

Forma de Medición de Distancias : 1. Distancia con Cinta

Forma de Medición de Anulos : 2. Deflexiones

Código Delta Inicial : 1 Código Delta Final : 9

Número de Deltas : 9

Código BM Inicial : 1 BM Final : 2 Precisión Nivelación : 20 *K*0.5



  Coordenadas Delta ó Foco Inicial

Figura 6.2 Ventana para la creación del Subproyecto

COORDENADAS DELTA ó FOCO INICIAL

Forma de Cálculo : 1. Coordenadas

Coordenada Norte : 1000

Coordenada Este : 1000

Cota : 0

Código Subproyecto :

Tipo de Punto Ubicación Equipo : 1. Delta, Foco ó Nodo

Código Delta-Foco-Nodo :

Tipo de Punto de Amarre : 1. Delta, Foco ó Nodo

Código Delta-Foco-Nodo Amarre :

Azimet Punto_Equipo a Delta_Inicial (g,m,s) : 0,0,0

Distancia Punto_Equipo a Delta Inicial (m) : 0

Cerrar

Figura 6.3 Ventana para la entrada de coordenadas Iniciales del Delta Inicial

6.1.2.3 Datos Poligonal Abierta

Antes de incluir la poligonal al sistema se deben codificar todos los alineamientos de la poligonal, se recomienda codificarlos con una numeración consecutiva, es decir, si la poligonal tiene 9 deltas, entonces el primer alineamiento (del delta 1 al delta 2) tendrá como código 1 y el último alineamiento (del delta 8 al delta 9) tendrá como código 8.

Para el ejercicio se presentara la información requerida para incluir el alineamiento #1, el #5 y el #8 al programa TOPO.

Alineamiento #1

Variable	Valor a incluir en el programa
Código Alineamiento	1
Delta Inicial	1
Delta Final	2
Forma de Medición de Distancias	<i>Distancia con Cinta</i>
Distancia (m)	51.27
Forma de Medición de Ángulos	<i>Azimuthes Directos</i>
Azimuth (g,m,s)	113,45,20

POLIGONAL [p:EJEMPLO1 subp:1]

Código Alineamiento : 1

Delta Inicial : 1 Delta Final : 2

Forma de Medición de Distancias : 1. Distancia con Cinta

Distancia (m) : 51.27

Forma de Medición de Ángulos : 1. Azimutes Directos

Azimut (g,m,s) : 113,45,20

Figura 6.4 Entrada del Alineamiento #1

Alineamiento #5

Variable	Valor a incluir en el programa
Código Alineamiento	5
Delta Inicial	5
Delta Final	6
Forma de Medición de Distancias	<i>Distancia con Cinta</i>
Distancia (m)	87.48
Forma de Medición de Ángulos	<i>Deflexiones</i>
Azimut (g,m,s)	<i>118,11,10,I</i>
Tipo de Punto Amarre	<i>Delta</i>
Código Punto Amarre	4

POLIGONAL [p:EJEMPLO1 subp:1]

Código Alineamiento : 5

Delta Inicial : 5 Delta Final : 6

Forma de Medición de Distancias : 1. Distancia con Cinta

Distancia (m) : 87.48

Forma de Medición de Ángulos : 2. Deflexiones

Deflexión (g,m,s,I/D) : 118,11,10,I

Tipo de Punto Amarre : 1. Delta

Código Delta Amarre : 4

Figura 6.5 Entrada del Alineamiento # 5

Alineamiento #8

Variable	Valor a incluir en el programa
Código Alineamiento	8
Delta Inicial	8
Delta Final	9
Forma de Medición de Distancias	<i>Distancia con Cinta</i>
Distancia (m)	54.93
Forma de Medición de Ángulos	<i>Deflexiones</i>
Azimut (g,m,s)	22,11,0,D
Tipo de Punto Amarre	<i>Delta</i>
Código Punto Amarre	7

Figura 6.6 Entrada del Alineamiento # 8

6.1.2.4 Datos Nivelación de la Poligonal Nivelación Poligonal

El sistema genera automáticamente el abscisado a nivelar teniendo en cuenta el incremento en abscisado definido en el área del subproyecto, las líneas adicionales a incluir en esta parte son las de control (BM's, Cambios) lo cual se realiza incluyendo nuevas líneas con la función F5.

La información a digitar se presenta a continuación:

BM Inicial

Variable	Valor a incluir en el programa
Abscisa	0
Tipo Punto	BM
Código	1
V(+)	3.659
Cota	1700

Abscisa 30

Variable	Valor a incluir en el programa
VI(-)	1.85

Cambio #1 Abscisa 51.27

Para el cambio se debe insertar una nueva línea presionando la tecla F5.

Variable	Valor a incluir en el programa
Abscisa	51.27
Tipo Punto	CM
Código	1
V(+)	4.221
V(-)	1.031

Abscisa 80

Variable	Valor a incluir en el programa
VI(-)	1.11

Una presentación de la pantalla del programa se muestra a continuación:

The screenshot shows a software window titled 'NIVELACION POLIGONAL [pr:EJEMPL01 subp:1]' with a menu bar containing 'Utilidades' and 'Edición'. The main area is a table with the following data:

#	Abscisa	Tipo Punto	Código	V(+)	V(-)	VI(-)	Cota	Observación
1	0	BM	1	3.659	0		1700	
2	0					4.47		
3	10					3.89		
4	20					2.67		
5	30					1.85		
6	40					1.11		
7	50					1.05		
8	51.27					1.05		
9	51.27	CM	1	4.221	1.031			
10	60					3.18		
11	70					2.15		
12	80					1.11		
13	90					0.21		
14	90	CM	2	4.663	0.16			
15	100					4.19		
16	110					3.7		
17	118.48					3.45		
18	120					3.27		

Figura 6.7 Ventana para la entrada de datos de Nivelación

6.1.2.5 Datos de Contranivelación de la Poligonal

Para incluir la contranivelación de la poligonal en el sistema se debe hacer click con el mouse en el menú UTILIDADES/CONTRANIVELACION ó Ctrl-C.

La información a digitar se presenta a continuación:

BM Final

Variable	Valor a incluir en el programa
Tipo Punto	BM
Código	2
V(+)	2.704
Cota	1713.751

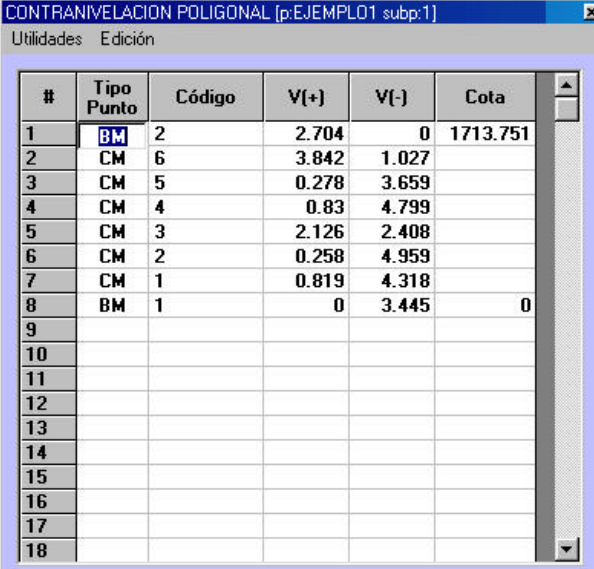
Cambio #5

Variable	Valor a incluir en el programa
Tipo Punto	CM
Código	5
V(+)	0.278
V(-)	3.659

BM Inicial

Variable	Valor a incluir en el programa
Tipo Punto	BM
Código	1
V(-)	3.445

Una presentación de la pantalla del programa se muestra a continuación:



The screenshot shows a software window titled "CONTRANIVELACION POLIGONAL [p:EJEMPLO1 subp:1]". Below the title bar are the menu options "Utilidades" and "Edición". The main area contains a table with the following data:

#	Tipo Punto	Código	V(+)	V(-)	Cota
1	BM	2	2.704	0	1713.751
2	CM	6	3.842	1.027	
3	CM	5	0.278	3.659	
4	CM	4	0.83	4.799	
5	CM	3	2.126	2.408	
6	CM	2	0.258	4.959	
7	CM	1	0.819	4.318	
8	BM	1	0	3.445	0
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					

Figura 6.8 Ventana para la entrada de datos de Contranivelación

6.1.2.6 Datos de Toma de Topografía

Para incluir los datos de la toma de topografía en el sistema se debe hacer click con el mouse en el menú UTILIDADES/TOMA DE TOPOGRAFÍA ó Ctrl-T.

La información a digitar se presenta a continuación:

Se debe especificar que tipo de transversal se va a realizar

- 1. Transversal en Abscisa
- 2. Bisectriz en Delta
- 3. Transversal Adelante

y

luego digitar las cotas y distancias a izquierda y derecha de la poligonal

La entrada de datos para la transversal en la abscisa 60 se presenta a continuación:

IZQUIERDA			DERECHA		
#	Cota	Distancia (m)	#	Cota	Distancia (m)
1	1703	5.56	1	1704	1.58
2	1702	17.75	2	1705	6.3
3	1701	30.04	3	1706	9.7200
4			4	1707	13.82
5			5	1708	19.01
6			6	1709	24.47
7			7	1710	32.32
8			8		
9			9		
10			10		
11			11		
12			12		
13			13		
14			14		
15			15		
16			16		
17			17		

Figura 6.9 Ventana para la entrada de datos de toma de topografía

La entrada de datos para la bisectriz en la abscisa 118.48 (Delta #3) se presenta a continuación:

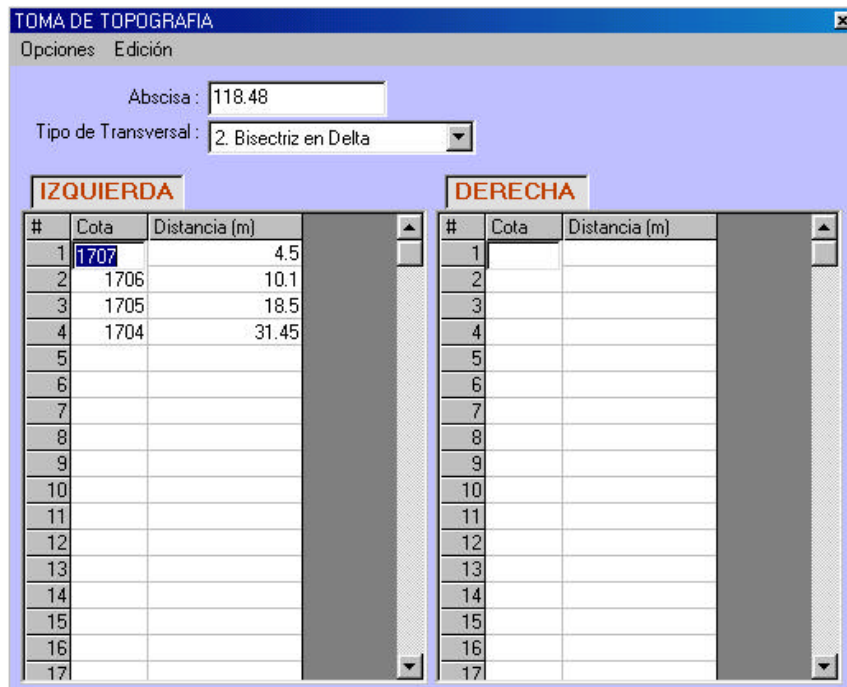

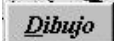


Figura 6.10 Ventana para la entrada de datos de bisectriz en delta

6.1.2.7 Cálculos : Este es un proceso que permite calcular las coordenadas de los deltas de la poligonal, las cotas de cada una de las abscisas y las coordenadas de todos los puntos pertenecientes a la toma de topografía.

6.1.2.8 Dibujo : Muestra un gráfico en pantalla de la poligonal y permite la graficación de las curvas de nivel del terreno haciendo click en la opción MODELO DIGITAL/TRIANGULAR E INTERPOLAR CURVAS DE NIVEL ó F7 ó en el botón



el software permite la generación de las curvas de nivel del terreno y especificando los parámetros necesarios se obtiene el siguiente resultado:

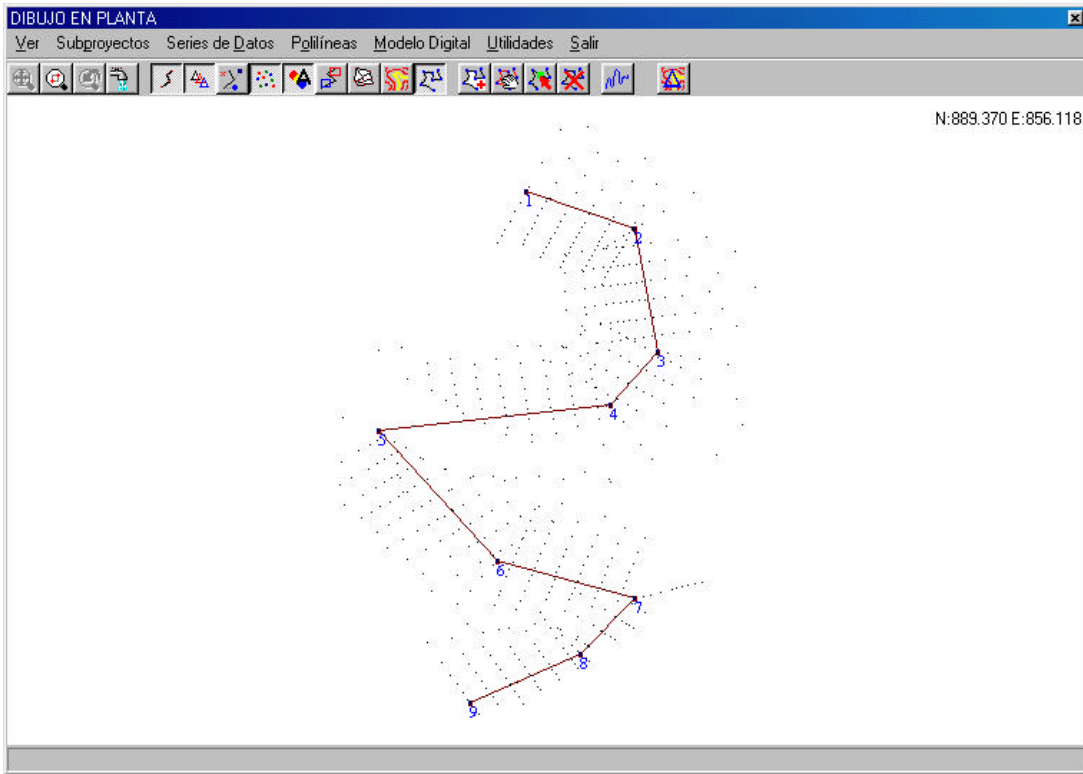


Figura 6.11 Presentación del dibujo

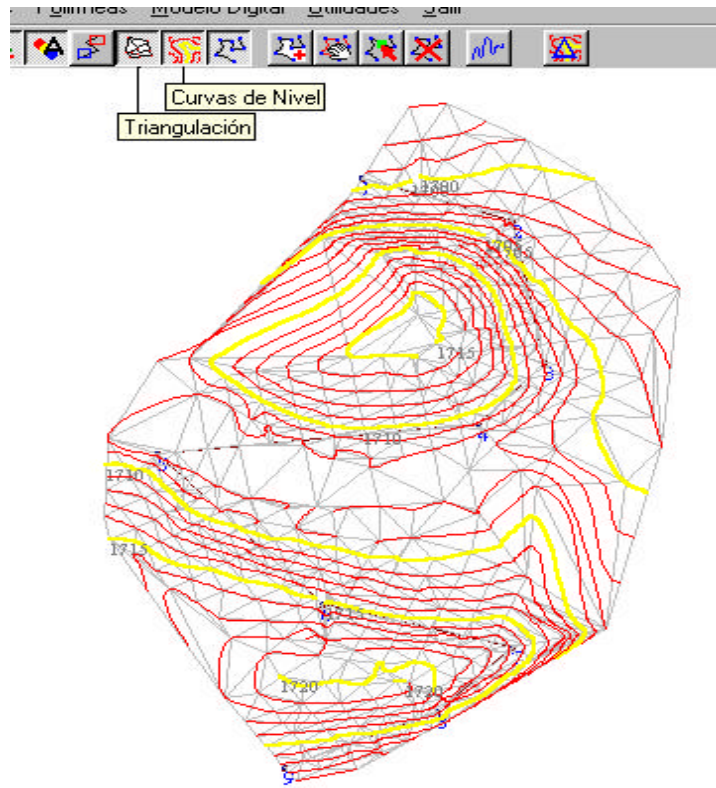


Figura 6.12 Curvas de Nivel y Triangulación del Terreno

6.2 Poligonal cerrada con detalles

Para este ejemplo de aplicación se realizó el levantamiento topográfico de las residencias universitarias 11 de noviembre, ubicadas en el sector de Tulcán en la ciudad de Popayán.

El primer paso para la inclusión de la información al software TOPO es tener la cartera de campo respectiva, las cuales se presentan a continuación:

6.2.1 Cartera de Campo Poligonal Cerrada y Detalles

Delta	Abscisa	Distancia	Azimut	Detalle	Azimut Detalle	Distancia Detalle	Observación
2							
1	K0+158.290		114,27,0				
	+150	28.79					
	+140						
	+130						
				5H	331,51,30	37.56	lindero
				5G	322,42,20	37.08	lindero
				5F	86,29,10	15.48	edificación
				5E	93,16,50	16.04	edificación
				5D	102,14,30	11.36	edificación
				5C	122,13,0	15.05	edificación
				5B	126,56,0	16.71	edificación
				5A	143,52,30	14.23	edificación
5	K0+129.500		52,47,50				
	+120						
	+110	34.5					
	+100						
				4H	182,43,0	7.15	lindero
				4G	334,12,0	14.63	edificación
				4F	354,20,0	14.82	edificación
				4E	355,46,0	12.4	edificación
				4D	24,50,30	16.65	edificación
				4C	31,43,30	18.8	edificación
				4B	40,31,40	22.85	edificación
				4A	44,46,30	21.83	edificación
4	K0+095.000		331,43,0				
	+090						
	+080						
	+070	39.54					
	+060						
				3J	170,37,20	19.9	lindero

Delta	Abscisa	Distancia	Azimut	Detalle	Azimut Detalle	Distancia Detalle	Observación
				3I	168,40,0	17.88	lindero
				3H	148,13,10	6.62	lindero
				3G	17,7,48	7.63	lindero
				3F	343,49,0	16.94	caseta
				3E	336,44,50	17.15	caseta
				3D	323,4,30	12.6	anden
				3C	316,39,0	13.52	edificación
				3B	303,25,30	15.75	edificación
				3A	297,43,30	16.92	edificación
3	K0+055.460		255,25,0				
	+050						
	+040	26.36					
	+030						
				2Q	148,49,0	10.82	lindero
				2P	135,17,20	5.76	lindero
				2N	115,57,10	3.7	lindero
				2M	181,17,50	7.16	caseta
				2L	195,56,0	7.97	caseta
				2K	217,23,50	8.32	anden
				2J	217,22,0	10.4	edificación
				2I	220,14,10	11.11	edificación
				2H	233,2,20	7.17	anden
				2G	238,15,0	6.99	anden
				2F	239,59,40	7.93	anden
				2E	240,9,50	9.48	edificación
				2D	278,50,0	8.58	anden
				2C	275,11,30	9.55	edificación
				2B	326,13,0	10.05	poste
				2A	27,32,30	4.04	lindero
2	K0+029.100		168,37,0				
	+020						
	+010	29.1					
				1F	147,20,0	16.09	edificación
				1E	149,8,10	18.1	edificación
				1D	165,37,30	17.46	edificación
				1C	175,9,20	18.05	edificación
				1B	178,26,10	14.05	edificación
				1A	22,29,30	33.82	lindero
1	K0+000.000		114,26,0				

6.2.2 Entrada de datos al programa “TOPO”

El primer paso para digitar la información de campo al programa TOPO, es la creación del proyecto y el subproyecto, que describirán el trabajo a realizar y ubicarán los datos de campo en un lugar específico del computador. Un detalle de la información introducida se presenta a continuación:

PROYECTOS

Código Proyecto : EJEMPLO2

Descripción General : POLIGONAL CERRADA CON DETALLES

Descripción Detallada : Poligonal cerrada por azimutes directos con detalles

Ubicación : Residencias universitarias 11 de noviembre, Tulcan, Popayán

Entidad Contratante : Universidad del Cauca

Entidad Responsable : Estudiantes Topografía 1 FIC

Ingeniero Responsable : Nubia Fernandez de Martinez

Carpeta de Datos : C:\EJEMPLO2\

Fecha Inicio (dma) : 28/08/2002

Fecha Entrega : 28/10/2002

Figura 6.13 Ventana para la creación del proyecto

SUBPROYECTOS [p:EJEMPLO2]

Código Subproyecto : DATOS

Descripción Subproyecto : Poligonal Cerrada con Detalles

Tipo : 1. Poligonal 2. Radiación 3. Coordenadas

Ingeniero Responsable : Jhon Fredy Vargas

Fecha Inicio (dma) : 29/09/2002 Fecha Entrega : 14/10/2002

Incremento Abscisado : 10 Intervalo Curvas de Nivel : 1 Precisión Equipo (sg) : 60

1. Poligonal

Tipo Poligonal : 1. Abierta 2. Cerrada

Procedimiento de Ajuste : A. Proporcional Proyecciones Precisión Cierre (1:?) : 1000

Forma de Medición de Distancias : 2. Abscisas en Deltas

Forma de Medición de Anqulos : 1. Azimutes Directos

Código Delta Inicial : 1 Código Delta Final : 5

Número de Deltas : 5

Código BM Inicial : BM Final : Precisión Nivelación : 20 *K=0.5

Figura 6.14 Ventana para la creación del Subproyecto

Figura 6.15 Ventana para la entrada de coordenadas del Delta Inicial

6.2.2.1 Datos Poligonal Cerrada *Poligonal*: Antes de incluir la poligonal al sistema se deben codificar todos los alineamientos de la poligonal, se recomienda codificarlos con una numeración consecutiva, es decir, si la poligonal tiene 5 deltas, entonces el primer alineamiento (del delta 1 al delta 2) tendrá como código 1 y el último alineamiento (del delta 5 al delta 1) tendrá como código 5. Como la poligonal es cerrada se debe crear un sexto alineamiento (del delta 1 al delta 2) en donde se almacenará el ángulo de cierre.

Como ejercicio se dará ejemplo de la información requerida para incluir el alineamiento #1, el #3 y el #6 al programa TOPO.

Alineamiento #1

Variable	Valor a incluir en el programa
Código Alineamiento	1
Delta Inicial	1
Delta Final	2
Forma de Medición de Distancias	Abscisas en Deltas
Abscisa Delta Inicial	0
Abscisas Delta Final	29.1
Forma de Medición de Ángulos	Azimuthes Directos
Azimuth (g,m,s)	114,26,0

Figura 6.16 Entrada del alineamiento #1

Alineamiento #3

Variable	Valor a incluir en el programa
Código Alineamiento	3
Delta Inicial	3
Delta Final	4
Forma de Medición de Distancias	Abscisas en Deltas
Abscisa Delta Inicial	55.46
Abscisas Delta Final	95
Forma de Medición de Ángulos	Azimuthes Directos
Azimuth (g,m,s)	255,25,0

Figura 6.17 Entrada del alineamiento #3

Alineamiento #6

Variable	Valor a incluir en el programa
Código Alineamiento	6
Delta Inicial	1
Delta Final	2
Forma de Medición de Distancias	<i>Abscisas en Deltas</i>
Abscisa Delta Inicial	0
Abscisas Delta Final	29.1
Forma de Medición de Ángulos	<i>Azimutes Directos</i>
Azimut (g,m,s)	114,27,0
Alineamiento de Cierre	SI

Figura 6.18 Entrada del alineamiento # 6 o alineamiento de Cierre

6.2.2.2 Datos Detalles Poligonal Cerrada *Detalles Poligonal*: A continuación se presenta un ejemplo de cómo digitar los detalles contenidos en la cartera de campo.

Detalle 2E

Variable	Valor a incluir en el programa
Código Detalle	2E
Descripción	Edificación
Identificador	e
Tipo Punto Ubicación Equipo	Delta
Código Delta	2
Forma de levantamiento	Radiación
Tipo de Angulo	Azimut
Azimut (g,m,s)	240,9,50
Forma de Medición de Distancias	Distancia con Cinta
Distancia(m)	9.48

DETALLES POLIGONAL [p:EJEMPLO2 subp:DATOS]

Código Detalle : 2E

Descripción : edificacion Identificador : e

Tipo Punto Ubicación Equipo : 1. Delta Código Delta : 2

Forma de Levantamiento : 1. Radiación Forma de Medición de Distancias : 1. Distancia con Cinta

Tipo de Angulo : 1. Azimut

Azimut (g,m,s) : 240.9.50

Distancia (m) : 9.48

Figura 6.19 Entrada del detalle 2E

Detalle 3D

Variable	Valor a incluir en el programa
Código Detalle	3D
Descripción	Anden
Identificador	a
Tipo Punto Ubicación Equipo	Delta
Código Delta	3
Forma de levantamiento	Radiación
Tipo de Angulo	Azimut
Azimut (g,m,s)	323,4,30
Forma de Medición de Distancias	Distancia con Cinta
Distancia(m)	12.6

DETALLES POLIGONAL [p:EJEMPLO2 subp:DATOS]

Código Detalle : 3D

Descripción : anden Identificador : a

Tipo Punto Ubicación Equipo : 1. Delta Código Delta : 3

Forma de Levantamiento : 1. Radiación Forma de Medición de Distancias : 1. Distancia con Cinta

Tipo de Angulo : 1. Azimut

Azimut (g,m,s) : 323,4,30

Distancia (m) : 12.6

Figura 6.20 Entrada del detalle 2D

6.2.2.3 Secuencias de Dibujo *Secuencias de Dibujo* : Se digitaron 3 secuencias de dibujo las que identifican linderos ó áreas cerradas en el terreno. A continuación se muestra la pantalla de presentación al incluir una secuencia de dibujo:

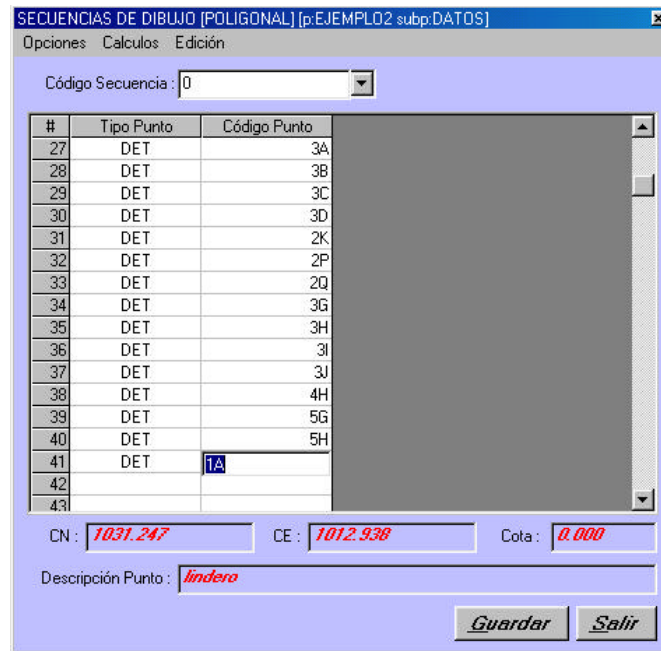




Figura 6.21 Ventana para definir las secuencias de dibujo

6.2.2.4 Cálculos : Este es un proceso que permite calcular las coordenadas de los deltas y detalles de la poligonal.

6.2.2.5 Dibujo : Muestra un gráfico en pantalla de la poligonal con los detalles y secuencias.

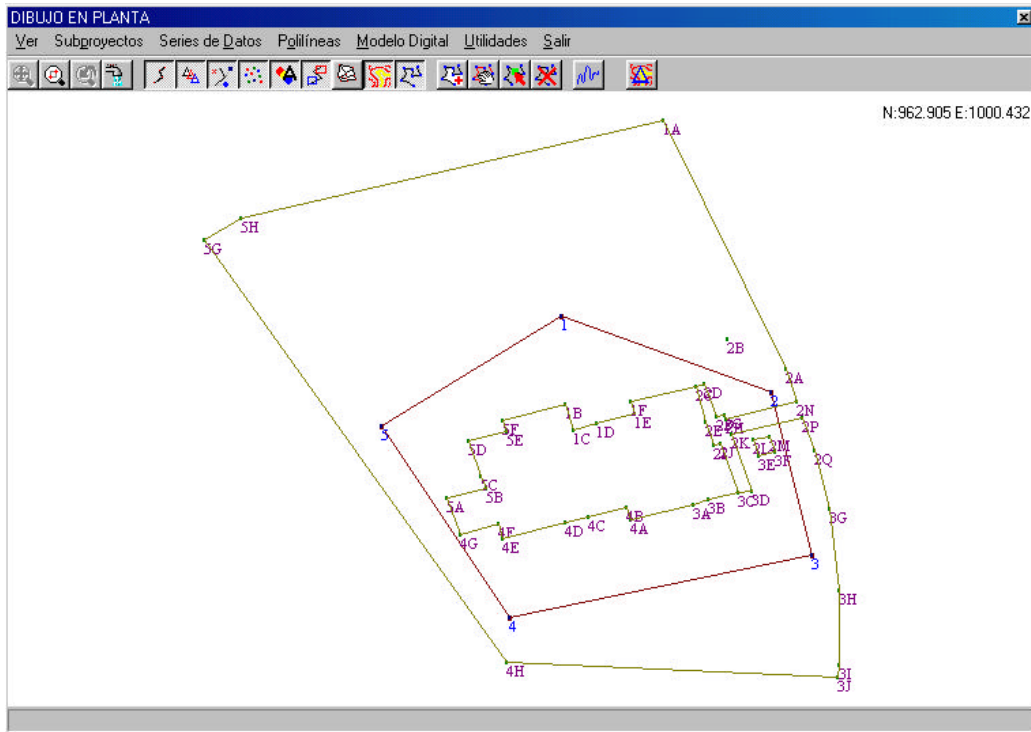


Figura 6.22 Visualización del dibujo

6.3 COORDENADAS TOMADAS CON ESTACION TOTAL

Una estación total es un equipo electrónico que permite el cálculo automático y almacenamiento en campo de las coordenadas (N,E,Cota) de los puntos medidos sobre un terreno.

La estación total posee un software que transfiere los datos de campo a un computador personal, almacenando dicha información en una hoja electrónica.

Para el ejemplo 3 se realizó el levantamiento en al finca la Sultana de propiedad de la Universidad del Cauca. En total se tomaron 425 puntos los cuales se pasaron de la estación total a excel y luego se transfirieron al software TOPO. Se debe crear un proyecto y un subproyecto para poder efectuar el trabajo. La información y se presenta la información introducida.

Figura 6.23 Ventana para la creación del proyecto

Figura 6.24 Ventana para la creación del subproyecto

6.3.1 Datos de Campo de Coordenadas Coordenadas: Después de realizar el levantamiento con la estación total, se procede a copiar la información a una hoja electrónica. Este proceso se realiza mediante el software de la estación total.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	2	9979.045	19989.943	1787.564						
2	3	9981.71	19992.278	1787.267						
3	4	9987.275	20000.941	1787.803						
4	5	9989.023	19999.618	1787.444						
5	6	9995.158	20008.559	1787.269						
6	7	9993.789	20006.192	1787.554						
7	8	9996.647	20012.73	1787.075						
8	9	9994.731	20013.913	1787.795						
9	1P	9997.306	20018.569	1786.746						
10	10	9999.445	20017.086	1786.077						
11	11	9995.409	20005.503	1787.034						
12	12	9990.697	19995.578	1786.595						
13	13	9985.573	19986.588	1786.339						
14	14	10001.924	20015.093	1784.571						
15	15	9994.761	19982.484	1784.094						
16	16	9998.653	19990.463	1783.972						
17	17	10004.213	19998.092	1783.514						
18	18	10010.642	20007.781	1780.621						
19	19	10008.345	19995.654	1781.794						
20	20	10003.301	19986.596	1782.523						
21	21	10001.216	19979.111	1781.784						
22	22	10015.135	20004.041	1778.332						

Figura 6.25 Datos almacenados en una hoja electrónica

En la imagen anterior se presentan las coordenadas capturadas con la estación total, la Columna A representa el código del punto, la B la coordenada norte, la C la coordenada Este y la D la cota. Se debe conocer el orden para así poderlos transferir al programa TOPO. Se seleccionan las columnas A,B,C y D con el

mouse y se copian en el portapapeles con el botón copiar .

A1		= 2				
	A	B	C	D	E	F
1	2	9979.045	19989.943	1787.564		
2	3	9981.71	19992.278	1787.267		
3	4	9987.275	20000.941	1787.803		
4	5	9989.023	19999.618	1787.444		
5	6	9995.158	20008.559	1787.269		
6	7	9993.789	20006.192	1787.554		
7	8	9996.647	20012.73	1787.075		
8	9	9994.731	20013.913	1787.795		
9	1P	9997.306	20018.569	1786.746		
10	10	9999.445	20017.086	1786.077		
11	11	9995.409	20005.503	1787.034		
12	12	9990.697	19995.578	1786.595		
13	13	9985.573	19986.588	1786.339		

Figura 6.26 Columnas A,B,C y D seleccionadas y copiadas al portapapeles

Para efectuar la transferencia al programa TOPO se debe ejecutar la opción UTILIDADES/IMPORTAR.



Figura 6.27 Menú utilidades/Importar

Aparecerá una pantalla como la siguiente:

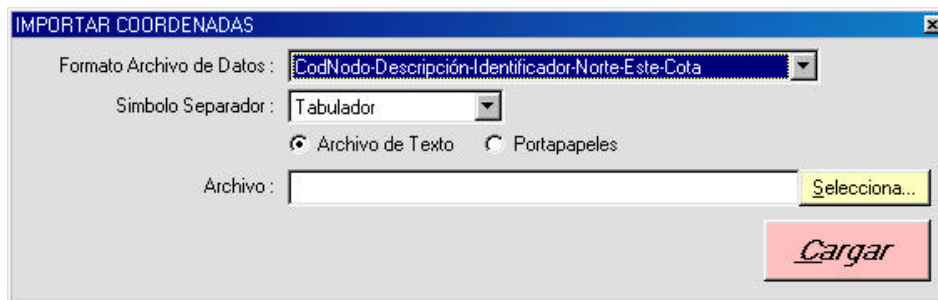


Figura 6.28 Ventana para importar coordenadas

Primero, se debe especificar cual es el formato de los datos que se van a transferir, en este caso se selecciona la opción: **CodNodo-Norte-Este-Cota**

Segundo, el símbolo separador es: **Tabulador**

Tercero se debe definir cual es la procedencia de los datos, en este caso es el portapapeles. **Portapapeles**

Y por último se le solicita a TOPO que cargue los datos, haciendo click con el mouse en el botón **Cargar**.

Después de un corto tiempo TOPO anuncia cuantos datos se importaron y los almacena.

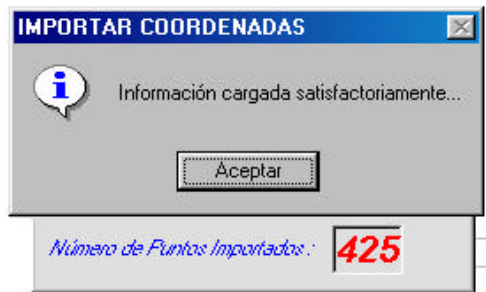



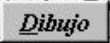
Figura 6.29 mensaje de información cargada

6.3.2 Coordenadas Almacenadas: Después de efectuar los procesos anteriores, se tiene un listado de los puntos ó nodos levantados con la estación total en el programa TOPO.

#	Código Nodo	Descripción	Identificador	Coordenada N	Coordenada E	Cota
1	2			9979.045	19989.943	1787.564
2	3			9981.71	19992.278	1787.267
3	4			9987.275	20000.941	1787.803
4	5			9989.023	19999.618	1787.444
5	6			9995.158	20008.559	1787.269
6	7			9993.789	20006.192	1787.554
7	8			9996.647	20012.73	1787.075
8	9			9994.731	20013.913	1787.795
9	1P			9997.306	20018.569	1786.746
10	10			9999.445	20017.086	1786.077
11	11			9995.409	20005.503	1787.034
12	12			9990.697	19995.578	1786.595
13	13			9985.573	19986.588	1786.339
14	14			10001.924	20015.093	1784.571
15	15			9994.761	19982.484	1784.094
16	16			9998.653	19990.463	1783.972
17	17			10004.213	19998.092	1783.514
18	18			10010.642	20007.781	1780.621

Figura 6.30 Coordenadas copiadas del portapapeles

6.3.3 Cálculos : Este es un proceso que permite asignarle a cada nodo sus coordenadas para poder ser dibujados.

6.3.4 Dibujo : Muestra un gráfico en pantalla de la nube de puntos levantados con la estación total.

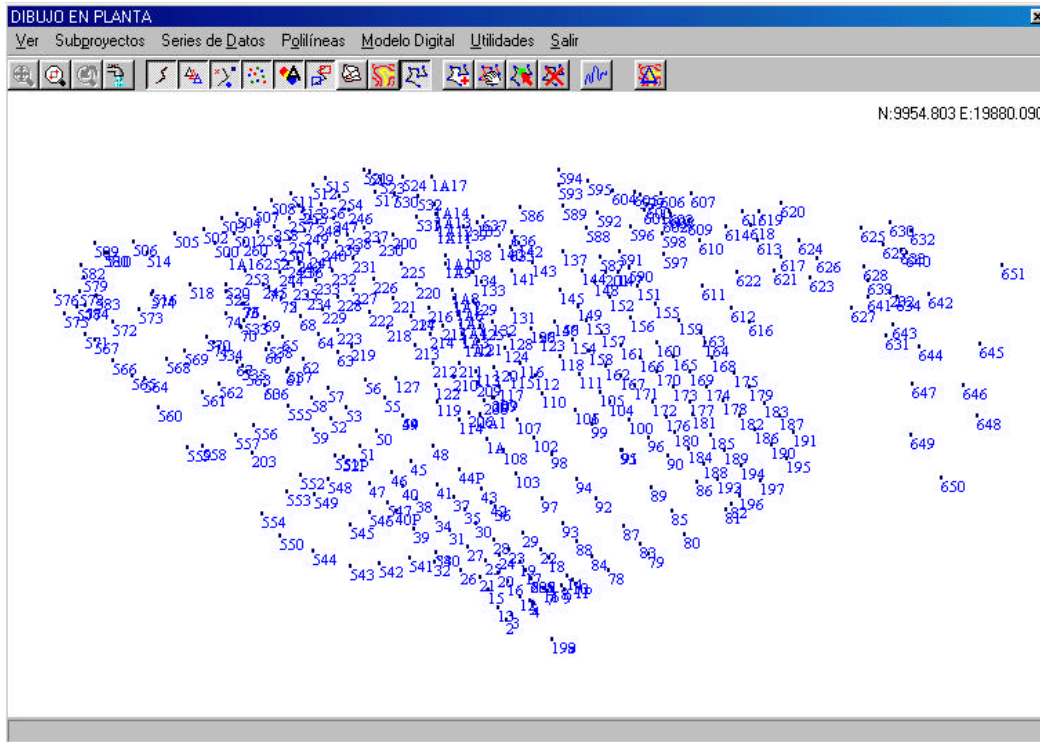



Figura 6.31 Nube de puntos levantada con Estación Total

Haciendo click en la opción **MODELO DIGITAL/TRIANGULAR E INTERPOLAR**

CURVAS DE NIVEL ó F7 ó en el botón  el software permite la generación de las curvas de nivel del terreno y especificando los parámetros necesarios se obtiene el siguiente resultado:

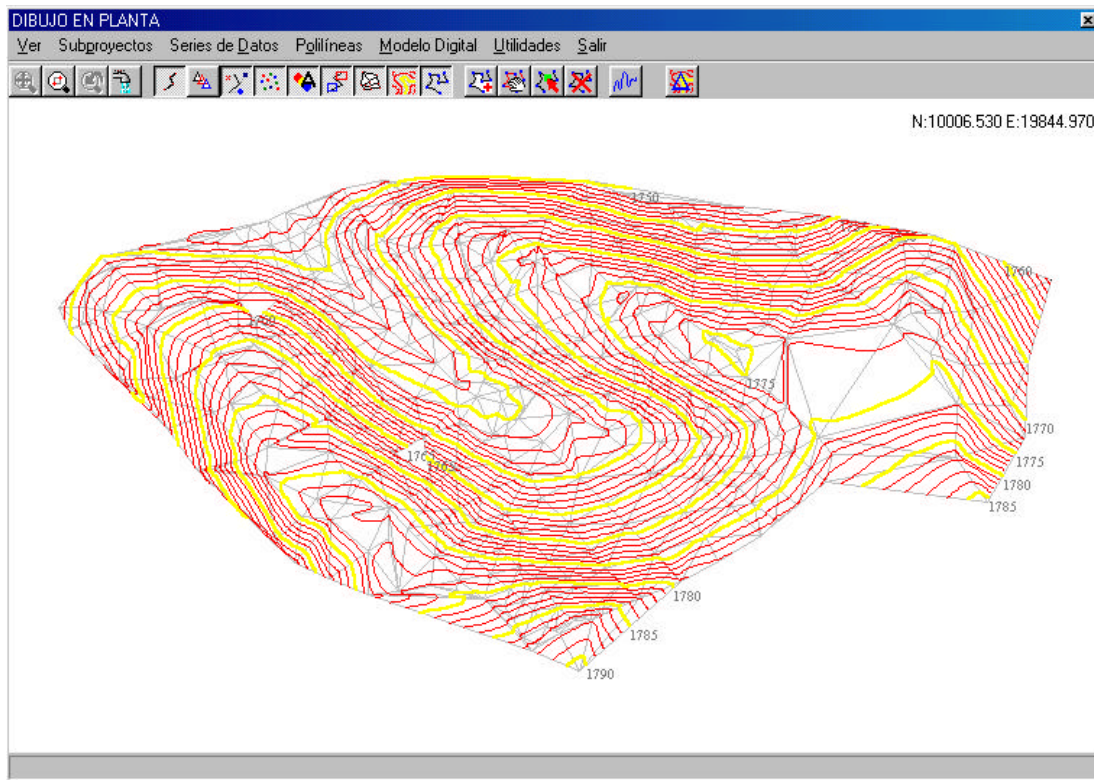
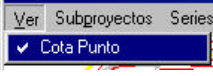


Figura 6.32 Modelo digital del terreno (triangulación y curvas de nivel)

Teniendo el modelo digital se pueden conocer las tres coordenadas de cualesquier

punto sobre el terreno, activando la opción  y moviendo el puntero del mouse sobre el terreno TOPO mostrará en la parte superior derecha de la pantalla las coordenadas del punto especificado.

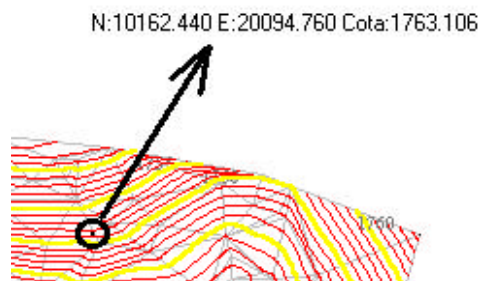



Figura 6.33 Coordenadas de un punto sobre el modelo digital

También se puede conocer con el modelo digital generado el perfil de una polilínea trazada sobre el terreno con el botón  Crear Polilínea así:

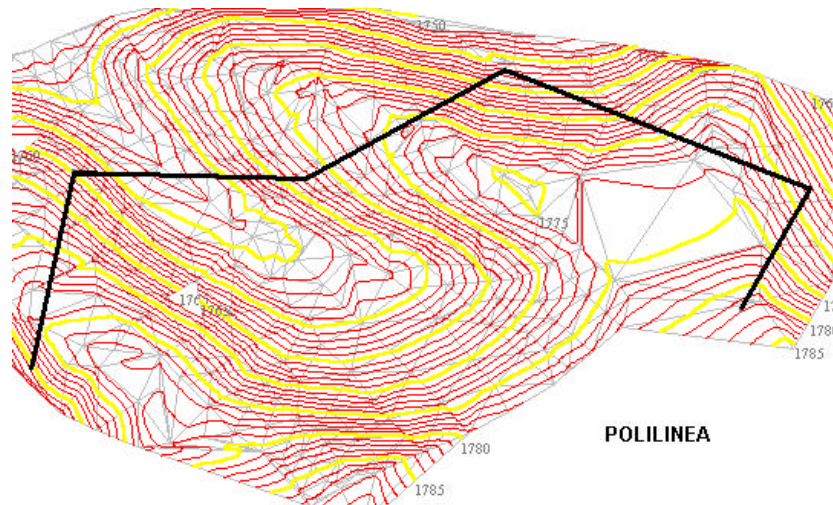



Figura 6.34 Polilínea sobre el modelo digital

Haciendo click con el mouse en el botón  Perfil Polilínea y en la polilínea se puede observar el perfil:

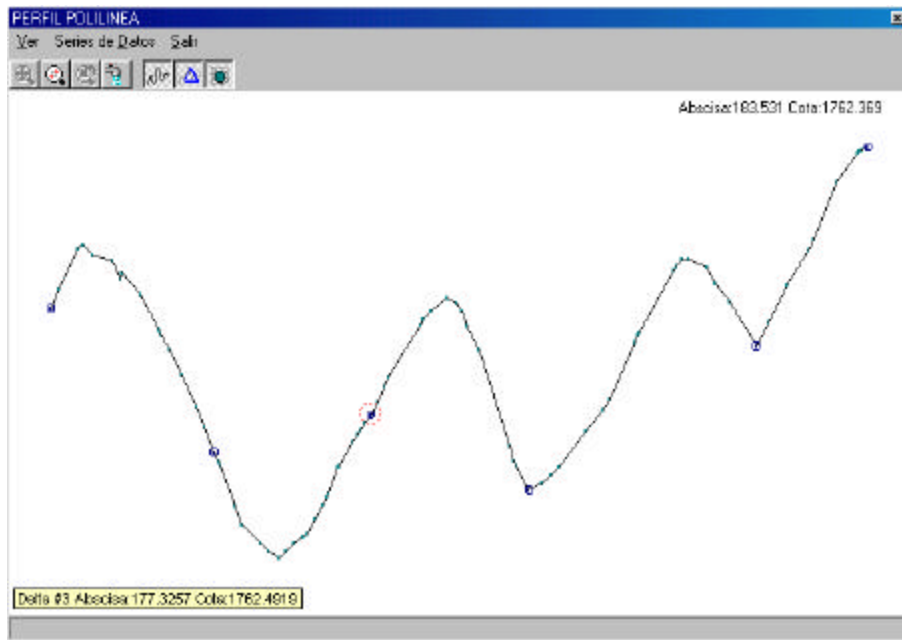


Figura 6.35 Perfil de la Polilínea

Como resultado final en el anexo 3 se encuentran los planos de todos los ejemplos de aplicación de este capítulo.

7. CONCLUSIONES

- Se estudiaron varios procesos para la generación de modelos digitales de terrenos y se encontró que los métodos mas precisos para su representación son los que realizan mediciones directas de campo, estos métodos son los utilizados en los trabajos de precisión en Ingeniería y fueron los estudiados en el marco de esta investigación.
- La representación mediante triángulos formados por puntos distribuidos en forma irregular en el espacio (TIN), es la manera mas eficiente de representar la superficie del terreno. Cada triangulo se ensamblará con sus vecinos mediante sus lados, lo cual garantizará la continuidad de la superficie del terreno.
- Se pueden construir diferentes triangulaciones de una nube de puntos distribuidos irregularmente en el espacio, pero la mas conveniente para representar la superficie de un terreno es aquella que cumple con las propiedades de los diagramas de Voronoi y Delanuay.

- El modelo digital del terreno es la base fundamental para diseño asistido por computador en diversas áreas de la ingeniería y la topografía.
- En el momento de deducir alguna información del modelo digital, ya sea de un punto ó de un alineamiento, se efectúa mediante un proceso de interpolación lineal, debido a que el metodo de levantamiento de campo garantiza esta linealidad.
- Como uno de los productos finales de esta investigación, se diseñó un software denominado TOPO, de libre uso tanto para estudiantes como para profesores y profesionales de las áreas de la ingeniería. En este software se abarcan todos los conceptos explicados en este documento. El programa TOPO incluye los métodos de levantamiento de la información requerida de campo para la generación del modelo digital de un terreno.
- En el desarrollo de este trabajo se cubrieron la mayoría de los métodos de levantamiento topográfico existentes actualmente, con el fin de que quedaran incorporados en el Software TOPO y para todos ellos se contara con la versatilidad y agilidad de los cálculos que permite este software.

8. RECOMENDACIONES

- Cuando se realice el levantamiento de un terreno con miras a generar su modelo digital, se recomienda efectuar dicho levantamiento con puntos coordenados medidos directamente del terreno. Esto se puede realizar de una forma eficiente con el uso de equipos de precisión tales como: Estaciones Totales, Tránsitos, Distanciómetros, etc.
- Durante el proceso de levantamiento de la información de campo recolectada para la representación del terreno, se deben identificar los puntos donde la pendiente del terreno cambia, de tal manera que la línea que une dos puntos sea una línea recta.
- Para el uso del programa TOPO, se requiere como mínimo para su óptimo funcionamiento un equipo con las siguientes características:

Procesador: Pentium con velocidad superior a 500Mhz ó su equivalente

Memoria RAM: 128 Megas

Disco Duro: Espacio libre 1 Gigabyte

Sistema Operativo: Windows 95, 98, NT, 2000, XP.

- El uso y los resultados arrojados por el programa TOPO son responsabilidad única del usuario, en ningún momento comprometen a los diseñadores de la aplicación ni a la Universidad del Cauca. Se recomienda analizar todos los datos introducidos y arrojados por el sistema para así efectuar un manejo racional de la herramienta.

BIBLIOGRAFÍA

WOLF, Paul R.y BRINKER, Russell C, Topografía. 9ª ed. Bogota, DC : Alfa omega,1998, 834p.

TORRES, Alvaro y VILLATE, Eduardo. Topografía. 4ª ed. Bogota, DC: Pearson Educacion, 2001.460p.

ALLESTEROS, Nabor. Topografía. 6ª ed. México, DF: Limusa, 1998.474p.

MONTES DE OCA, Miguel. Topografía. 4ª ed. México, DF: Alfaomega, 1994.344p.

DE BERG, Mark y Otros. Computational Geometry. . 2ª ed. New York: Springer,2000.367p.

HEARN, Danald y BEKER, Pauline. Graficas por Computadora. 4ª ed. Mexico, DF: Preantice Hall.1995.686p.

EL-SHEIMY, Nacer, Digital Terrain Modelling. Calgary; University of Calgary.1999.

TOPO

Software para Cálculos Topográficos en Ingeniería

Versión para Windows

Octubre 2002

Manual del Usuario ®

TOPO

VERSIÓN 1.0

*Programa desarrollado para realizar Cálculos
Topográficos en Ingeniería*

*Cualquier comentario para mejorarlo
es bienvenido.*

UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
DEPARTAMENTO DE VIAS Y TRANSPORTES
Popayán-Cauca-Colombia
Internet: d-civil@unicauca.edu.co

Introducción

El desarrollo tecnológico de los últimos años ha traído consigo nuevos equipos de trabajo topográfico así como nuevas herramientas computacionales para realizar los trabajos de topografía y diseño geométrico de vías. Se han desarrollado potentes equipos de medición electrónica para trabajo de campo. Esta potencialidad no sería tal si no se contara con software para el procesamiento ágil de los datos, como un herramienta versátil durante el proceso de diseño. La necesidad y la ausencia de desarrollos propios, ha permitido la llegada al país de software desarrollado en el exterior sin considerar las condiciones y necesidades nacionales. Estos sistemas son desarrollados en países en donde la topografía y normatividad son diferentes a las colombianas.

Es importante realizar adecuaciones tecnológicas y mas aún desarrollar software propios que puedan ser utilizados por estudiantes y profesionales colombianos con el pleno conocimiento de la fundamentación teórica y algoritmos involucrados en los procesos de cálculo.

Este proyecto esta enfocado a desarrollar un sistema al interior de la **Universidad del Cauca** que permita el manejo de la información de campo recolectada en un levantamiento topográfico, de una manera ágil y óptima, hasta obtener el modelo digital del terreno y que también permita el desarrollo académico, institucional y profesional de los estudiantes, profesores y egresados en el área de la topografía y las vías. La formulación matemática y el sistema implementado que se presentan en este trabajo son de acceso libre para estudiantes, profesores y profesionales de la ingeniería. El conocer los cálculos, algoritmos y fundamentación teórica involucrados en el desarrollo de esta herramienta computacional permite su óptima utilización por parte de profesores, estudiantes y profesionales.

Que es TOPO

TOPO

Es un programa de computador diseñado para ayudar a manipular los datos topográficos tomados en campo y realizar los cálculos y dibujos correspondientes.

TOPO

Está diseñado en entorno Windows, con base en ventanas y cajas de diálogo, siendo así un programa fácil de utilizar.

TOPO

Funciona bajo el sistema operativo WINDOWS 95, 98, 2000 ó NT y en cualquier computador personal.

TOPO

Es un software diseñado por Colombianos para libre uso en Ingeniería y Topografía.

Acerca de su Manual

Este manual incluye, una explicación de las diferentes opciones que se presentan en el uso del Programa y se adiciona con el manejo del teclado para navegar por las diferentes ventanas y funciones.

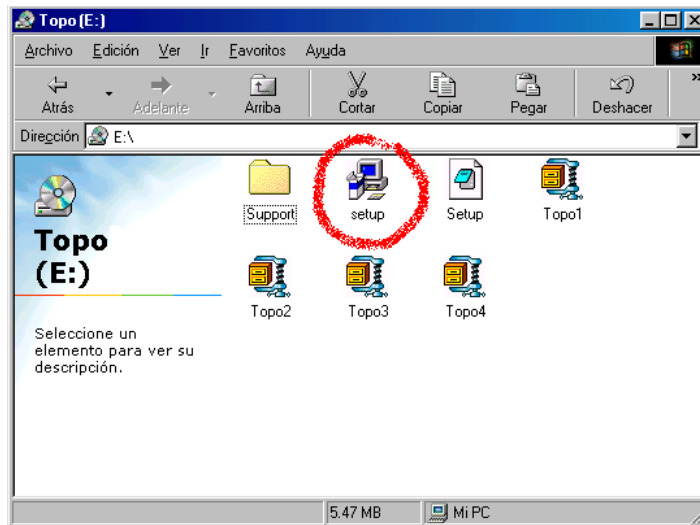
Incluye información para usuarios que tengan poca experiencia con sistemas informáticos.

El manual está estructurado en la forma secuencial que brindan las ventanas y opciones del menú principal al usuario y desarrolla cada una de las opciones de los Submenús ó menús Secundarios.

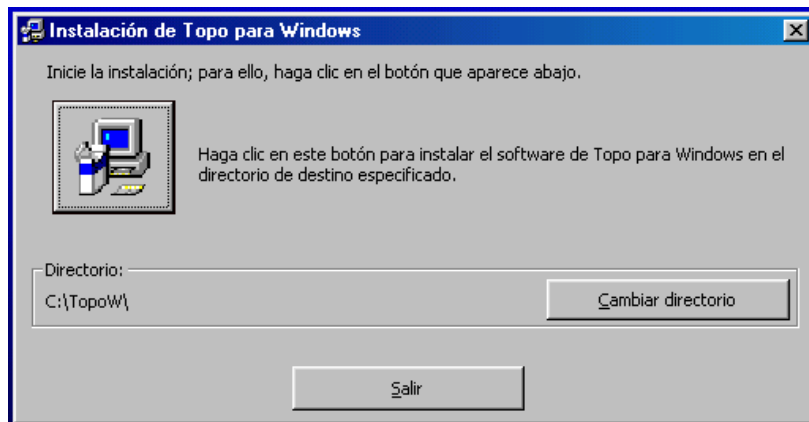
Como Instalarlo

El programa se entrega en CD-ROM o 4 discos de 3½ pulgadas de alta densidad, que en su directorio principal se encuentra el programa de instalación.

Introduzca el disco flexible #1 en el drive A ó el CD en su unidad correspondiente y ejecute con el administrador de archivos de Windows o con la opción *ejecutar* el programa SETUP.EXE.



Seguidamente el sistema mostrará una pantalla como la siguiente:



El programa TOPO se instalará por defecto en el directorio **C:\TopoW** el cual puede ser cambiado por el usuario.

Haciendo click en el botón  el sistema se instalará y el programa TOPO queda listo para su uso.

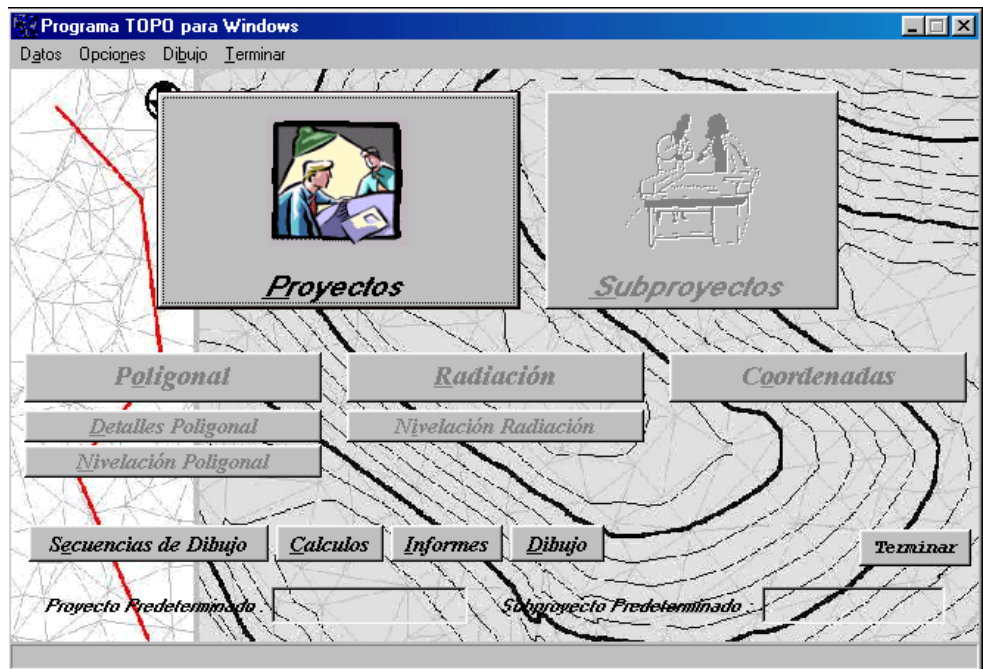
Como Iniciar

Para ejecutar el programa de TOPO se debe hacer doble click con el mouse encima del icono que identifica el programa, el cual se presenta a continuación :



ó también ejecutar la opción *Inicio/Programas/Topo para Windows/Topo*

Seguidamente aparecerá la pantalla principal del programa TOPO:



Pantalla principal del programa TOPO

Para seleccionar cualquiera de las opciones dispuestas en el menú principal basta con presionar click del mouse en la opción deseada ó presionando la tecla **ALT** y con las flechas derecha → e izquierda ← ir a la opción necesitada y presionar **ENTER** (utilice las flechas ↓ ↑ para que aparezcan los submenús de cada opción).

Capítulo 2

Entorno General del Programa “TOPO”

La estructuración general del programa TOPO se encuentra configurada por las siguientes entidades:

- **PROYECTOS**
- **SUBPROYECTOS**
- **POLIGONALES, RADIACIONES ó COORDENADAS**
- **SECUENCIAS DE DIBUJO**
- **DIBUJO, POLILINEAS, TRIANGULACION Y CURVAS DE NIVEL**

PROYECTOS

Es la entidad mas importante del programa TOPO, en ella se definen los parámetros generales del trabajo de ingeniería a realizar, así como también se selecciona la zona de almacenamiento en el equipo de computo de la información correspondiente a los datos constitutivos del proyecto. El proyecto se puede subdividir en múltiples subproyectos.

SUBPROYECTOS

Es una de las subdivisiones de un proyecto, y contiene el tipo de información recolectada en campo. El tipo de información que se puede almacenar en un subproyecto es la siguiente:

- **POLIGONALES ABIERTAS ó CERRADAS**
- **RADIACIONES**
- **COORDENADAS**

Se permite almacenar cualesquier cantidad de subproyectos en un proyecto y se pueden enlazar unos a otros para así poder tener un mismo sistema de referencia coordinado.

POLIGONALES ABIERTAS ó CERRADAS

Una poligonal es la unión de puntos(deltas) mediante alineamientos rectos abscisados y referenciados. Se pueden tener detalles anexos a los deltas ó alineamientos de la poligonal, levantados mediante radiación ó por medio de una perpendicular.

Si la poligonal es cerrada, o sea, el delta final del levantamiento es el mismo delta inicial de la poligonal, se debe ajustar tanto angularmente como en distancia.

La poligonal se puede nivelar, contranivelar y realizar la toma de topografía del terreno aledaño a ella.

RADIACIONES

Una radiación es el trazado de una serie de alineamientos a partir de un foco común. Se pueden tener múltiples focos de radiación enlazados unos a otros. Los alineamientos de cada radiación se pueden abscisar, referenciar y nivelar.

COORDENADAS

Si se tiene otro tipo de levantamiento de campo, o si se utiliza una estación total para tal efecto, se pueden incluir directamente al sistema las coordenadas de todos los puntos levantados.

SECUENCIAS PARA DIBUJO

Listado de puntos que conforman el contorno de una figura, por ejemplo, borde de un terreno, linderos de un lote, esquinas de una cancha deportiva, etc.

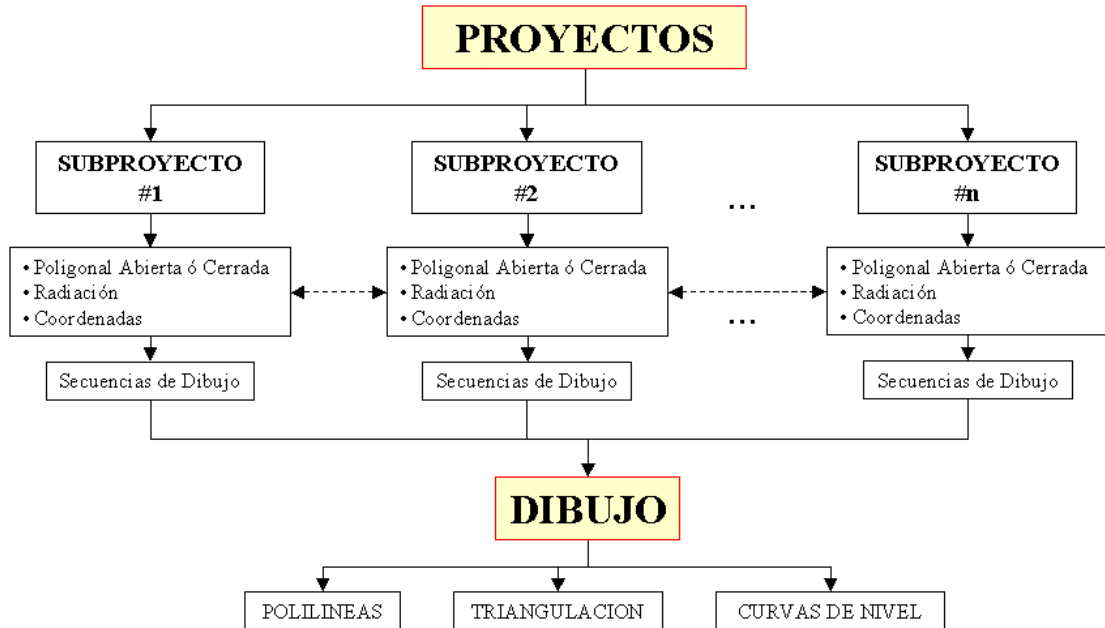
Para cada una de estas secuencias se puede calcular el área y el perímetro de la figura formada.

DIBUJO, POLILINEAS, TRIANGULACION Y CURVAS DE NIVEL

Dibujo a escala en pantalla de toda la información introducida en TOPO como son: poligonales con detalles, radiaciones, coordenadas y secuencias de dibujo.

Sobre el dibujo se pueden efectuar diversas actividades a saber:

- Deducir el modelo digital del terreno (Triangulación)
- Interpolan curvas de Nivel
- Dibujar polilíneas y deducir su perfil a partir del modelo digital



Estructuración general del programa TOPO

Para el manejo óptimo del programa TOPO se recomienda tener en cuenta las siguientes definiciones:

- ✓ **DELTA:** Punto de origen o finalización de un alineamiento, se debe materializar con estaca y puntilla en campo.
- ✓ **ALINEAMIENTO:** Recta que une dos deltas, debe asignársele un código alfanumérico que lo identifique
- ✓ **DETALLE:** Punto que identifica un objeto sobre el terreno
- ✓ **FOCO:** Punto origen de radiaciones
- ✓ **NODO:** Punto levantado con estación total el cual posee sus 3 coordenadas (N,E,Cota)

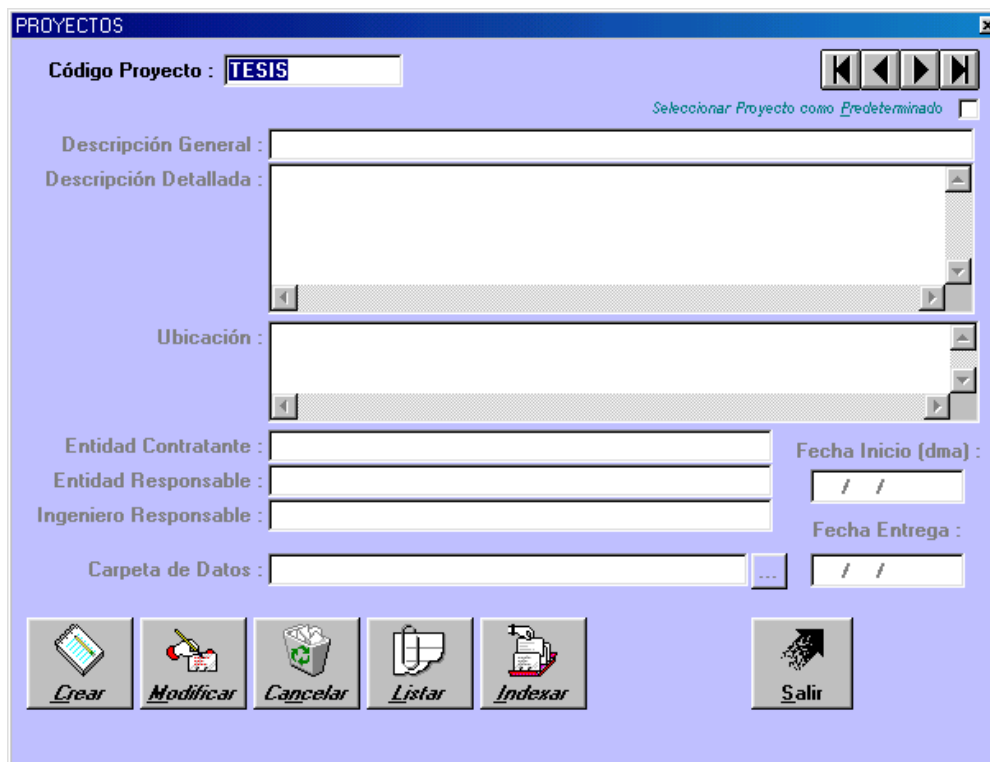
Capítulo 3

Opción Proyectos

Esta opción sirve para definir todos los datos del proyecto a procesar.



Cuando se presiona click, las teclas ALT-P ó ENTER en esta opción se obtendrá una pantalla de la siguiente forma:



PROYECTOS

Código Proyecto : Seleccionar Proyecto como Predeterminado

Descripción General :

Descripción Detallada :

Ubicación :

Entidad Contratante :

Entidad Responsable :

Ingeniero Responsable :


Carpeta de Datos : ...

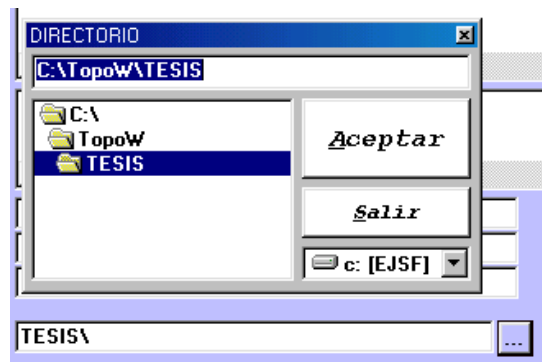
Fecha Inicio (dma) :

Fecha Entrega :

Opción Proyectos

La información requerida en esta opción es la siguiente:

- **CODIGO PROYECTO:** Cadena alfanumérica de hasta 12 caracteres que identifica el proyecto en cuestión.
- **DESCRIPCIÓN GENERAL:** Secuencia de caracteres que describe en forma resumida el proyecto.
- **DESCRIPCIÓN DETALLADA:** Secuencia de caracteres que describe en forma detallada el proyecto.
- **UBICACIÓN:** Lugar donde se desarrolla el proyecto.
- **ENTIDAD CONTRATANTE:** Nombre de la empresa que contrata el proyecto.
- **ENTIDAD RESPONSABLE:** Nombre de la empresa que realiza el proyecto.
- **INGENIERO RESPONSABLE:** Ingeniero encargado de ejecutar las labores de campo en el proyecto
- **FECHA DE INICIO Y DE ENTREGA:** Fechas en formato día/mes/año entre las cuales se realizará el trabajo objeto del proyecto.
- **CARPETA DE DATOS:** Ubicación de los archivos de datos creados por el programa TOPO en el disco duro del computador. Presionando la tecla F2 o haciendo click con el mouse el botón  se puede seleccionar la carpeta de datos.



Selección carpeta de datos

Cada proyecto se encuentra identificada por un código alfanumérico de hasta 12 caracteres.

Para moverse sobre toda la tabla de datos se presenta en la pantalla los

cuatro(4) botones  que significan lo siguiente:



Se ubica en el primer registro de la base



Registro anterior



Registro siguiente



Ultimo registro

Con estos botones se puede realizar búsqueda rápida de la siguiente forma:

Si se quiere encontrar los proyectos que empiezan con la letra L, simplemente


se debe digitar en el código del proyecto la letra L y presionar el botón 

Para **CREAR** una proyecto basta con digitar el código y presionar click con el mouse en el botón *CREAR* o presionar las teclas ALT-C. Se deben digitar los datos correspondientes al proyecto en cuestión y grabarlos presionando click del mouse en el botón *GRABAR* ó las teclas ALT-G. Si el proyecto no se quiere crear se debe presionar el click del mouse en el botón *SALIR SIN GRABAR* ó las teclas ALT-S

Para **MODIFICAR** una proyecto existente se debe digitar el código del proyecto y presionar el click del mouse en el botón *MODIFICAR* ó las teclas ALT-M. Se deben realizar las correcciones respectivas al proyecto y grabarlo como se efectuó en el paso *CREAR*.

Para **CANCELAR** un proyecto del sistema se deben efectuar los siguientes pasos:

1. Escribir ó buscar el código del proyecto a cancelar.

2. Presionar el click del mouse en el botón CANCELAR . Aparecerán en la pantalla los tres (3) botones siguientes:



3. Presionar el click del mouse en el botón *MARCAR* o las teclas ALT-M. Para detectar si un proyecto se encuentra marcado para borrado, en el botón marcar deberá aparecer un asterisco * y en la parte inferior de la pantalla la frase “*Registro Marcado para Borrado*”

Se podrá también obtener un listado de proyectos presionando las teclas F2 ó F3 en el campo correspondiente al código de la ventana de Proyectos. En caso tal que el código del proyecto contenga algunos caracteres se mostrarán en pantalla los códigos de los proyectos que inicien con esos caracteres.

El botón *INDEXAR* crea el índice de los códigos de proyectos introducidos al sistema, el cual controla la integridad de la tabla de datos de proyectos, o sea, no deja crear proyectos con el mismo código, no deja cancelar proyectos inexistentes, permite realizar las búsquedas mas rápidamente, etc. Este proceso se demora unos cuantos segundos y se puede realizar las veces que se desee.

El botón *SALIR* regresa al menú principal.

DEFINICIÓN DEL PROYECTO PREDETERMINADO

Se deberá definir por último, con cual de los proyectos guardados en el sistema se va a trabajar, para ello se debe escribir el código del proyecto y hacer click con el mouse en Seleccionar Proyecto como Predeterminado

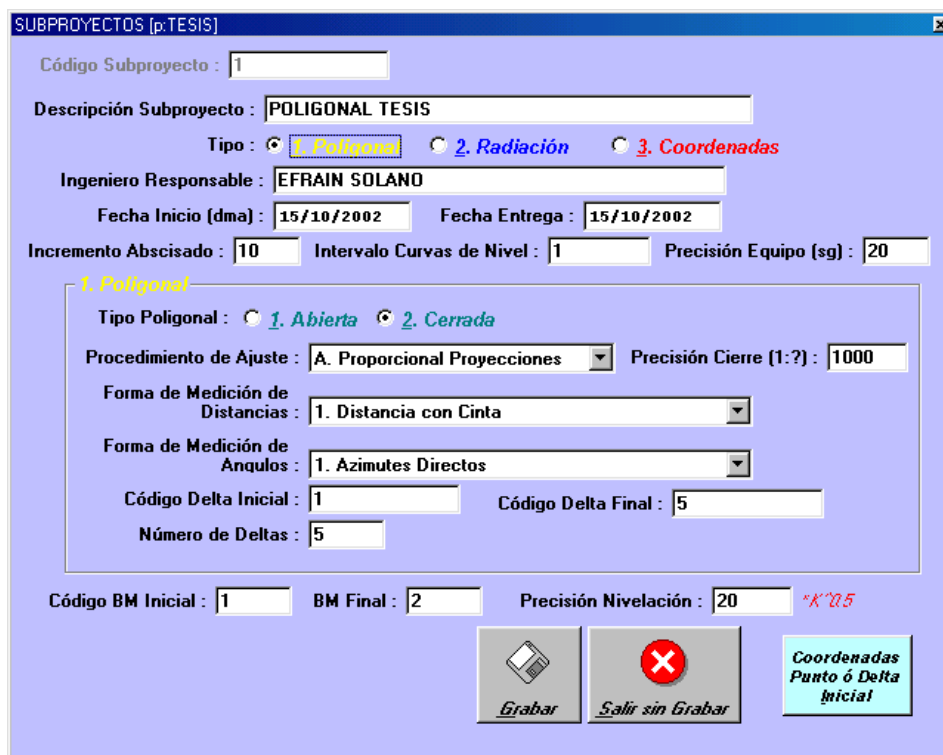
Capítulo 4

Opción Subproyectos

Esta opción se encarga de definir todos los datos de los subproyectos pertenecientes al proyecto activo en el sistema.



Cuando se presiona click del mouse, las teclas ALT-S ó ENTER en esta opción se obtendrá una pantalla de la siguiente forma:



SUBPROYECTOS [p.TESIS]

Código Subproyecto : 1

Descripción Subproyecto : POLIGONAL TESIS

Tipo : 1. Poligonal 2. Radiación 3. Coordenadas

Ingeniero Responsable : EFRAIN SOLANO

Fecha Inicio (dma) : 15/10/2002 Fecha Entrega : 15/10/2002

Incremento Abscisado : 10 Intervalo Curvas de Nivel : 1 Precisión Equipo (sg) : 20

1. Poligonal

Tipo Poligonal : 1. Abierta 2. Cerrada

Procedimiento de Ajuste : A. Proporcional Proyecciones Precisión Cierre (1:?) : 1000

Forma de Medición de Distancias : 1. Distancia con Cinta

Forma de Medición de Anqulos : 1. Azimutes Directos

Código Delta Inicial : 1 Código Delta Final : 5

Número de Deltas : 5

Código BM Inicial : 1 BM Final : 2 Precisión Nivelación : 20 *K*0.5

Opción Subproyectos

La información requerida en esta opción es la siguiente:

- **CODIGO SUBPROYECTO:** Cadena alfanumérica de hasta 12 caracteres que identifica el subproyecto en cuestión.
- **DESCRIPCIÓN SUBPROYECTO:** Secuencia de caracteres que describe el subproyecto.
- **TIPO:** Clase de información que se almacenará en el subproyecto, estas pueden ser:
 - ⇒ **1. POLIGONAL:** Poligonales abiertas o cerradas con detalles, nivelación y toma de topografía
 - ⇒ **2. RADIACIÓN:** Radiaciones con múltiples focos y múltiples puntos de radiación
 - ⇒ **3. COORDENADAS:** Nodos levantados generalmente con estación total, los cuales poseen sus 3 coordenadas (N,E,Cota)

Los subproyectos pueden poseer el mismo sistema coordinado, lo cual se puede realizar mediante las coordenadas del punto inicial en cada subproyecto. Las coordenadas del punto inicial de un subproyecto pueden provenir de las coordenadas ya calculadas de un delta, detalle, abscisa ó nodo de otro subproyecto.

- **INGENIERO RESPONSABLE:** Ingeniero encargado de ejecutar las labores de campo en el subproyecto
- **FECHA DE INICIO Y DE ENTREGA:** Fechas en formato dia/mes/año entre las cuales se realizará el trabajo objeto del subproyecto.
- **INCREMENTO DE ABSCISADO:** Intervalo entre las abscisas de los alineamientos de una poligonal ó una radiación, utilizadas para efectuar la nivelación y toma de topografía correspondiente.
- **INTERVALO CURVAS DE NIVEL:** Distancia vertical entre curva y curva de nivel que se interpolaran en el modelo digital del terreno.
- **PRECISION DEL EQUIPO:** Precisión del equipo en segundos, valor utilizado para el chequeo de cierre angular en las poligonales cerradas.

Si el tipo de subproyecto es una **POLIGONAL**:

1. Poligonal

Tipo Poligonal : 1. Abierta 2. Cerrada

Procedimiento de Ajuste : Precisión Cierre (1:?):

Forma de Medición de Distancias :

Forma de Medición de Anulos :

Código Delta Inicial : Código Delta Final :

Número de Deltas :

- ✓ **TIPO DE POLIGONAL:** Selecciona si la poligonal materializada en campo es abierta ó cerrada.
- ✓ **PROCEDIMIENTO DE AJUSTE Y PRECISION CIERRE:** Si la poligonal es *CERRADA* se debe definir cual es el procedimiento para realizar el ajuste por distancia de la poligonal y cual es la precisión para el chequeo de dicho cierre.

La precisión es la longitud máxima de error que se puede tener en la poligonal, por ejemplo si la precisión es 1000 quiere decir que en una poligonal de 1000m se puede tener como máximo un error de 1m, o sea si la poligonal levantada tiene 508 metros, el error máximo permitido es de 0.508m.

- ✓ **FORMA DE MEDICION DE DISTANCIAS:** Define el procedimiento de campo utilizado para medir la longitud de los alineamientos, estas pueden ser:

- ⇒ Con Cinta
- ⇒ Con Abscisas en Deltas
- ⇒ Con Distanciómetro
- ⇒ Por Taquimetría
- ⇒ Con Estación Total

- ✓ **FORMA DE MEDICION DE ANGULOS:** Define el procedimiento de campo para la medición de los ángulos entre los alineamientos, estas pueden ser:

- ⇒ Azimutes Directos
- ⇒ Deflexiones
- ⇒ Angulos (+)(-)

- ✓ **CODIGO DELTA INICIAL Y FINAL:** Códigos alfanuméricos que identifican los deltas donde inicia y finaliza la poligonal.
- ✓ **NUMERO DE DELTAS:** Cantidad de deltas que posee la poligonal

Si el tipo de subproyecto es una **RADIACION:**

- ✓ **CODIGO FOCO DE RADIACIÓN INICIAL:** Código alfanumérico que identifica el foco desde el cual se realizará la primera radiación.

2. Radiación

Código Foco Radiación Inicial :

- **CODIGO BM INICIAL Y FINAL:** Códigos alfanuméricos de los puntos de control donde se inicia y finaliza la nivelación de la poligonal ó de la radiación, necesarios para el chequeo de cierre de la nivelación.
- **PRECISION NIVELACION:** Factor que permite realizar el chequeo de cierre de nivelación del trabajo. Este factor se debe multiplicar por la raíz cuadrada de la distancia de la poligonal en kilómetros y dará como resultado el error máximo permitido en la nivelación.

COORDENADAS INICIALES

Por último se deben definir las coordenadas (N,E,Cota) del delta ó foco inicial,

Coordenadas
Delta ó Foco
Inicial

haciendo click con el mouse en el botón

La forma de cálculo de las coordenadas iniciales del delta o foco inicial son las siguientes:

COORDENADAS DELTA ó FOCO INICIAL

Forma de Cálculo : 1. Coordenadas

Coordenada Norte : 1000

Coordenada Este : 1000

Cota : 1730

Código Subproyecto :

Tipo de Punto Ubicación Equipo : 1. Delta, Foco ó Nodo

Código Delta :

Tipo de Punto de Amarre : 1. Delta, Foco ó Nodo

Código Delta Amarre :

Azimut Punto_Equipo a Delta_Inicial (g.m.s) : 0,0,0

Distancia Punto_Equipo a Delta Inicial (m) : 0

Cerrar

- ✓ **FORMA DE CALCULO:** Las coordenadas iniciales se pueden obtener de las siguientes maneras:

Forma de Cálculo : 1. Coordenadas

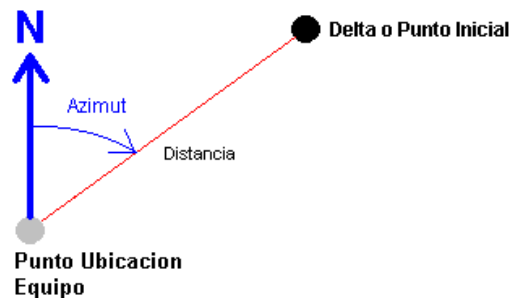
- 1. Coordenadas
- 2. Delta, Foco, Nodo, Abscisa, Detalle otro Subproyecto
- 3. Amarre a Delta, Foco, Nodo, Abscisa, Detalle otro Subproyecto

- ⇒ **1. Coordenadas:** Permite digitar las coordenadas Norte, Este y Cota del delta ó foco inicial.

⇒ **2. Delta, Foco, Nodo, Abscisa, Detalle de otro Subproyecto:** Se toma como coordenadas del delta ó foco inicial las coordenadas calculadas a partir de un delta, foco, nodo, abscisa ó detalle de otro subproyecto. Para ello se debe tener la siguiente información:

Código Subproyecto :	<input type="text"/>
Tipo de Punto Ubicación Equipo :	1. Delta, Foco ó Nodo ▼
Código Delta-Foco-Nodo :	<input type="text"/>
Azimet Punto_Equipo a Delta_Inicial (g,m,s) :	0,0,0
Distancia Punto_Equipo a Delta Inicial (m) :	0

- **Código Subproyecto:** Identificación del subproyecto que contiene el punto a partir del cual se van a obtener las coordenadas del delta ó foco inicial
- **Tipo de Punto Ubicación Equipo:** Tipo de punto a partir del cual se localizará el delta ó foco inicial
- **Código Punto:** Se introducirá en este campo el código del delta, foco, nodo, detalle ó la abscisa desde la cual se levanta el delta ó nodo inicial del subproyecto
- **Azimet y Distancia Punto_Equipo a Delta_Inicial:** Azimet y distancia desde el punto donde se encuentra el equipo y el delta ó punto inicial del subproyecto.



⇒ **3. Amarre a Delta, Foco, Nodo, Abscisa, Detalle de otro Subproyecto:** Se toma como coordenadas del delta ó foco inicial las coordenadas calculadas a partir de dos puntos de otro subproyecto. Para ello se debe tener la siguiente información:

Código Subproyecto :	<input type="text"/>
Tipo de Punto Ubicación Equipo :	1. Delta, Foco ó Nodo ▼
Código Delta-Foco-Nodo :	<input type="text"/>
Tipo de Punto de Amarre :	1. Delta, Foco ó Nodo ▼
Código Delta-Foco-Nodo Amarre :	<input type="text"/>
Angulo[+] Punto_Amarre-Punto_Equipo-Delta_Inicial (g,m,s) :	0,0,0
Distancia Punto_Equipo a Delta Inicial (m) :	0

- **Código Subproyecto:** Identificación del subproyecto a partir del cual se van a calcular las coordenadas del delta ó foco inicial
- **Tipo de Punto Ubicación Equipo:** Tipo de punto a partir del cual se localizará el delta ó foco inicial
- **Código Punto:** Se introducirá en este campo el código del delta, foco, nodo, detalle ó la abscisa desde la cual se levanta el delta ó nodo inicial del subproyecto. Es el punto donde se ubica el equipo.
- **Tipo de Punto de Amarre:** Tipo de punto a partir del cual se medirá el ángulo al delta ó nodo inicial
- **Código Punto de Amarre:** Código delta, foco, nodo, detalle ó abscisa de amarre
- **Angulo(+)** **Punto_Amarre-Punto_Equipo-Delta_Inicial** y **Distancia Punto_Equipo a Delta_Inicial:** Angulo positivo y distancia desde el punto donde se encuentra el equipo y el delta ó punto inicial del subproyecto.



El mantenimiento (crear, modificar, cancelar, listar, indexar) de la tabla de datos de **Subproyectos** se efectúa similarmente al que se realizó con los **Proyectos**.


Capítulo 5

Opción Poligonales

Esta parte del sistema se encuentra conformada por varias opciones que son: **Poligonal**, identificado con la letra O que se encarga de la entrada de la parte planimétrica de los deltas que conforman la poligonal; **Detalles Poligonal**, identificada con la letra D que se encarga de la entrada de la parte planimétrica de los detalles levantados desde los deltas ó abscisas de la poligonal y **Nivelación Poligonal**, identificada con la letra N que se encarga de la nivelación, contranivelación y toma de topografía de los deltas, abscisas y detalles de la poligonal.



POLIGONAL

Cuando se presiona click del mouse ó ENTER en el botón  se obtendrá una pantalla de la siguiente forma:

Opción Poligonal

La información planimétrica requerida para introducir datos de una poligonal es la siguiente:

- **CODIGO ALINEAMIENTO:** Un alineamiento es aquella línea que une dos deltas, estos se deben codificar, el código es una cadena de hasta 12 caracteres alfanuméricos. Se recomienda realizar una codificación consecutiva empezando desde 1 hasta el número de alineamientos de la poligonal.
- **DELTAS INICIAL Y FINAL:** Código de los deltas de inicio y finalización del alineamiento, estos se deben codificar ó simplemente numerar.
- **FORMA DE MEDICION DE DISTANCIAS:** Metodología utilizada en campo para medir la longitud del alineamiento. Las formas posibles para la medición de dicha distancia y la información requerida de campo son las siguientes:

⇒ **1. Distancia con Cinta**

1. Distancia con Cinta	
Distancia (m) :	35.78

⇒ **2. Abscisas en Deltas**

2. Abscisas en Deltas	
Inicial (m) :	0
Final (m) :	54.90

⇒ **3. Distanciómetro**

3. Distanciómetro	
Distancia Inclínada (m) :	35.69
Angulo Vertical (g,m,s,P/N/E/A) :	5,3,20,P
Altura Equipo (m) :	1.45
Altura Prisma (m) :	1.48

⇒ **4. Taquimetría**

4. Taquimetría	
Angulo Vertical (g,m,s,P/N/E/A) :	5,3,20,P
Altura Equipo (m) :	1.42
Lectura Mira Hilo Superior (m) :	2.369
Hilo Medio (m) :	2.151
Hilo Inferior (m) :	1.923

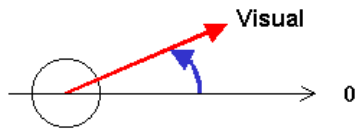
⇒ **5. Coordenadas ó Estación Total**

5. Coordenadas ó Estación Total	
Norte (m) :	1256.944
Este (m) :	2596.890
Cota (m) :	1723.965

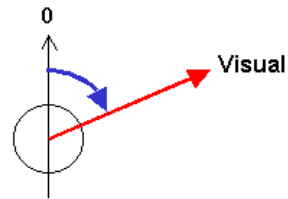
El ángulo vertical se debe digitar de la siguiente manera: Los valores deben ir separados por comas y el último campo especifica que tipo de ángulo fue medido en el equipo(Tránsito) así:

ANGULO VERTICAL

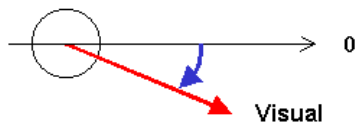
P: Horizontal Positivo



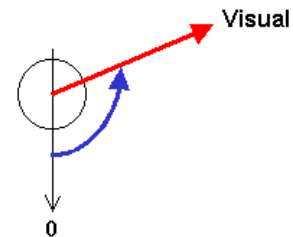
E: Cero en el CENT



N: Horizontal Negativo



A: Cero en el NADIR



- **FORMA DE MEDICION DE ANGULOS:** Metodología utilizada en campo para medir el ángulo entre los alineamientos. Las formas posibles para la medición de dicha distancia y la información requerida de campo son las siguientes:

Forma de Medición de Angulos :

1. Azimutes Directos
1. Azimutes Directos
2. Deflexiones
3. Angulos (+) (-)

⇒ **1. Azimutes Directos**

1. Azimutes Directos

Azimet (g,m,s) : 0,0,0

⇒ **Deflexiones**

2. Deflexiones

Deflexión (g,m,s,I/D) : 30,12,0,D

Tipo de Punto Amarre : 1. Delta

Código Delta Amarre : 1

⇒ **Angulos (+) (-)**

3. Angulos (+) (-)

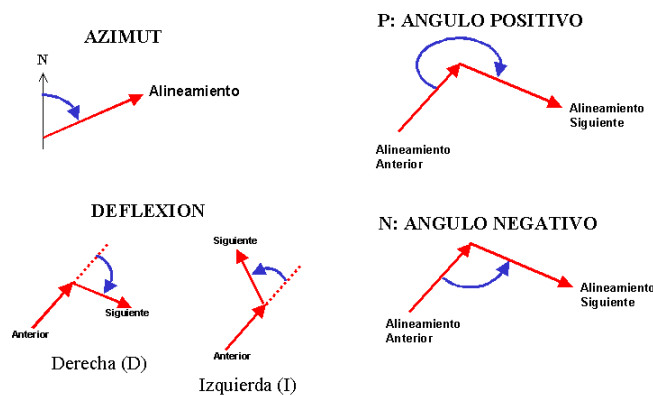
Angulo (g,m,s,P/N) : 145,12,0,P

Tipo de Punto Amarre : 1. Delta

Código Delta Amarre : 1

El ángulo horizontal se debe digitar de la siguiente manera: Los valores deben ir separados por comas y el último campo especifica que tipo de ángulo fue medido en campo así: Si es una **Deflexión** es **I** ó **D** dependiendo del sentido de la misma y si es un **Angulo Positivo** ó **Negativo** es **P** ó **N** dependiendo de la dirección en la cual se midió el ángulo

ANGULO HORIZONTAL




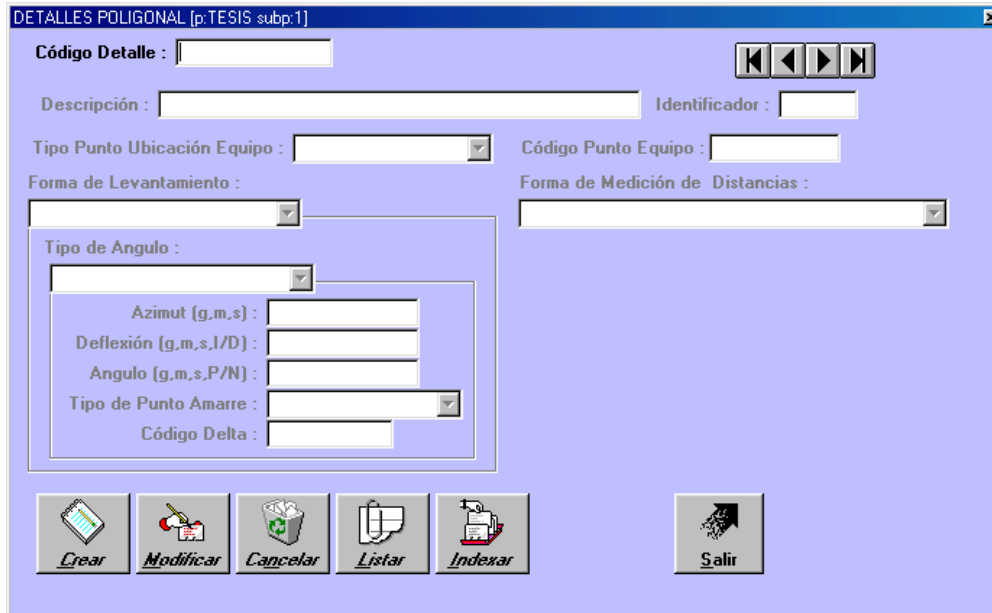
En las deflexiones y ángulos (+)(-) se debe colocar adicionalmente con que punto de la poligonal se colocó en ceros el equipo, es decir, el **tipo de punto de amarre** (Delta, Abscisa, Detalle) donde se miró en ceros y el **código ó abscisa** de dicho punto.

Si la poligonal es **CERRADA**, es necesario crear un nuevo alineamiento del **Delta 1** al **Delta 2** de la poligonal con un código diferente al ya creado, en el cual se digita la **longitud** entre ellos y el **ángulo de cierre**, con el cual se realizará el ajuste angular de la poligonal.

El mantenimiento (crear, modificar, cancelar, listar, indexar) de la tabla de datos de **Poligonales** se efectúa similarmente al que se realizó con los **Proyectos**.

DETALLES POLIGONAL

Cuando se presiona click del mouse ó ENTER en el botón  se obtendrá una pantalla de la siguiente forma:



La imagen muestra una ventana de software con el título "DETALLES POLIGONAL [p.TESIS subp.1]". El fondo es de color azul claro. En la parte superior, hay un campo de texto "Código Detalle:" con un botón de retroceso a la izquierda y botones de navegación (izquierda, derecha) a la derecha. Debajo, hay un campo "Descripción:" y un campo "Identificador:". A continuación, se encuentran "Tipo Punto Ubicación Equipo:" (menú desplegable) y "Código Punto Equipo:". Luego, "Forma de Levantamiento:" (menú desplegable) y "Forma de Medición de Distancias:" (menú desplegable). Un panel centralizado muestra "Tipo de Angulo:" (menú desplegable) con un sub-menú que contiene: "Azimut (g,m,s):", "Deflexión (g,m,s,I/D):", "Angulo (g,m,s,P/N):", "Tipo de Punto Amarre:" (menú desplegable) y "Código Delta:". En la parte inferior, hay una barra de herramientas con los botones: "Crear" (icono de cuaderno), "Modificar" (icono de lápiz), "Cancelar" (icono de basura), "Listar" (icono de impresora), "Indexar" (icono de impresora) y "Salir" (icono de flecha hacia arriba).

La información planimétrica requerida para introducir datos de los detalles de una poligonal es la siguiente:

- **CODIGO DETALLE:** Cadena alfanumérica que identifica un punto del terreno
- **DESCRIPCION:** Descripción del detalle
- **IDENTIFICADOR:** Cadena que identifica un grupo de detalles, por ejemplo todos los **árboles** tomados en el levantamiento pueden llevar como identificador las letras **ARB**.
- **TIPO PUNTO UBICACIÓN EQUIPO:** Tipo de punto a partir del cual se localizará el detalle, o sea, tipo de punto donde se localizará el equipo (Tránsito, Escuadra, etc.)
- **CODIGO PUNTO EQUIPO:** Código que identifica el punto donde se encuentra ubicado el equipo de levantamiento (Delta, Abscisa, Detalle)
- **FORMA DE LEVANTAMIENTO:** Un detalle se puede levantar ya sea mediante una radiación, una perpendicular ó simplemente digitando las coordenadas (N,E,Cota) directamente.

Forma de Levantamiento :

1. Radiación

1. Radiación
2. Perpendicular
3. Coordenadas

- ⇒ **1. Radiación:** Se debe definir que tipo de ángulo se va a utilizar, ya sea, azimut, deflexión ó angulo(+)(-). Para los dos últimos hay que definir el punto de amarre respectivo (ver *Forma de Medición de Angulos en Poligonales*)

Tipo de Angulo :

1. Azimut

1. Azimut
2. Deflexión
3. Angulo (+) (-)

Azimut (g.m,s) : 0,0,0

Deflexión (g.m,s,I/D) : 0,0,0,D

Angulo (g.m,s,P/N) : 0,0,0,P

Tipo de Punto Amarre : 1. Delta

Código Delta Amarre :

- ⇒ **2. Perpendicular:** Mediante una escuadra (ó equipo equivalente) y ubicados en una abscisa se localiza un detalle al lado derecho ó al lado izquierdo de la poligonal

2. Perpendicular

Sentido : Derecha

Derecha
Izquierda

- ⇒ **3. Coordenadas:** Se digitan directamente las 3 coordenadas del detalle

3. Coordenadas

Norte (m) : 0

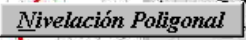
Este (m) : 0

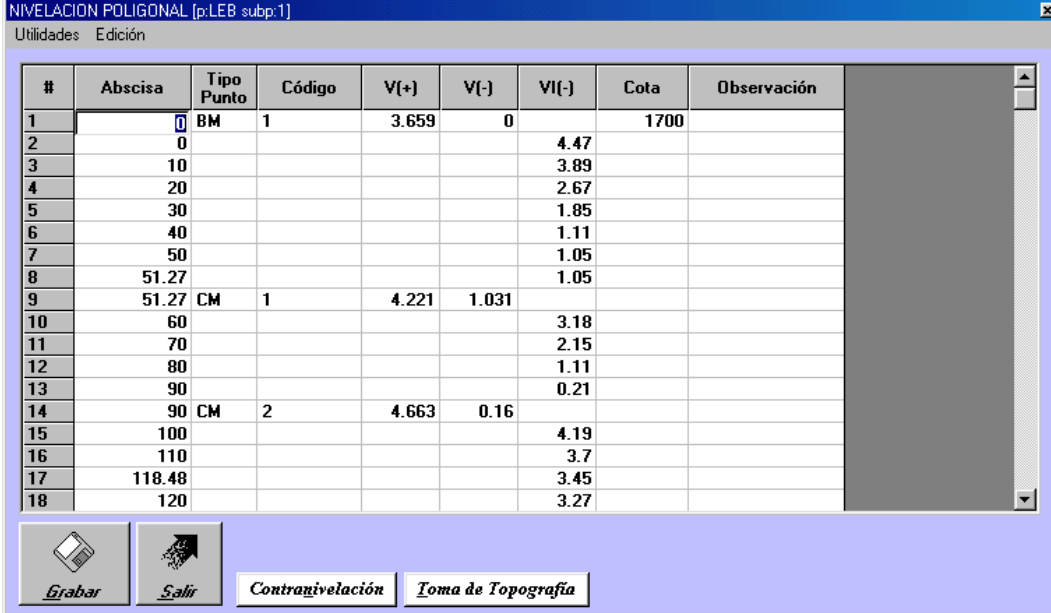
Cota (m) : 0

- **FORMA DE MEDICION DISTANCIA ENTRE PUNTO_EQUIPO Y DETALLE:** El procedimiento de campo para la medición de la distancia entre el punto donde se encuentra el equipo y el detalle se puede realizar de las siguientes maneras: con *Cinta*, *Distanciómetro*, o por *Taquimetría*. (ver *Forma de Medición de Distancia en Poligonales*)

El mantenimiento (crear, modificar, cancelar, listar, indexar) de la tabla de datos de **Detalles** se efectúa similarmente al que se realizó con los **Proyectos**.

NIVELACION POLIGONAL

Cuando se presiona click del mouse ó ENTER en el botón  se obtendrá una pantalla de la siguiente forma:



The screenshot shows a software window titled 'NIVELACION POLIGONAL [p:LEB subp:1]' with a menu bar containing 'Utilidades' and 'Edición'. Below the menu bar is a table with the following data:

#	Abscisa	Tipo Punto	Código	V(+)	V(-)	VI(-)	Cota	Observación
1	0	BM	1	3.659	0		1700	
2	0					4.47		
3	10					3.89		
4	20					2.67		
5	30					1.85		
6	40					1.11		
7	50					1.05		
8	51.27					1.05		
9	51.27	CM	1	4.221	1.031			
10	60					3.18		
11	70					2.15		
12	80					1.11		
13	90					0.21		
14	90	CM	2	4.663	0.16			
15	100					4.19		
16	110					3.7		
17	118.48					3.45		
18	120					3.27		

At the bottom of the window, there are four buttons: 'Grabar' (with a floppy disk icon), 'Salir' (with a mouse cursor icon), 'Contranivelación', and 'Toma de Topografía'.

El sistema automáticamente genera el abscisado para realizar la nivelación. Se pueden incluir abscisas adicionales y de la misma forma incluir los puntos de control como BM's y Cambios.

Se deben digitar los datos requeridos para cada registro así:

- **ABSCISA:** Abscisa a nivelar ó abscisa de control para puntos como detalles, BM's o cambios, sirve para darle orden a la nivelación y saber con que altura instrumental, o sea, con que posición del equipo de nivelación se realizó la lectura V(-) ó VI(-) a las abscisas, detalles ó puntos de control siguientes.
- **TIPO DE PUNTO:** Si este campo se encuentra en blanco significa que la mira se encuentra ubicada en la abscisa correspondiente, si no, puede tomar alguno de estos valores: BM (Bench mark), CM (Cambios), DT (Detalles). Presionando la tecla F3 en este campo se desplegará un listado de los tipos de punto descritos

Abscisa
BM. Bench Mark
CM. Cambio
DT. Detalle

- **CODIGO:** Identificación del punto nivelado, si es un detalle se introduce su código, si es un cambio ó un BM es el consecutivo correspondiente.
- **V(+):**Lectura de mira a un BM ó un Cambio, utilizada para encontrar la altura instrumental
- **V(-):**Lectura de mira a un BM ó un Cambio, utilizada para encontrar la cota del punto de control
- **VI(-):** Lectura de mira a un punto de interés (abscisa, detalle), utilizada para encontrar la cota del punto
- **Cota:** Cota del BM inicial
- **Observación:** En este espacio se puede escribir en forma resumida donde se encuentran ubicados los puntos de control utilizados en la nivelación

Existen opciones para la manipulación de la información digitada, estas opciones se encuentran en el menú **Edición**.



Con este menú se pueden realizar las siguientes actividades:

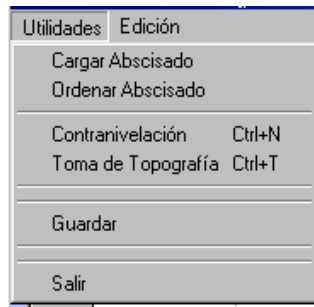
- ✓ **Insertar Línea (F5):** Inserta una línea a la cartera de nivelación a partir de la ubicación actual del cursor
- ✓ **Borrar Línea (F6):** Borra una línea de la cartera de nivelación
- ✓ **Copiar Línea al Portapapeles (F7):** Opción que permite almacenar una línea de la cartera en el portapapeles, utilidad necesaria para repetir líneas en cartera
- ✓ **Pegar Línea del Portapapeles (F8):** Deposita en la cartera la línea guardada en el paso anterior
- ✓ **Copiar Cartera al Portapapeles (Ctrl-F7):** Copia toda la cartera digitada hasta el momento en el portapapeles con el fin de llevarla a otro editor ó a otro subproyecto ó proyecto
- ✓ **Pegar Cartera del Portapapeles (Ctrl-F8):** Deposita la cartera copiada en el portapapeles en el paso anterior

Para grabar la información digitada se debe hacer click con el mouse en el



Existen otras utilidades las cuales permiten realizar lo siguiente:

- ✓ **Cargar Abscisado:** Permite rehacer el abscisado de la poligonal para nivelación, esta opción es útil cuando se cambia en los datos del **Subproyecto** el **Incremento en Abscisado**.
- ✓ **Ordenar Abscisado:** Permite ordenar el abscisado digitado en la cartera.
- ✓ **Contranivelación (Ctrl-N):** permite la digitación de la cartera de contranivelación, la cual se explicará mas adelante
- ✓ **Toma de Topografía (Ctrl-T):** Permite la introducción de los datos de la toma de topografía, la cual se explicará mas adelante
- ✓ **Guardar:** Guarda los datos digitados en la cartera de nivelación
- ✓ **Salir:** Vuelve al menú principal



CONTRANIVELACION

Cuando se presiona click del mouse ó ENTER en el botón *Contranivelación* ó ejecutar la opción **Utilidades/Contranivelación** ó **Ctrl-N** se obtendrá una pantalla de la siguiente forma:

CONTRANIVELACION POLIGONAL [p:TESIS subp:1]

Utilidades Edición

#	Tipo Punto	Código	V(+)	V(-)	Cota
1	BM	2	2.704	0	1713.751
2	CM	6	3.842	1.027	
3	CM	5	0.278	3.659	
4	CM	4	0.83	4.799	
5	CM	3	2.126	2.408	
6	CM	2	0.258	4.959	
7	CM	1	0.819	4.318	
8	BM	1	0	3.445	0
9					
10					
11					
12					
13					


Grabar Salir

El sistema automáticamente genera la cartera de contranivelación a partir de la cartera de nivelación digitada en el paso anterior.


La manipulación de la información se realiza de forma similar a como se realizó en la nivelación.

Para guardar la información de la contranivelación, se debe hacer click con el



mouse en el botón  ó presionar las teclas ALT-G

TOMA DE TOPOGRAFIA

Cuando se presiona click del mouse ó ENTER en el botón  ó ejecutar la opción **Utilidades/Toma de Topografía** ó **Ctrl-T** se obtendrá una pantalla de la siguiente forma:

TOMA DE TOPOGRAFIA

Opciones Edición

Abscisa : 30

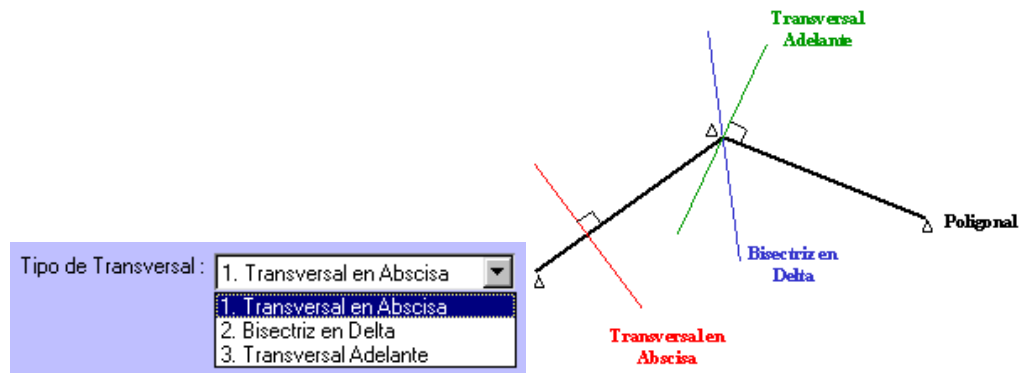
Tipo de Transversal : 1. Transversal en Abscisa

IZQUIERDA			DERECHA		
#	Cota	Distancia (m)	#	Cota	Distancia (m)
1	1701	4.25	1	1702	.95
2	1700	13.7	2	1703	5.39
3	1699	30.63	3	1704	8.56
4			4	1705	11.68
5			5	1706	14.45
6			6	1707	17.35
7			7	1708	20.48
8			8	1709	23.24
9			9	1710	25.6
10			10	1711	28.47
11			11	1712	31.65
12			12		
13			13		
14			14		
15			15		
16			16		
17			17		

Guardar Salir


Para la digitación de la toma de topografía se debe poseer la siguiente información:

- ✓ **Abscisa:** Abscisa en la cual se realizará el trabajo de la toma de topografía, sobre ella se trazará una transversal ó una bisectriz.
- ✓ **Tipo de Transversal:** Tipo de línea sobre la cual se tomará la topografía del terreno.



- ✓ **Cotas y Distancias:** Datos encontrados en el terreno a derecha y a izquierda de la poligonal de base. Se deben medir las cotas y distancias encontradas sobre la transversal ó bisectriz. Para introducir una cota cerrada en el eje, se digita la abscisa en la cual se encuentra y se escribe la cota cerrada ya sea a izquierda ó derecha con distancia cero(0).

Se tienen opciones similares a las de nivelación, para poder insertar ó borrar una línea, ya sea, a derecha ó a izquierda de la poligonal

Para guardar la información de la toma de topografía se debe hacer click con el mouse en el botón  ó presionar las teclas ALT-G


Capítulo 6

Opción Radiaciones

Esta opción se utiliza para un levantamiento con el método de Radiación y se encuentra conformada por varias opciones que son: **Radiación**, identificada con la letra **R** que se encarga de la entrada de la parte planimétrica de los focos y puntos de radiación que la conforman; **Nivelación Radiación**, identificada con la letra **I** que se encarga de la nivelación, contranivelación de las abscisas y puntos de la radiación.



RADIACION

Cuando se presiona click del mouse ó ENTER en el botón  se obtendrá una pantalla de la siguiente forma:

The screenshot shows a software window titled 'RADIACION [p.TESIS subp.1R]'. It contains several input fields and buttons:

- Código Punto:** A text box containing the number '1'. To its right are navigation buttons: a left arrow, a double left arrow, a double right arrow, and a right arrow.
- Código Punto Equipo (Foco de Radiación):** A text box containing the letter 'A'.
- Forma de Medición de Distancias:** A dropdown menu showing '1. Distancia con Cinta'. Below it is a text box for 'Distancia (m):' containing the value '50'.
- Forma de Medición de Angulos:** A dropdown menu showing '1. Azimutes Directos'. Below it is a text box for 'Azimut (g,m,s):' containing the value '45,0,0'.
- Tipo de Punto:** A dropdown menu showing '1. Extremo de un alineamiento'. To its right is an empty 'Identificador:' text box.
- Descripción:** An empty text box. To its right is a 'Código Alineamiento:' text box containing 'A-1'.
- Buttons:** A row of six icons with labels: 'Crear' (notepad), 'Modificar' (pencil), 'Cancelar' (trash), 'Listar' (list), 'Indexar' (printer), and 'Salir' (exit arrow).

La información planimétrica requerida para introducir datos de una radiación es la siguiente:


- **CODIGO PUNTO:** Cadena alfanumérica de hasta 12 caracteres que identifica un punto de radiación, es un extremo de un alineamiento ó un detalle
- **CODIGO PUNTO EQUIPO (FOCO DE RADIACIÓN):** Código del punto donde se ubica el equipo de medición para el trazado de los alineamientos componentes de la radiación.
- **FORMA DE MEDICION DE DISTANCIAS:** Metodología utilizada en campo para medir la longitud del alineamiento. Existen varias maneras de medir la longitud de un alineamiento y cada una de ellas ya se explicó en las poligonales (*ver FORMA DE MEDICION DE DISTANCIAS en Poligonales*)
- **FORMA DE MEDICION DE ANGULOS:** Metodología utilizada en campo para medir el ángulo entre los alineamientos. Existen varias maneras de medir el ángulo entre alineamientos y cada una de ellas ya se explicó en las poligonales (*ver FORMA DE MEDICION DE ANGULOS en Poligonales*)
- **TIPO DE PUNTO:** Tipo de punto que se esta levantando, si es un *extremo de un alineamiento* ó si es un *detalle*.

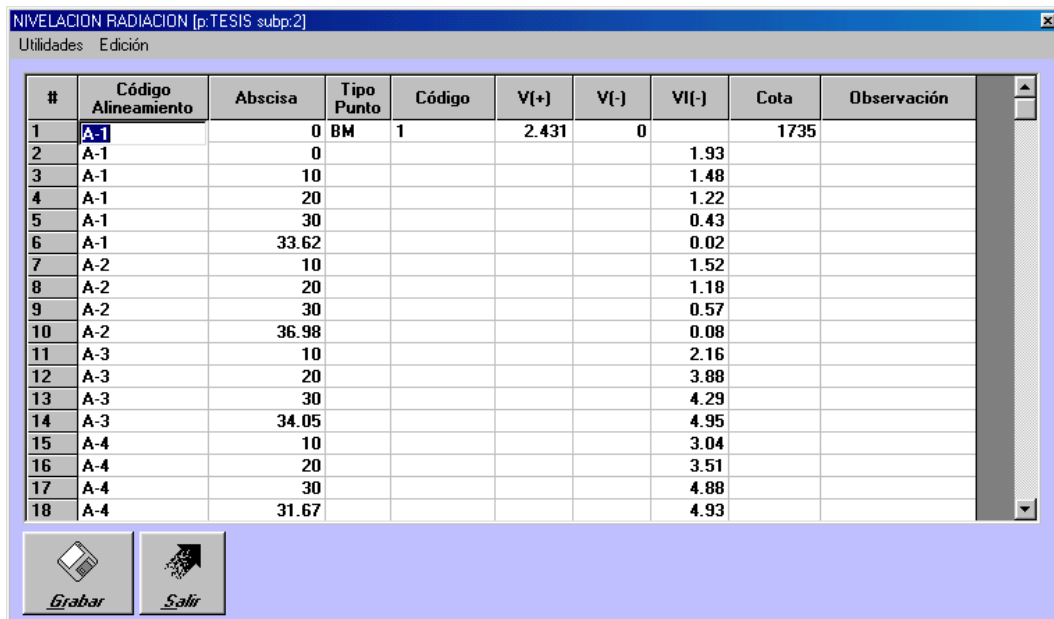
This is a close-up of the 'Tipo de Punto' dropdown menu. The selected option is '1. Extremo de un alineamiento'. The menu also shows another option, '2. Detalle'.

- **IDENTIFICADOR:** Cadena que identifica un grupo puntos levantados, por ejemplo todos los puntos pertenecientes a una *mall*a tomados en el levantamiento pueden llevar como identificador las letras *MLL*.
- **DESCRIPCION:** Cadena que describe el punto levantado
- **CODIGO ALINEAMIENTO:** Código que identifica un alineamiento, este parámetro se utiliza en el proceso de nivelación de la radiación.

El mantenimiento (crear, modificar, cancelar, listar, indexar) de la tabla de datos de *Radiaciones* se efectúa similarmente al que se realizó con los *Proyectos*.

NIVELACION RADIACION

Cuando se presiona click del mouse ó ENTER en el botón  se obtendrá una pantalla de la siguiente forma:



#	Código Alineamiento	Abscisa	Tipo Punto	Código	V(+)	V(-)	VI(-)	Cota	Observación
1	A-1	0	BM	1	2.431	0		1735	
2	A-1	0					1.93		
3	A-1	10					1.48		
4	A-1	20					1.22		
5	A-1	30					0.43		
6	A-1	33.62					0.02		
7	A-2	10					1.52		
8	A-2	20					1.18		
9	A-2	30					0.57		
10	A-2	36.98					0.08		
11	A-3	10					2.16		
12	A-3	20					3.88		
13	A-3	30					4.29		
14	A-3	34.05					4.95		
15	A-4	10					3.04		
16	A-4	20					3.51		
17	A-4	30					4.88		
18	A-4	31.67					4.93		

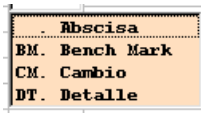
El sistema automáticamente genera el abscisado para realizar la nivelación. Se pueden incluir abscisas adicionales y de la misma forma incluir los puntos de control como BM's y Cambios.

Se deben digitar los datos requeridos para cada registro así:

- **CODIGO ALINEAMIENTO:** Código del alineamiento sobre el cual se realizará la nivelación
- **ABSCISA:** Abscisa a nivelar ó abscisa de control para puntos como detalles, BM's o cambios, sirve para darle orden a la nivelación y saber

con que altura instrumental, o sea, con que posición del equipo de nivelación se realizó la lectura V(-) ó VI(-) a la abscisa, detalle ó punto de control

- **TIPO DE PUNTO:** Si este campo se encuentra en blanco significa que la mira se encuentra ubicada en la abscisa correspondiente, si no, puede tomar alguno de estos valores: BM (Bench mark), CM (Cambios), DT (Detalles). Presionando la tecla F3 en este campo se desplegará un listado de los tipos de punto descritos



- **CODIGO:** Identificación del punto nivelado, si es un detalle se introduce su código, si es un cambio ó un BM es el consecutivo correspondiente.
- **V(+):** Lectura de mira a un BM ó un Cambio, utilizada para encontrar la altura instrumental
- **V(-):** Lectura de mira a un BM ó un Cambio, utilizada para encontrar la cota del punto de control
- **VI(-):** Lectura de mira a un punto de interés (abscisa, detalle), utilizada para encontrar la cota del punto
- **Cota:** Cota del BM inicial
- **Observación:** En este espacio se puede escribir en forma resumida donde se encuentran ubicados los puntos de control utilizados en la nivelación

Existen opciones para la manipulación de la información digitada, estas opciones se encuentran en el menú **Edición**.



Con este menú se pueden realizar las siguientes actividades:

- ✓ **Insertar Línea (F5):** Inserta una línea a la cartera de nivelación a partir de la ubicación actual del cursor
- ✓ **Borrar Línea (F6):** Borra una línea de la cartera de nivelación
- ✓ **Copiar Línea al Portapapeles (F7):** Opción que permite almacenar una línea de la cartera en el portapapeles, utilidad necesaria para repetir líneas en cartera

- ✓ **Pegar Línea del Portapapeles (F8):** Deposita en la cartera la línea guardada en el paso anterior
- ✓ **Copiar Cartera al Portapapeles (Ctrl-F7):** Copia toda la cartera digitada hasta el momento en el portapapeles con el fin de llevarla a otro editor ó a otro subproyecto ó proyecto
- ✓ **Pegar Cartera del Portapapeles (Ctrl-F8):** Deposita la cartera copiada en el portapapeles en el paso anterior

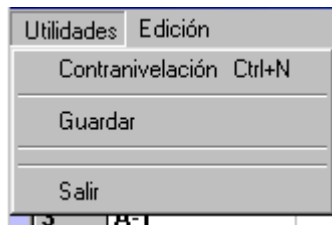
Para grabar la información digitada se debe hacer click con el mouse en el



botón

Existen otras utilidades las cuales permiten realizar lo siguiente:

- ✓ **Contranivelación (Ctrl-N):** permite la digitación de la cartera de contranivelación, la cual se explicará mas adelante
- ✓ **Guardar:** Guarda los datos digitados en la cartera de nivelación
- ✓ **Salir:** Vuelve al menú principal



CONTRANIVELACION


La cartera de contranivelación se introduce al sistema cuando se presiona click del mouse ó ENTER en la opción **Utilidades/Contranivelación ó Ctrl-N** y se realiza de igual manera a como se efectuó en las poligonales (*ver Nivelación Poligonales/Contranivelación*).

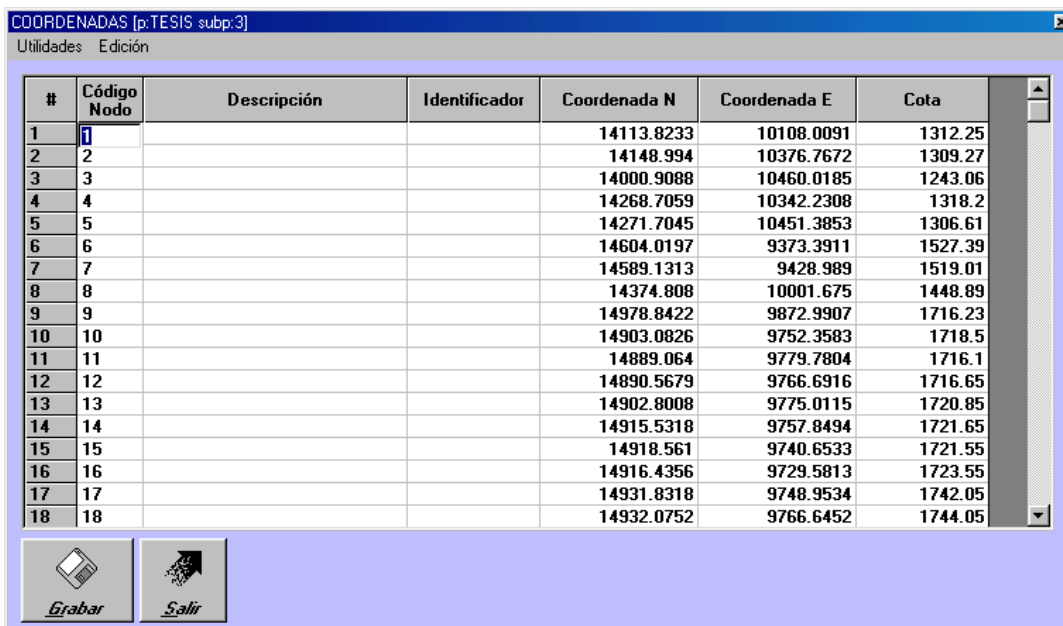
Capítulo 7

Opción Coordenadas

Este método maneja la información obtenida cuando se trabaja un levantamiento solo por coordenadas. Permite la entrada de nodos cada uno con las tres(3) coordenadas (N,E,Cota).



Haciendo click con el mouse en el botón  ó presionando las teclas Alt-O se obtiene una pantalla de la siguiente forma:



#	Código Nodo	Descripción	Identificador	Coordenada N	Coordenada E	Cota
1	1			14113.8233	10108.0091	1312.25
2	2			14148.994	10376.7672	1309.27
3	3			14000.9088	10460.0185	1243.06
4	4			14268.7059	10342.2308	1318.2
5	5			14271.7045	10451.3853	1306.61
6	6			14604.0197	9373.3911	1527.39
7	7			14589.1313	9428.989	1519.01
8	8			14374.808	10001.675	1448.89
9	9			14978.8422	9872.9907	1716.23
10	10			14903.0826	9752.3583	1718.5
11	11			14889.064	9779.7804	1716.1
12	12			14890.5679	9766.6916	1716.65
13	13			14902.8008	9775.0115	1720.85
14	14			14915.5318	9757.8494	1721.65
15	15			14918.561	9740.6533	1721.55
16	16			14916.4356	9729.5813	1723.55
17	17			14931.8318	9748.9534	1742.05
18	18			14932.0752	9766.6452	1744.05

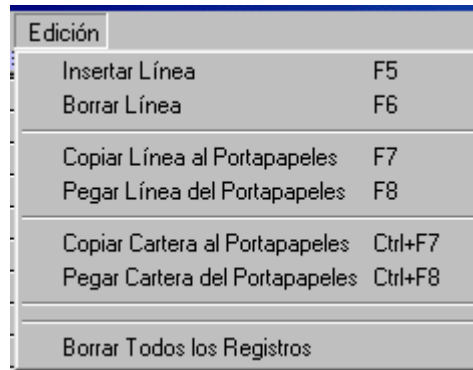
En esta pantalla se insertan los datos manualmente y con lo indicado mas adelante en la opción Importar se traen los datos automáticamente desde un archivo ó una hoja electrónica.

Se deben digitar los datos requeridos para cada registro así:

- **CODIGO NODO:** Cadena de caracteres que identifican el punto a introducir al sistema
- **DESCRIPCIÓN:** Detalle que caracteriza al nodo introducido

- **IDENTIFICADOR:** Cadena que identifica un nodo digitado, por ejemplo, todos los bordes de una calzada se pueden identificar con las letras **BC**.
- **COORDENADAS NORTE, ESTE y COTA:** Coordenadas del nodo

Existen opciones para la manipulación de la información digitada, estas opciones se encuentran en el menú **Edición**.



Con este menú se pueden realizar las siguientes actividades:

- ✓ **Insertar Línea (F5):** Inserta una línea a la cartera de coordenadas a partir de la ubicación actual del cursor
- ✓ **Borrar Línea (F6):** Borra una línea de la cartera de coordenadas
- ✓ **Copiar Línea al Portapapeles (F7):** Opción que permite almacenar una línea de la cartera en el portapapeles, utilidad necesaria para repetir líneas.
- ✓ **Pegar Línea del Portapapeles (F8):** Deposita en la cartera la línea guardada en el paso anterior
- ✓ **Copiar Cartera al Portapapeles (Ctrl-F7):** Copia toda la información digitada hasta el momento en el portapapeles con el fin de llevarla a otro editor, a otro subproyecto ó proyecto
- ✓ **Pegar Cartera del Portapapeles (Ctrl-F8):** Deposita la información copiada en el portapapeles en el paso anterior
- ✓ **Borrar Todos los Registros:** Función muy delicada, ya que, permite borrar rápidamente todos los registros digitados.

Para grabar la información digitada se debe hacer click con el mouse en el



Existen otras utilidades las cuales permiten realizar lo siguiente:

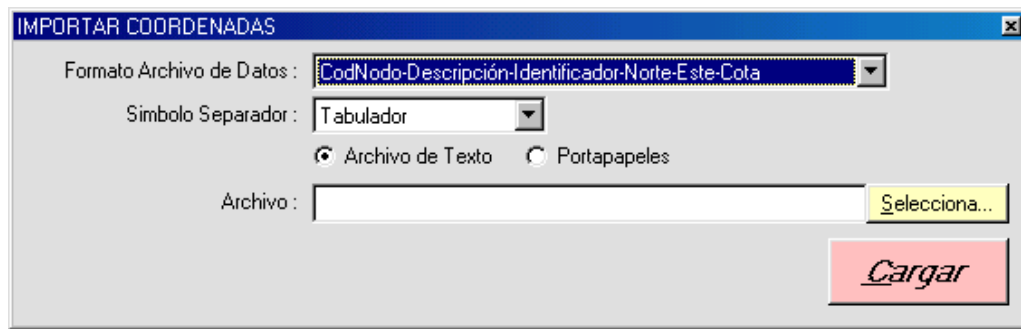
- ✓ **Guardar:** Guarda los datos digitados
- ✓ **Importar:** permite traer información digitada en otros programas como hojas electrónicas (Excel), archivos de texto, portapapeles de Windows, etc.



- ✓ **Salir:** Vuelve al menú principal

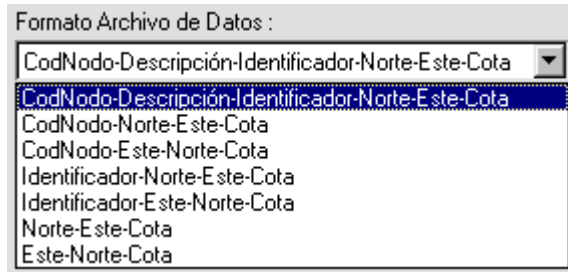
IMPORTAR

Para poder importar información de coordenadas al sistema se debe tener la siguiente información a saber:



- **Formato Archivo de Datos:** Con que formato se encuentran los datos que provienen del otro sistema. Los formatos que soporta el programa “**TOPO**” son los siguientes:

- 1. Código Nodo
2. Descripción
3. Identificador
4. Coordenada Este
5. Coordenada Norte
6. Cota
- 1. Código Nodo
2. Coordenada Norte
3. Coordenada Este
4. Cota
- 1. Código Nodo
2. Coordenada Este
3. Coordenada Norte
4. Cota
- 1. Identificador
2. Coordenada Norte
3. Coordenada Este
4. Cota
- 1. Identificador
2. Coordenada Este
3. Coordenada Norte



4. Cota

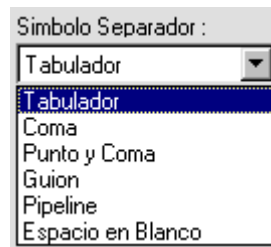
- 1. Coordenada Norte
2. Coordenada Este
3. Cota

- 1. Coordenada Este
2. Coordenada Norte
3. Cota

Nota : El número asociado a cada campo especifica la columna en que debe ir cada dato y el detalle el contenido de cada columna

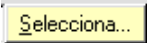
- **Símbolo Separador:** Especifica que carácter existe entre columna y columna en la información a importar. Los caracteres que pueden existir entre columna y columna son los siguientes:

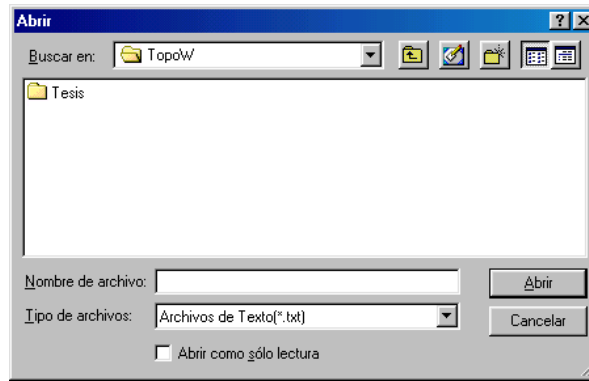
- Tabulador (Ascii 9)
- ,: Coma (Ascii 44)
- ;: Punto y Coma (Ascii 59)
- -: Guión (Ascii 45)
- |: Pipeline (Ascii 124)
- Espacio en Blanco (Ascii 32)




- **Origen de los Datos:** Sitio de donde provienen los datos, puede ser un **archivo de texto** existente en una carpeta ó del **portapeles**



Si es de un archivo de texto se debe especificar el nombre del archivo ó buscarlo con el botón 



Botón Selecciona

Después de configurar la interfase, se debe hacer click con el mouse en el botón  y confirmar el proceso, automáticamente el sistema transfiere del archivo de texto ó del portapapeles la información de los nodos.

Capítulo 8

Opción Secuencias


Esta opción permite el dibujo de polígonos abiertos ó cerrados, casas, canchas, canales, ó detalles en general, los cuales están formados por una serie continua de puntos (Deltas Nodos ó Detalles)

Haciendo click con el mouse en el botón *Secuencias para Dibujo* ó presionando las teclas Alt-E se obtiene una pantalla de la siguiente forma:

#	Tipo Punto	Código Punto
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		
11		
12		
13		
14		
15		
16		
17		

Cada secuencia de dibujo se debe identificar con un código alfanumérico de hasta 12 caracteres.

Código Secuencia:

Se puede obtener un listado de las secuencias almacenadas haciendo click en el plegable .

Cada secuencia debe contener dos columnas, una que especifica el tipo de punto introducido a la secuencia y la otra el código del punto ó la abscisa correspondiente.

Los tipos de puntos que se pueden incluir en una secuencia, que dependen del tipo de subproyecto que se tenga (Poligonal, Radiación, Coordenadas), son los siguientes:

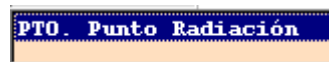
Para POLIGONALES:

- **DET:** Detalles
- **DLT:** Deltas
- **ABS:** Abscisas



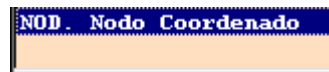
Para RADIACIONES:

- **PTO:** Puntos origen de radiación, o puntos radiados



Para COORDENADAS:

- **NOD:** Nodo Coordinado



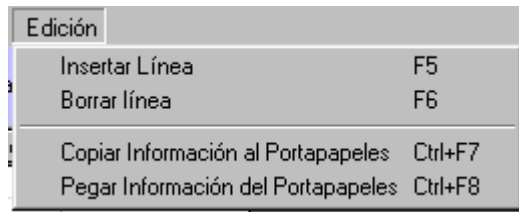
Cada una de estas opciones se puede listar presionando la tecla F3 cuando el cursor se encuentre dentro de la columna *Tipo Punto*.

En la columna código punto se deberá digitar el código correspondiente al delta, detalle, punto de radiación ó nodo, y si el tipo es ABS la abscisa de poligonal.

Para guardar la secuencia se debe hacer click con mouse en el botón



Existen opciones para la manipulación de la información digitada, estas opciones se encuentran en el menú **Edición**.



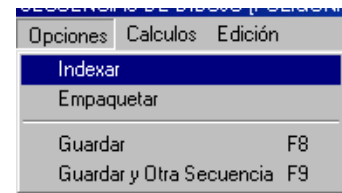
Con este menú se pueden realizar las siguientes actividades:

- ✓ **Insertar Línea (F5):** Inserta una línea a la secuencia a partir de la ubicación actual del cursor
- ✓ **Borrar Línea (F6):** Borra una línea de la secuencia
- ✓ **Copiar Información al Portapapeles (Ctrl-F7):** Copia toda la información digitada hasta el momento en el portapapeles con el fin de llevarla a otro editor, a otro subproyecto ó proyecto
- ✓ **Pegar Información del Portapapeles (Ctrl-F8):** Deposita la información copiada en el portapapeles en el paso anterior

Existen dos menús adicionales que permiten realizar lo siguiente:

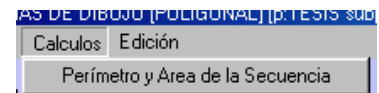
Menu **Opciones:**


- ✓ **Indexar:** Crea un índice de las secuencias guardadas para poder realizar la búsqueda correspondiente
- ✓ **Empaquetar:** Limpia la tabla de secuencias de los registros borrados con la opción *Edición/Borrar_Línea*.
- ✓ **Guardar (F8):** Guarda la secuencia digitada
- ✓ **Guardar y Otra Secuencia (F9):** Guarda y solicita el código de otra secuencia



Menú **Cálculos:**

- ✓ **Perímetro y Área de la Secuencia:** Cálcula el perímetro y el área de la secuencia digitada




Para grabar la información digitada se debe hacer click con el mouse en el botón .

Capítulo 9

Opción Cálculos

Esta opción identificada con la letra **C**, permite efectuar todos los cálculos.

Haciendo click con el mouse en el botón  ó presionando las teclas Alt-C el sistema realizará internamente cada uno de los siguientes procesos:


- ⇒ Calcula las coordenadas de deltas, puntos y nodos
- ⇒ Si es una poligonal cerrada la ajusta, recalcula las coordenadas de los deltas y realiza el chequeo de cierre
- ⇒ Calcula las coordenadas de los detalles
- ⇒ Encuentra las cotas de los puntos de control (BM's, Cambios) y luego las cotas de las deltas, abscisas y detalles
- ⇒ Calcula las cotas de la cartera de contranivelación y chequea la precisión obtenida en la nivelación
- ⇒ En las poligonales, encuentra las coordenadas de todos los puntos de la toma de topografía
- ⇒ Calcula las coordenadas de los puntos que componen cada secuencia de dibujo existente en el subproyecto

Esta opción SOLO realiza los cálculos del Proyecto y Subproyecto actualmente predeterminados.

Capítulo 10

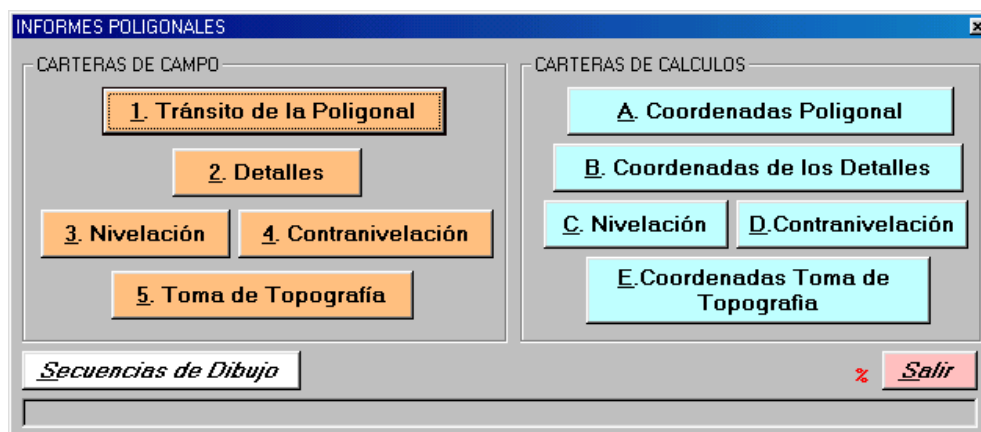
Opción Informes



Haciendo click con el mouse en el botón  ó presionando las teclas Alt-I, el sistema permite imprimir todos los datos introducidos en el programa.

Un ejemplo de cada informe que genera el programa “TOPO” se mostrará a continuación:

✓ Informes POLIGONALES



CARTERA DE CAMPO DE TRANSITO DE LA POLIGONAL

***** D I S T A N C I A *****				***** A N G U L O *****			
Alineamiento	DeltaI	DeltaF	Cinta:	Distancia	Azimet:	Azimet (GMS)	
			Abscisas:	Abs_Ini	Abs_Fin	Deflexión:	G.M.S.Sentido TipoRef CodRef Cierre
			Distanmetro:	Dist_Incl	Ang_Vertic	H_Eq	H_Ba
			Taquimetria:	Ang_Vertic	HS	HM	HI
			Coordenadas:	Norte	Este	Cota	
1	1	2	Cinta:	51.270	Azimet:	113,45,20	
2	2	3	Cinta:	67.210	Angulo:	122,22,0,N Delta: 1	
3	3	4	Cinta:	35.540	Azimet:	215,4,10	
4	4	5	Cinta:	101.780	Azimet:	262,13,30	
5	5	6	Cinta:	87.480	Azimet:	144,2,20	
6	6	7	Cinta:	63.480	Azimet:	108,41,0	
7	7	8	Cinta:	38.310	Azimet:	218,19,0	
8	8	9	Cinta:	54.930	Azimet:	240,30,0	

CARTERA DE CAMPO DE LOS DETALLES DE LA POLIGONAL

		Punto Equipo												
Detalle	Descripcion	Ident	Tip	Codigo	Rad:	Az:	Azimet (GMS)	Cint:	Distancia					
					Def:	GMS.Sentido	TpR	CodRef	DstM:	Dist_Incl	Ang_Vertic	H_Eq	H_Ba	
					Per:	GMS.Sentido	TpR	CodRef	Taqu:	Ang_Vertic	H_Eq	HS	HM	HI
					Coo:	Sentido								
						Norte	Este	Cota						

CARTERA DE CAMPO DE NIVELACION

Abscisa	Punto	Codigo	V(+)	V(-)	VI (-)	Cota	Observacion
0						1700.000	
0	BM	1	3.659	0.000			
10					4.470		
20					3.890		
30					2.670		
40					1.850		
50					1.110		
51.27					1.050		
51.27	CM	1	4.221	1.031			
60					3.180		
70					2.150		
80					1.110		
90					0.210		
90	CM	2	4.663	0.160			
100					4.190		
110					3.700		
118.48					3.450		
120					3.270		
130					1.990		
140					1.640		
150					2.260		
.							
390					2.550		
400					1.810		
406.76					2.530		
410					2.260		
420					1.500		
430					1.800		
440					2.950		
445.07					2.970		
450					2.990		
460					3.920		
460	CM	6	1.028	3.907			
470					1.950		
480					2.640		
490					3.040		
500					4.060		
500	BM	2		2.704			

CARTERA CAMPO DE CONTRANIVELACION POLIGONAL

Punto	Codigo	V(+)	V(-)	Cota
BM	2	2.704	0.000	1713.751
CM	6	3.842	1.027	
CM	5	0.278	3.659	
CM	4	0.830	4.799	
CM	3	2.126	2.408	
CM	2	0.258	4.959	
CM	1	0.819	4.318	
BM	1		3.445	

CARTERA CAMPO DE TOMA DE TOPOGRAFÍA POLIGONAL

Cota/Distancia	I z q u i e r d a			Cota/Abscisa	D e r e c h a			
1697.0/36.0	1698.0/16.4	1699.0/2.7		1699.2/0.000	1700.0/7.36	1701.0/12.34	1702.0/18.2	1703.0/23.28
					1704.0/26.92	1705.0/31.1		
1697.0/42.84	1698.0/23.54	1699.0/9.2		1699.8/10.000	1700.0/1.5	1701.0/5.66	1702.0/10.56	1703.0/14.66
					1704.0/17.86	1705.0/21.46	1706.0/24.43	1707.0/27.15
				1700.0/11.020				
1698.0/31.21	1699.0/17.69	1700.0/7.73		1701.0/20.000	1701.0/0.05	1702.0/4.85	1703.0/9.66	1704.0/12.9
					1705.0/15.88	1706.0/19.16	1707.0/21.73	1708.0/24.83
					1709.0/27.57	1710.0/30.34		
				1701.0/20.400				
1699.0/30.63	1700.0/13.7	1701.0/4.25		1701.8/30.000	1702.0/0.95	1703.0/5.39	1704.0/8.56	1705.0/11.68
					1706.0/14.45	1707.0/17.35	1708.0/20.48	1709.0/23.24
					1710.0/25.6	1711.0/28.47	1712.0/31.65	
.								
1713.0/7.63	1714.0/4.4	1715.0/1.3		1715.4/460.000	1716.0/2.12	1717.0/6.1	1718.0/9.88	1719.0/14.73
					1720.0/22.28			
				1715.0/466.600				
1712.0/8.46	1713.0/6.4	1714.0/3.08		1714.5/470.000	1715.0/1.26	1716.0/5.95	1717.0/10.11	1718.0/14.08
					1719.0/18.23	1720.0/28.73		
				1714.0/476.540				
1711.0/11.4	1712.0/7.18	1713.0/3.93		1713.8/480.000	1714.0/0.9	1715.0/4.34	1716.0/9.29	1717.0/13.59
					1718.0/18.53	1719.0/23.78	1720.0/38.0	
	1712.0/5.8	1713.0/1.8		1713.4/490.000	1714.0/3.9	1715.0/7.91	1716.0/13.31	1717.0/18.91
					1718.0/24.71	1719.0/34.63		

1713.0/493.600
 1711.0/7.16 1712.0/1.94 1712.4/500.000 1713.0/2.4 1714.0/6.95 1715.0/11.89 1716.0/17.77
 1717.0/25.07 1718.0/38.32

CARTERA DE CALCULO COORDENADAS POLIGONAL

Alineamiento	Delta	Distancia	Azimut	Azimut		***Proyeccion***		***Proyec_Corr**		***** COORDENADAS *****	
				Corregido	NS	EW	NS	EW	Norte	Este	
1	1	51.270	113,45,20		-20.653	46.926			1000.000	1000.000	
2	2	67.210	171,23,20		-66.452	10.063			979.347	1046.926	
3	3	35.540	215,4,10		-29.088	-20.420			912.894	1056.989	
4	4	101.780	262,13,30		-13.769	-100.844			883.806	1036.569	
5	5	87.480	144,2,20		-70.808	51.371			870.037	935.725	
6	6	63.480	108,41,0		-20.335	60.135			799.230	987.096	
7	7	38.310	218,19,0		-30.058	-23.752			778.894	1047.231	
8	8	54.930	240,30,0		-27.049	-47.809			748.837	1023.478	
	9								721.788	975.670	

CARTERA DE CALCULO COORDENADAS DETALLES POLIGONAL

Detalle	Descripcion	*Punto Equipo*		Distancia	Azimut (g,m,s)	***** COORDENADAS *****	
		Ident	Tip			Codigo	Norte
A1	ARBOL 1	DLT:1		14.600	34,6,10	1012.089	1008.186
E1	ESQUINA CASA 1	ABS:56.8		13.440	261,23,20	971.867	1034.466

CARTERA DE CALCULO DE NIVELACION POLIGONAL

Abscisa	Punto	Codigo	V(+)	A_Instr	V(-)	VI(-)	Cota	Observacion
0							1700.000	
0	BM	1	3.659	1703.659	0.000		4.470	1699.189
10							3.890	1699.769
20							2.670	1700.989
30							1.850	1701.809
40							1.110	1702.549
50							1.050	1702.609
51.27							1.050	1702.609
51.27	CM	1	4.221	1706.849	1.031			1702.628
60							3.180	1703.669
70							2.150	1704.699
80							1.110	1705.739
90							0.210	1706.639
90	CM	2	4.663	1711.352	0.160			1706.689
100							4.190	1707.162
110							3.700	1707.652
118.48							3.450	1707.902
120							3.270	1708.082
130							1.990	1709.362
140							1.640	1709.712
150							2.260	1709.092
154.02							2.610	1708.742
160							2.300	1709.052
170							1.840	1709.512
170	CM	3	2.330	1711.851	1.831			1709.521
180							2.240	1709.611
190							2.370	1709.481
.								
.								
.								
460	CM	6	1.028	1716.455	3.907			1715.427
470							1.950	1714.505
480							2.640	1713.815
490							3.040	1713.415
500							4.060	1712.395
500	BM	2		1713.751	2.704			1713.751

CARTERA DE CALCULO DE CONTRANIVELACION POLIGONAL

Punto	Codigo	V(+)	A_Instr	V(-)	Cota
BM	2	2.704	1716.455	0.000	1713.751
CM	6	3.842	1719.270	1.027	1715.428
CM	5	0.278	1715.889	3.659	1715.611
CM	4	0.830	1711.920	4.799	1711.090
CM	3	2.126	1711.638	2.408	1709.512
CM	2	0.258	1706.937	4.959	1706.679
CM	1	0.819	1703.438	4.318	1702.619
BM	1		1699.993	3.445	1699.993

Codigo BM Inicial : 1
 Cota Nivelacion : 1700.000

Cota Contranivelacion : 1699.993
 Longitud Poligonal (m) : 500
 Diferencia (mm) : 7
 Error Maximo Permitido (mm) : 14 *** Ok ***

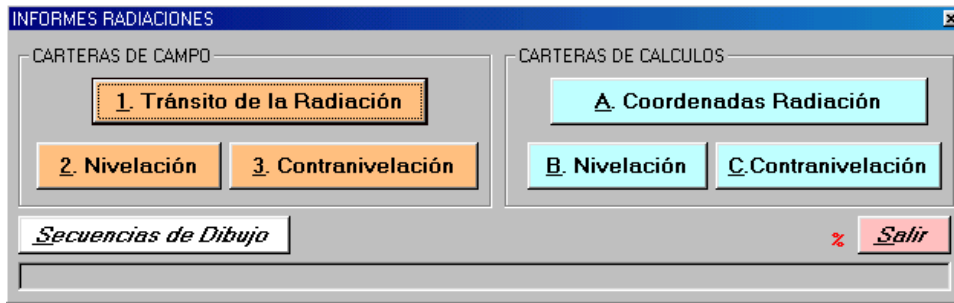
CARTERA DE CALCULO DE COORDENADAS TOMA DE TOPOGRAFIA

Abscisa	Tipo_Transversal	Distancia	I/D	Cota	Coord_Norte	Coord_Este
0	Transversal	2.70	I	1699.0	1002.471	1001.088
		16.40	I	1698.0	1015.010	1006.607
		36.00	I	1697.0	1032.950	1014.502
		7.36	D	1700.0	993.264	997.035
		12.34	D	1701.0	988.706	995.029
		18.20	D	1702.0	983.342	992.668
		23.28	D	1703.0	978.692	990.622
		26.92	D	1704.0	975.361	989.156
		31.10	D	1705.0	971.535	987.472
10	Transversal	9.20	I	1699.0	1004.392	1012.859
		23.54	I	1698.0	1017.517	1018.635
		42.84	I	1697.0	1035.182	1026.410
		1.50	D	1700.0	994.599	1008.548
		5.66	D	1701.0	990.791	1006.873
		10.56	D	1702.0	986.306	1004.899
		14.66	D	1703.0	982.554	1003.247
		17.86	D	1704.0	979.625	1001.958
		21.46	D	1705.0	976.330	1000.508
		24.43	D	1706.0	973.612	999.311
.						
.						
.						
		4.34	D	1715.0	735.414	990.940
		9.29	D	1716.0	739.722	988.502
		13.59	D	1717.0	743.464	986.385
		18.53	D	1718.0	747.764	983.952
		23.78	D	1719.0	752.333	981.367
		38.00	D	1720.0	764.710	974.365
490	Transversal	1.80	I	1713.0	725.145	985.260
		5.80	I	1712.0	721.664	987.229
		3.90	D	1714.0	730.106	982.453
		7.91	D	1715.0	733.597	980.478
		13.31	D	1716.0	738.296	977.819
		18.91	D	1717.0	743.170	975.062
		24.71	D	1718.0	748.219	972.206
		34.63	D	1719.0	756.852	967.321
493.6	Transversal	0.00	I	1713.0	724.939	981.240
500	Transversal	1.94	I	1712.0	720.099	976.625
		7.16	I	1711.0	715.556	979.196
		2.40	D	1713.0	723.877	974.488
		6.95	D	1714.0	727.837	972.247
		11.89	D	1715.0	732.136	969.815
		17.77	D	1716.0	737.254	966.919
		25.07	D	1717.0	743.608	963.325
		38.32	D	1718.0	755.140	956.800

SECUENCIAS DE DIBUJO

***** COORDENADAS *****					
Secuencia	Tipo Punto	Codigo_Punto	Norte	Este	Cota
A	DLT 1		1000.000	1000.000	0.000
	DLT 2		979.347	1046.926	0.000
	DLT 3		912.894	1056.989	0.000
	DLT 1		1000.000	1000.000	0.000
Perimetro : 222.572m			Area : 1,455.2534m²		
B	DLT 2		979.347	1046.926	0.000
	DLT 3		912.894	1056.989	0.000
	DLT 5		870.037	935.725	0.000
	DLT 9		721.788	975.670	0.000
Perimetro : 349.362m			Area : (6,181.1610)m²		

✓ Informes **RADIACIONES**



CARTERA DE CAMPO DE TRANSITO RADIACIÓN

		***** D I S T A N C I A *****						***** A N G U L O *****					
Punto	Foco	Tipo_Punto	Cinta:	Distancia	Dist_Incl	Ang_Vertic	H_Eq	H_Ba	Azimet:	Azimet (GMS)	Deflexión:	G.M.S.Sentido	CodRef
			Taquiometria:	Ang_Vertic	HS	HM	HI	Angulo:	G.M.S.Sentido	CodRef			
			Coordenadas:	Norte	Este	Cota							
1	A	1	Cinta:	33.620					Azimet:	25,30,0			
2	A	1	Cinta:	36.980					Azimet:	85,28,0			
3	A	1	Cinta:	34.050					Azimet:	182,57,0			
4	A	1	Cinta:	31.670					Azimet:	268,10,0			
5	A	1	Cinta:	42.910					Azimet:	153,5,0			
A1	A	2	Cinta:	4.670					Azimet:	56,8,0			

CARTERA DE CAMPO DE NIVELACION RADIACION

Cod_Alineam	Abscisa	Punto	Codigo	V(+)	V(-)	VI(-)	Cota	Observacion
A-1	0	BM	1	2.431	0.000		1735.000	
A-1	0					1.930		
A-1	10					1.480		
A-1	20					1.220		
A-1	30					0.430		
A-1	33.62					0.020		
A-2	10					1.520		
A-2	20					1.180		
A-2	30					0.570		
A-2	36.98					0.080		
A-3	10					2.160		
A-3	20					3.880		
A-3	30					4.290		
A-3	34.05					4.950		
A-4	10					3.040		
A-4	20					3.510		
A-4	30					4.880		
A-4	31.67					4.930		
A-5	10					1.830		
A-5	20					2.090		
A-5	30					2.910		
A-5	40					3.770		
A-5	42.91					4.920		
A-A1	4.67					1.760		

CARTERA DE CALCULO DE COORDENADAS RADIACIÓN

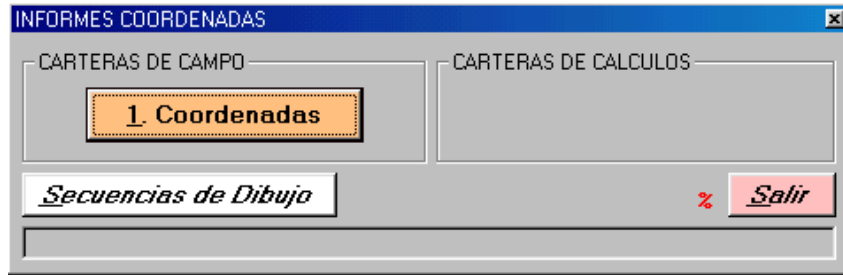
		****Proyeccion****				***** COORDENADAS *****		
Foco	Punto	Alineam.	Distancia	Azimet	NS	EW	Norte	Este
A							1000.000	2000.000
1	A-1		33.620	25,30,0	30.345	14.474	1030.345	2014.474
2	A-2		36.980	85,28,0	2.923	36.864	1002.923	2036.864
3	A-3		34.050	182,57,0	-34.005	-1.752	965.995	1998.248
4	A-4		31.670	268,10,0	-1.013	-31.654	998.987	1968.346
5	A-5		42.910	153,5,0	-38.261	19.425	961.739	2019.425
A1	A-A1		4.670	56,8,0	2.602	3.878	1002.602	2003.878

CARTERA DE CALCULO NIVELACION RADIACION

Alineam.	Abscisa	Punto	Codigo	V(+)	A_Instr	V(-)	VI(-)	Cota	Observacion
A-1	0	BM	1	2.431	1737.431	0.000		1735.000	
A-1	0						1.930	1735.501	
A-1	10						1.480	1735.951	
A-1	20						1.220	1736.211	
A-1	30						0.430	1737.001	
A-1	33.62						0.020	1737.411	
A-2	10						1.520	1735.911	
A-2	20						1.180	1736.251	

A-2	30	0.570	1736.861
A-2	36.98	0.080	1737.351
A-3	10	2.160	1735.271
A-3	20	3.880	1733.551
A-3	30	4.290	1733.141
A-3	34.05	4.950	1732.481
A-4	10	3.040	1734.391
A-4	20	3.510	1733.921
A-4	30	4.880	1732.551
A-4	31.67	4.930	1732.501
A-5	10	1.830	1735.601
A-5	20	2.090	1735.341
A-5	30	2.910	1734.521
A-5	40	3.770	1733.661
A-5	42.91	4.920	1732.511
A-A1	4.67	1.760	1735.671

✓ Informes COORDENADAS



CARTERA DE CAMPO COORDENADAS

***** COORDENADAS *****				***** COORDENADAS *****			
Nodo	Norte	Este	Cota	Nodo	Norte	Este	Cota
1	14113.823	10108.009	1312.250	2	14148.994	10376.767	1309.270
3	14000.909	10460.019	1243.060	4	14268.706	10342.231	1318.200
5	14271.705	10451.385	1306.610	6	14604.020	9373.391	1527.390
7	14589.131	9428.989	1519.010	8	14374.808	10001.675	1448.890
9	14978.842	9872.991	1716.230	10	14903.083	9752.358	1718.500
11	14889.064	9779.780	1716.100	12	14890.568	9766.692	1716.650
13	14902.801	9775.012	1720.850	14	14915.532	9757.849	1721.650
15	14918.561	9740.653	1721.550	16	14916.436	9729.581	1723.550
17	14931.832	9748.953	1742.050	18	14932.075	9766.645	1744.050
19	14921.901	9780.237	1734.050	20	14904.996	9794.496	1727.050
21	14929.810	9791.455	1741.050	22	14926.933	9803.592	1740.050
23	14876.773	9796.888	1719.950	24	14875.219	9798.146	1716.050
25	14891.176	9867.330	1712.600	26	14938.389	9776.516	1736.490
27	14944.702	9786.387	1728.930	28	14938.873	9796.329	1731.970
29	14947.935	9801.203	1722.900	30	14936.370	9731.517	1721.550
31	14933.340	9724.432	1721.450	32	14883.806	9763.322	1716.700
33	14897.311	9747.086	1718.350	34	14878.185	9780.766	1716.180
35	14956.998	9806.078	1713.820	36	14951.015	9796.257	1721.380
37	14874.327	9794.242	1732.070	38	14899.530	9903.122	1709.440
39	14890.590	9808.858	1714.870	40	14898.950	9907.955	1709.430
41	14887.208	9781.937	1716.560	42	14863.413	9895.504	1691.000
43	14981.980	9885.334	1727.330	44	14997.760	9871.256	1708.510
45	15000.704	9884.945	1712.970	46	15003.648	9898.634	1717.420
47	15006.592	9912.323	1721.880	48	14907.184	9902.054	1709.440
49	14901.568	9882.259	1710.460	50	14901.491	9845.851	1712.750

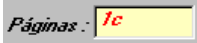
Cada uno de estos informes se puede ver por pantalla, ó también imprimirlos directamente en la impresora predeterminada por Windows. Para ello el sistema muestra cada una de estas opciones de la siguiente forma:



Destino

Especifica donde se quiere ver el informe así:

- ✓ **Pantalla:** Muestra el informe en el Block de Notas de Windows.
- ✓ **Impresora:** Saca el informe en impresora con el formato Windows.
- ✓ **Impresora MS-DOS:** Saca el informe en impresora con el formato DOS.

El número de páginas del informe aparece en el recuadro , si aparece la letra **C**, se debe imprimir en formato DOS configurando la impresora manualmente en condensado.

Páginas

Rango de paginas a imprimir. Esta opción no se encuentra activa cuando el informe se muestra por Pantalla. Si el rango de páginas se encuentra vacío, se imprimirán todas las páginas del informe.

Copias

Número de copias que se imprimirán, opción que no se encuentra activa cuando se muestra el informe por Pantalla.

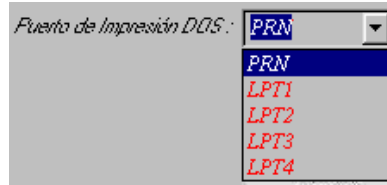
Windows posee una impresora predeterminada, la cual se puede cambiar



haciendo click en el botón . La impresora actualmente predeterminada por Windows se muestra en la pantalla así:



Para la impresión DOS, el sistema puede direccionar el informe por cualesquiera de los puertos configurados en el computador. Normalmente el puerto de impresión DOS es el PRN, pero este se puede cambiar haciendo click en la opción *Puerto de Impresión DOS* así:

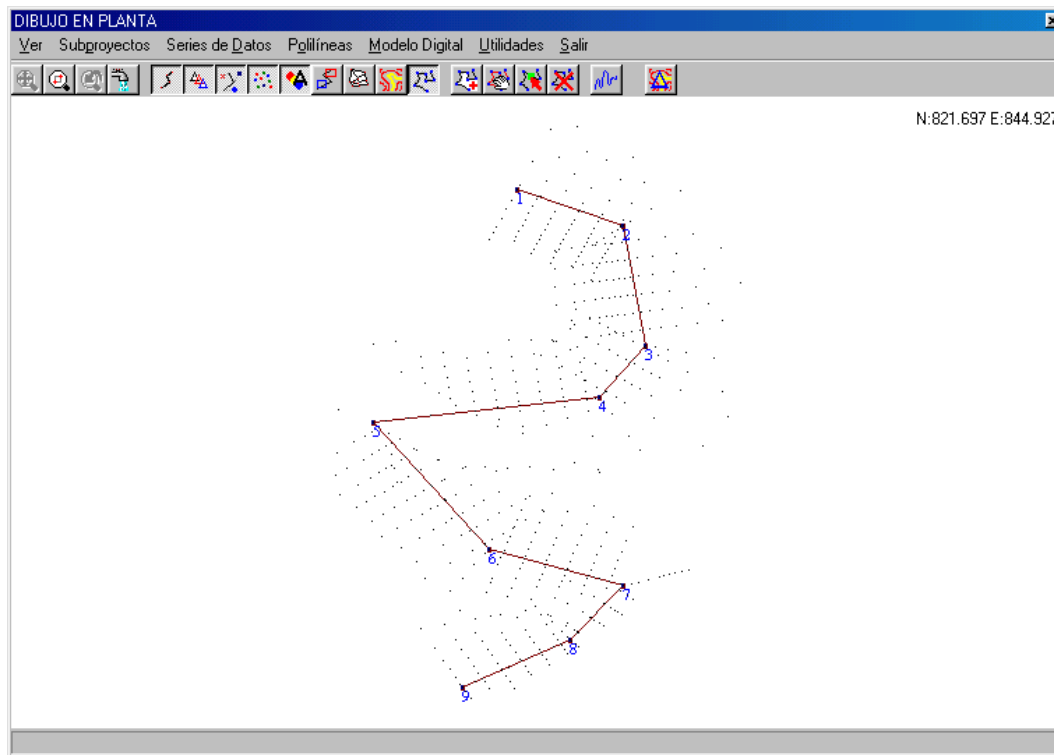


Capítulo 11

Opción Dibujo

Muestra un esquema (dibujo en planta) a escala con todos los datos (Deltas, Alineamientos, Detalles, Puntos, Nodos, Secuencias) introducidos en el(los) subproyecto(s) pertenecientes al proyecto predeterminado.

Haciendo click con el mouse en el botón  ó presionando las teclas Alt-D, el sistema muestra el dibujo.

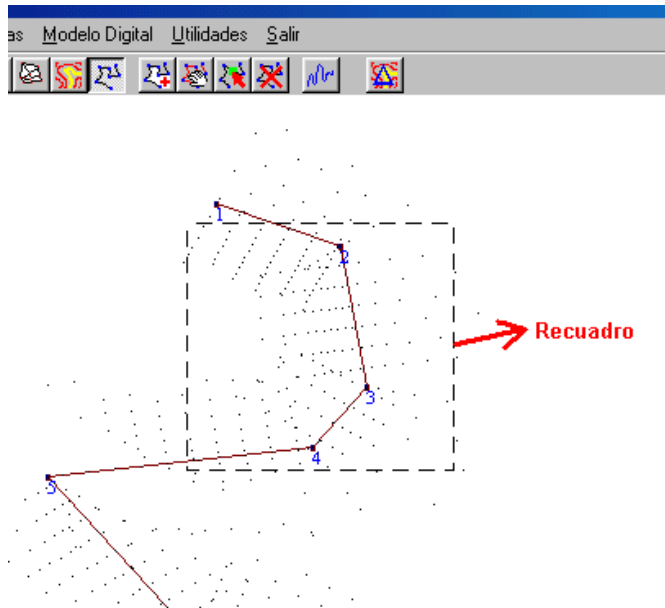
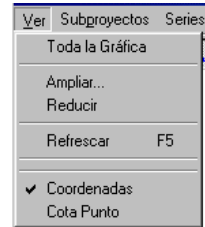


Existen múltiples opciones para la manipulación del dibujo, estas se describirán a continuación:

Menú **VER**:


Opción que permite que el usuario amplie(zoom) ó reduzca la gráfica.

- 🔍 **Toda la Gráfica:** Muestra todos los objetos (deltas, detalles, nodos, etc.) en la pantalla gráfica del sistema
- 🔍 **Ampliar...:** Permite al usuario ampliar (zoom) un pedazo de la gráfica. Para ello se debe barrer un recuadro con el mouse, el cual va ser ampliado.




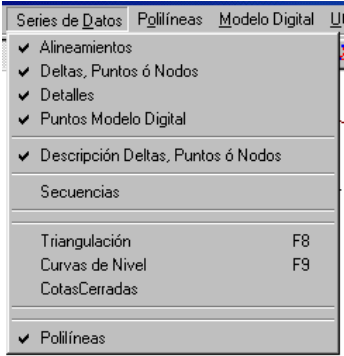









- 🔍 **Reducir:** Deshacer el proceso del *Ampliar...*
- 🔄 **Refrescar:** Redibujar la gráfica
- **Coordenadas:** Mostrar ó no en pantalla las coordenadas *Norte* y *Este* de la posición actual del mouse
- **Cota Punto:** Interpola en el modelo digital la *Cota* de la posición actual del mouse

Menú **SUBPROYECTOS:**

Define cual de los subproyectos pertenecientes al proyecto predeterminado se gráficán. Se pueden graficar todos los subproyectos haciendo click en la opción 

Menú **SERIES DE DATOS:**

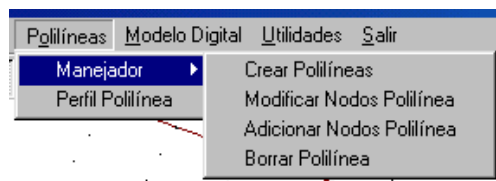
Especifica que información se graficará. Este menú posee las siguientes opciones:

	Alineamientos	
	Deltas, Puntos ó Nodos	
	Detalles	
	Puntos Modelo Digital	
	Descripción Deltas, Puntos ó Nodos	
	Secuencias	
	Triangulación (Modelo Digital)	
	Curvas de Nivel	
	Cotas Cerradas (Cotas cerradas interpoladas en el modelo digital)	
	Polilíneas (Polilíneas dibujadas con la <i>Menú POLILINEAS</i>)	


Haciendo click con el mouse se activará o desactivará cada una de las opciones.

Menú **POLILINEAS:**

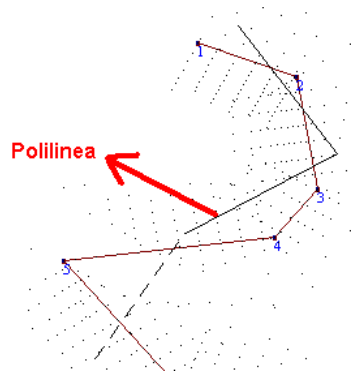
Una polilínea es una poligonal que el usuario traza a discreción encima del dibujo.



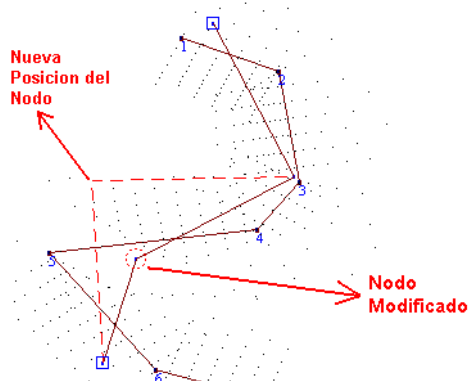
El sistema posee un manejador de polilíneas el cual posee las siguientes opciones:

-  **Crear Polilíneas:** Esta opción permite crear una polilínea, lo cual se realiza con el mouse haciendo click sobre la pantalla en cada delta de la polilínea y cuando se haya insertado el último delta se presiona el botón

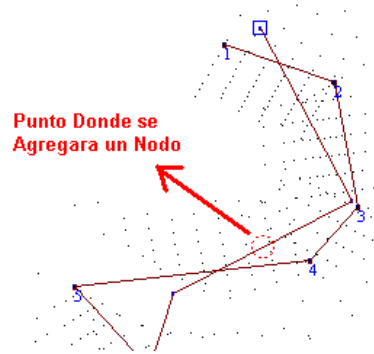
derecho del mouse ó ENTER para guardar la polilínea ó la tecla ESC para desecharla.



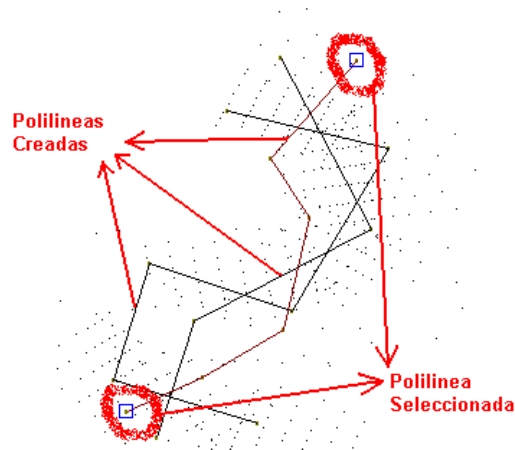
Modificar Nodos Polilínea: Esta opción permite mover los nodos de la polilínea, se debe hacer click en la polilínea a modificar y luego mover el(los) nodos a la nueva posición, si se quiere aceptar la modificación se debe presionar ENTER ó la tecla ESC para desecharla.



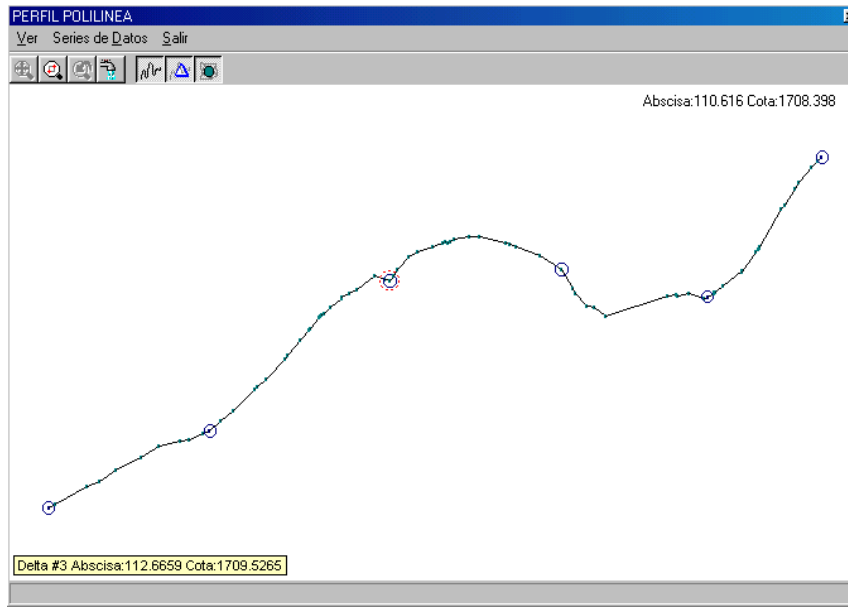
Adicionar Nodos Polilínea: Esta opción permite agregar uno ó varios nodos a una polilínea, se debe hacer click en la polilínea a modificar y luego hacer click donde se quiera agregar un nodo, si se quiere aceptar la modificación se debe presionar ENTER ó la tecla ESC para desecharla.



Borrar Polilínea: Esta opción permite borrar una ó varias polilíneas creadas, se debe hacer click en la(s) polilínea(s) a borrar y luego hacer si se quiere aceptar la cancelación se debe presionar ENTER ó la tecla ESC para desecharla.



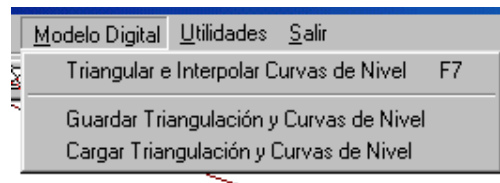
Perfil Polilínea: Muestra el perfil de una polilínea deducido a partir del *Modelo Digital* del terreno. Se debe hacer click en la polilínea a la cual se le desea ver el perfil. Mas adelante se comentará como hacer el *Modelo Digital* del terreno.



La manipulación del *Dibujo del Perfil* de una polilínea se realiza de la misma forma como se realizó con el *Dibujo en Planta*.

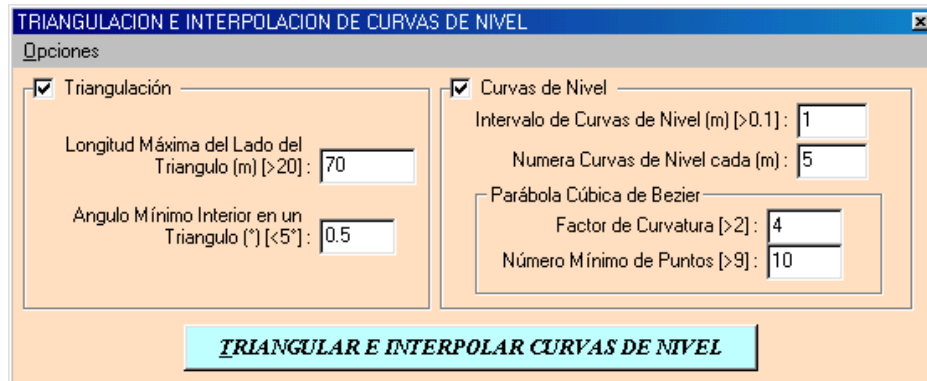
Menú **MODELO DIGITAL**

Esta opción crear el modelo digital del terreno, o sea, permite crear la triangulación y las curvas de nivel.



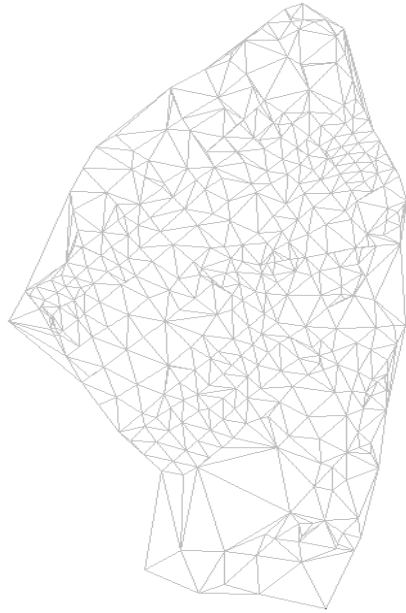
Triangular e Interpolar Curvas de Nivel

Esta opción permite la creación del modelo digital del terreno, para ello se requiere definir los siguientes parámetros a saber:



- **Longitud Máxima del Lado del Triangulo(m):** Este parámetro limita la dimensión del lado de los triángulos que conformarán el modelo digital. Un valor normal en levantamientos topográficos esta entre 60 y 120 m
- **Angulo Mínimo Interior en un Triángulo (°):** Angulo mínimo formado por dos lados de un triángulo, el valor recomendado es 0.5°.
- **Intervalo de Curvas de Nivel(m):** Valor que se utiliza para definir que cotas cerradas se toman en cuenta para la generación de curvas de nivel, por ejemplo si es 1 se tomaran todas las cotas cerradas enteras y si es 5 se tomaran todos los múltiplos de 5.
- **Numera Curvas de Nivel cada(m):** Rango para el cual se numeran las curvas de nivel, o sea, se etiquetarán cada una de las curvas cuya cota cerrada sea un múltiplo de este valor.
- **Factor de Curvatura:** Define que tan tortuosa va a ser la curva de nivel generada, un valor recomendado para este factor es 4
- **Número Mínimo de Puntos:** Número de puntos que se interpolaran entre triangulo y triangulo del *Modelo Digital* para la interpolación de puntos que darán forma a la curva de nivel. Un valor recomendado es 10.

Haciendo click en el botón **TRIANGULAR E INTERPOLAR CURVAS DE NIVEL** se generará el modelo digital y se interpolarán las cotas cerradas las cuales conformarán las curvas de nivel.



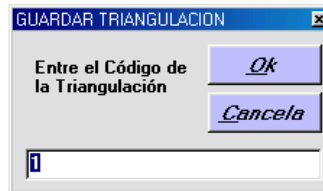
Triangulación (Modelo Digital)



Curvas de Nivel

Guardar y Cargar el Modelo Digital

Esta opción permite guardar mediante un número el modelo digital creado. Para ello se solicita un código con el cual se almacenará el modelo, por defecto el sistema toma como código el código del *Subproyecto*



Menú UTILIDADES:

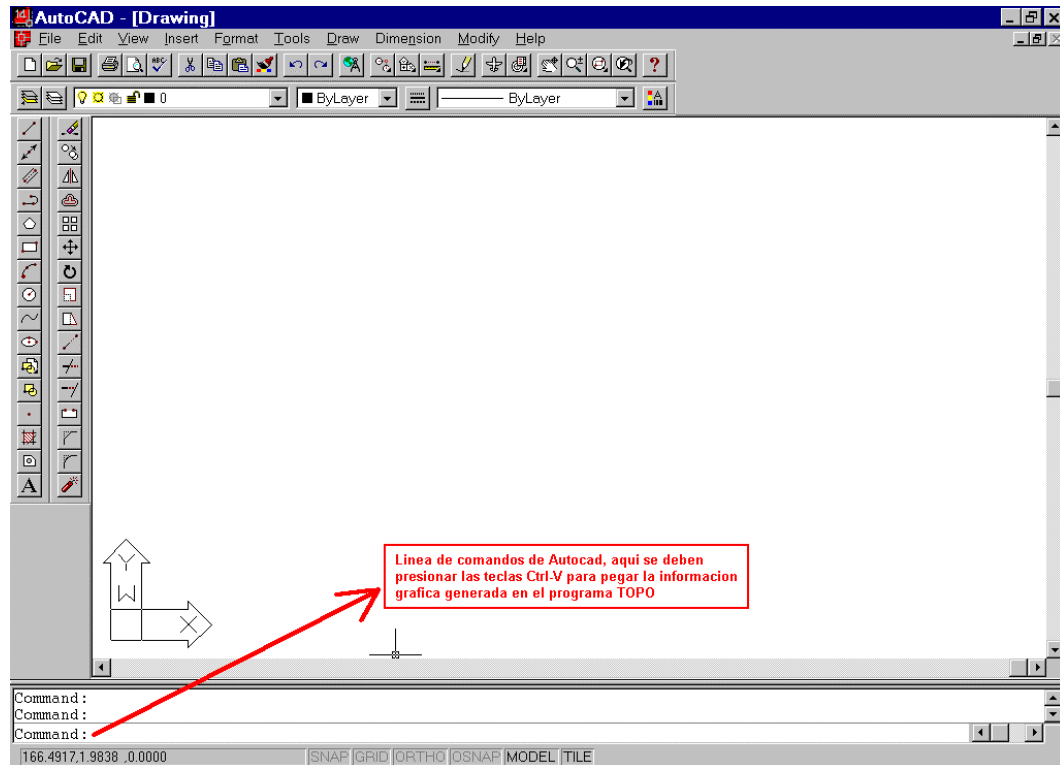
Este menú permite copiar los datos de la gráfica en el portapapeles de Windows y llevarlos a otro editor, ya sea de texto ó gráfico (Autocad).



Copiar Datos Gráfica al Portapapeles

Esta opción permite copiar los datos de la gráfica en el portapapeles, o permite crear una secuencia de sentencias necesarias para la generación del dibujo en AUTOCAD.

Cuando se copia la secuencia de sentencias de AUTOCAD en el portapapeles, esta se debe pegar presionando las teclas Ctrl-V en la línea de comandos de AUTOCAD.



De esta manera se pega el dibujo mostrado en el programa TOPO en el programa de dibujo AUTOCAD, en el cual se puede digitalizar los planos correspondientes.

UNA MIRADA A LA MODELACIÓN DIGITAL DE TERRENOS EN TOPOGRAFIA

Armando Orobio Quiñones*
Efraín Solano Fajardo*

INTRODUCCION

El modelo digital de un terreno (DTM¹) consiste en la representación continua de la superficie de un terreno en forma digital por medio de una gran cantidad de puntos seleccionados con coordenadas Norte, Este y Elevación. El desarrollo de las ciencias computacionales y de técnicas de visualización digital han hecho posible que se cuente con este tipo de representación con un gran campo de aplicación en la Ingeniería. La figura 1 muestra una fotografía del modelo digital de un terreno, al lado izquierdo se ve el plano de curvas de nivel y en la derecha una representación tridimensional de la superficie.



Figura 1. Representaciones digitales de un terreno

PROCESO DE GENERACIÓN DE UN DTM MEDIANTE MEDICIONES TOPOGRÁFICAS

1. Recolección de Datos de Campo

Obtener los datos necesarios para la generación de un DTM requiere la realización de las mediciones en campo de las coordenadas Norte, Este y Elevación de una serie de puntos especialmente seleccionados los cuales permiten la generación digital del terreno de la forma más precisa. Estos puntos deben estar distribuidos a lo largo de toda la superficie y se toman con especial interés aquellos puntos en donde la pendiente cambie o existan irregularidades. La cantidad de puntos requeridos varía de acuerdo a las características topográficas

* Profesores del Departamento de Vías y Transporte de la Universidad del Cauca

¹ Digital Terrain Modelling

siendo necesario un mayor número de puntos en terrenos montañosos y un menor número en terrenos mas planos. La realización de este trabajo se hace de una manera práctica y sencilla mediante el uso de una o varias Estaciones Totales² trabajando simultáneamente. El procesamiento de esta nube de puntos inicia con su incorporación en un sistema de dibujo digital³. La figura 2 muestra el resultado final de un proceso de captura de datos de campo tomados en la finca La Sultana de propiedad de la Universidad del Cauca. La nube de puntos fue tomada con una estación total y en la cual puede verse la distribución de los mismos sobre la superficie del terreno.

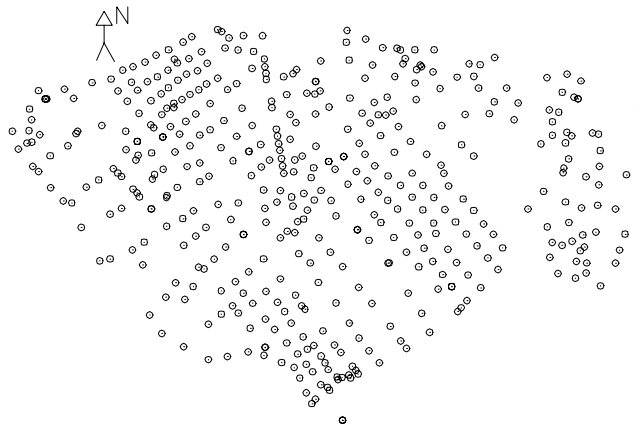


Figura 2. Nube de puntos: Finca " La Sultana "

2. Generación de la Triangulación

El modelo de Triangulación TIN⁴ es una manera simple de construir la superficie del terreno a partir de una nube irregular de puntos. La triangulación se realiza conectando los puntos mediante líneas para formar triángulos. Cada punto se considera como un nodo al interior de la triangulación y debe tener no solo las coordenadas norte y este sino también el valor de la elevación. Cada triángulo representa una superficie y describe el comportamiento de una porción del terreno. La unión de todos los triángulos representará la superficie total del terreno. Las coordenadas de los nodos pueden ser usadas para estimar información referente al área, longitud y pendiente. La utilización de triángulos asegura que cada área encaje perfectamente con sus adyacentes dándole continuidad a la superficie y cada área triangular estará definida por las

² Equipos electrónicos modernos utilizados en trabajos topográficos que permiten el almacenamiento de datos y la transferencia de archivos al computador.

³ Programa Computacional de dibujo, los mas conocidos son los tipo CAD

⁴ Triangulated Irregular Network

coordenadas espaciales de sus vértices. La figura 3 presenta la triangulación realizada a la nube de puntos de la figura anterior.

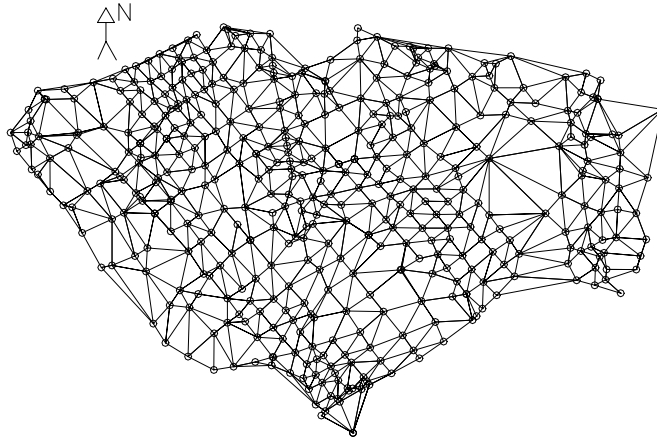


Figura 3. Triangulación nube de puntos de la figura 1

3. Generación de la Topografía del Terreno

La generación de la topografía del terreno consiste en la realización de la interpolación de las curvas de nivel. El proceso de triangulación permite obtener un modelo de la superficie del terreno conformado por una red irregular de triángulos. Cada triángulo está conformado por tres nodos y tres ejes, cada eje tiene dos únicos nodos mientras que cada nodo puede tener un número indefinido de ejes. El proceso a realizar es el de calcular a lo largo de cada eje el número de cotas redondas contenidas en toda su longitud determinando las coordenadas de los puntos que las identifican, esto se hace a partir de las cotas de cada uno de los dos nodos que contiene el eje y mediante un proceso de interpolación lineal. El resultado final será una serie de puntos de igual cota que van a ser unidos mediante líneas de curvatura suave, las cuales representan las curvas de nivel del terreno. El resultado final de este proceso para la nube de puntos de la finca La Sultana se puede ver en la figura 4.

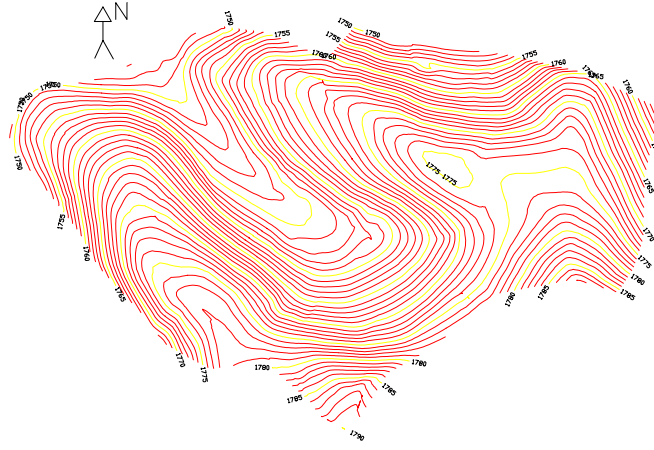


Figura 4. Plano de curvas de nivel, finca “ La Sultana ”

4. Generación de la vista 3D del terreno

El desarrollo de las técnicas de visualización digital por computador nos permiten generar una vista tridimensional del terreno tal como podemos apreciar en la figura.5 que se presenta a continuación.



Figura 5. Vista tridimensional, finca “ La Sultana ”

APLICACIONES.

Los modelos digitales de un terreno tienen grandes aplicaciones dentro de la ingeniería entre las cuales se pueden mencionar:

- Aplicación en el diseño geométrico de carreteras
- Estimación de curvas de nivel y realización de mapas topográficos
- Cálculo de pendientes de alineamientos colocados sobre la superficie
- Cálculo de volúmenes de movimiento de tierras
- Cálculo de volúmenes de inundación en embalses
- Determinación de la visibilidad entre varios puntos
- Determinación del impacto visual de nuevas construcciones sobre la superficie
- Análisis e interpretación de la morfología del terreno, drenaje, modelos hidrológicos, mapas geológicos y mapas de relieve del terreno
- Diversas aplicaciones militares.

BIBLIOGRAFÍA

- EL-Sheimy Nacer, 1999, Digital Terrain Modelling
- Wolf, Paul R., Brinker, Russell C, 1998, Topografía
- Eagle Point 99 Tutorial. , 1999, Eagle Point Software.

ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS METODOS DE TOMA DE TOPOGRAFIA MEDIANTE LA GENERACIÓN DEL MODELO DIGITAL DEL TERRENO.

Armando Orobio Quiñones*
Hugo Yair Orozco Dueñas*
Efraín Solano Fajardo*

1 INTRODUCCIÓN

Tradicionalmente la toma de topografía se ha realizado utilizando el método de trazar una poligonal abierta, la cual se nivela y contranivela. Posteriormente se realiza la búsqueda de las curvas de nivel de cota redonda directamente sobre el terreno, luego se crea el dibujo de las curvas de nivel de forma manual y a criterio de la persona que lo efectúa.

Actualmente con el avance tecnológico tanto en equipo computacional como en equipos electrónicos de topografía, tales como las Estaciones Totales, la toma de topografía se realiza mediante la medición sistemática de las coordenadas Norte, Este y Elevación de una serie irregular de puntos, los cuales se introducen en un software especializado que genera el modelo digital del terreno y realiza la interpolación de curvas de nivel.

En este trabajo se propone como una alternativa cuando no se cuenta con Estaciones Totales, realizar el trabajo de campo de toma de topografía con equipo convencional y luego hacer los cálculos correspondientes para convertir los puntos de cota redonda encontrados sobre el terreno, en puntos con coordenadas Norte, Este y Elevación, lo cual permite realizar con un software especializado, la generación del modelo digital del terreno y la interpolación de curvas de nivel.

Esta investigación pretende presentar y validar este procedimiento como una metodología aplicable en nuestro medio en el desarrollo de proyectos de ingeniería. En este trabajo se realizó el levantamiento de un terreno de prueba por el método con equipo convencional y por el método con equipo electrónico, para luego mediante un calculo de las coordenadas de los puntos encontrados en el método convencional, procesar los datos con el software especializado TOPO 1.0¹ para generar el modelo digital del terreno y luego comparar los resultados tanto en los planos obtenidos como en el campo, directamente sobre el terreno.

* Profesor del Departamento de Vías y Transportes de la Universidad del Cauca.

¹ TOPO 1.0 Software para cálculos topográficos en Ingeniería, desarrollado en el Departamento de Vías y Transportes de la Universidad del Cauca por los ingenieros Efraín Solano Fajardo y Armando Orobio Quiñones, en el marco de la investigación “Generación del modelo digital de un terreno a partir de datos topográficos”. Este Software es de libre uso y se puede descargar de <ftp.unicauca.edu.co/facultades/ingcivil/vias/>

2 METODOS PARA REALIZAR LA TOMA DE TOPOGRAFÍA

2.1 MÉTODO CON EQUIPO CONVENCIONAL

Este método de toma de topografía, se realiza con equipo convencional y generalmente demanda una gran cantidad de tiempo, tanto en campo como en oficina. El equipo utilizado es económico y de fácil consecución, normalmente consta de: Teodolito, cinta, nivel de precisión, nivel locke, mira, plomadas y jalones.

Inicialmente se debe trazar una poligonal abierta, dejando materializado sobre el terreno los deltas y el abscisado con estacas en madera colocadas a nivel del terreno, posteriormente se debe nivelar y contranivelar dicha poligonal para encontrar las cotas en cada uno de los puntos que fueron materializados y por ultimo se realiza la búsqueda de las curvas de nivel de cota redonda directamente sobre el terreno con base en normales trazadas en cada abscisa o bisectrices para el caso de los deltas.

El proceso de toma de topografía requiere el trabajo de tres personas. Una de ellas es la encargada de portar el nivel locke, otra lleva la mira y la tercera persona se encarga de la cartera de campo, trazar las normales a los alineamientos y colaborar en las mediciones. La persona que lleva el nivel locke se sitúa de tal forma que pueda leer fácilmente sobre la mira y debe ubicarse a una altura instrumental que le permita buscar rápidamente las curvas de nivel sobre el terreno, para que sus compañeros puedan medir sobre la normal, la distancia desde cada punto ubicado hasta la poligonal.

Una vez terminado el trabajo de campo, se debe realizar el dibujo con base en las anotaciones de la cartera, se dibuja la poligonal, las normales, las bisectrices y cada uno de los puntos de las curvas de nivel encontrados en el terreno. Sobre este dibujo se procede a realizar la interpolación de las curvas de nivel de manera manual y a criterio de la persona que las está dibujando. Así se obtiene el plano de curvas de nivel, también conocido como plano topográfico. La Figura 1 muestra el dibujo de la poligonal, las normales, bisectrices y puntos de cota redonda encontrados en el terreno de prueba.

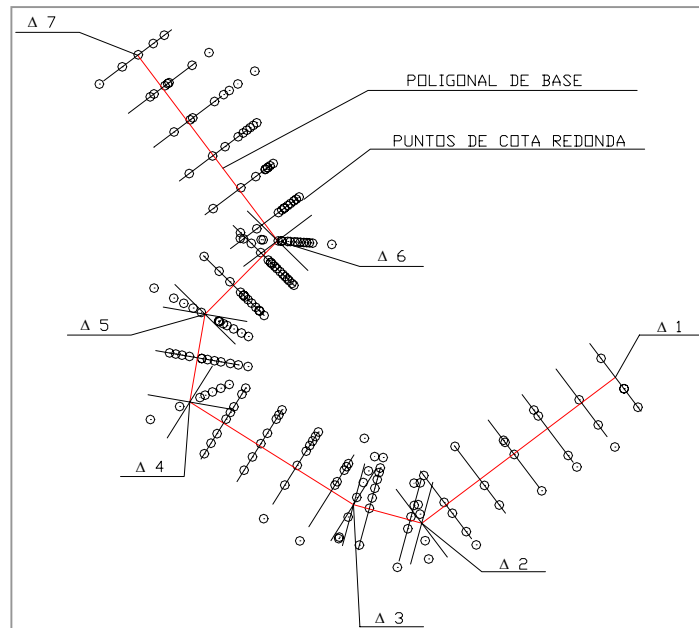
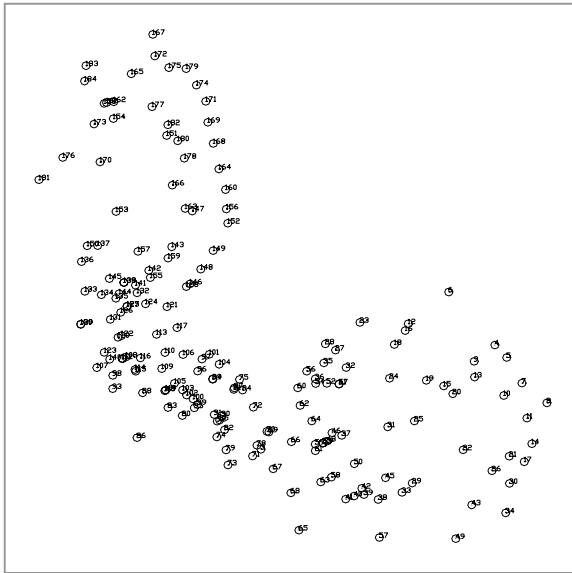


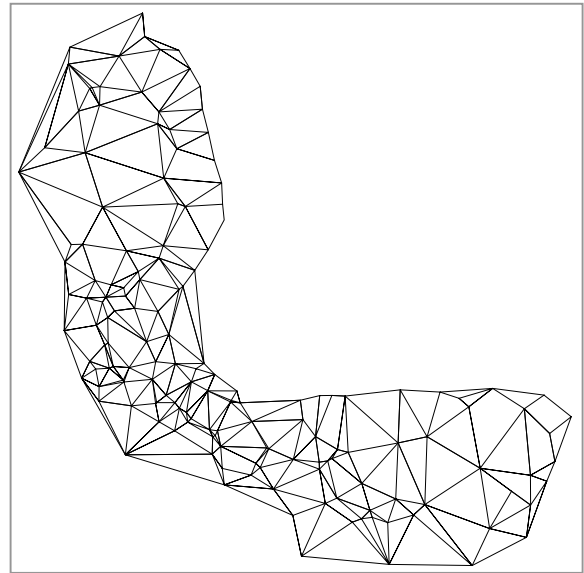
Figura 1 Poligonal con normales, bisectrices y puntos de cota redonda

2.2 MÉTODO CON EQUIPO ELECTRÓNICO

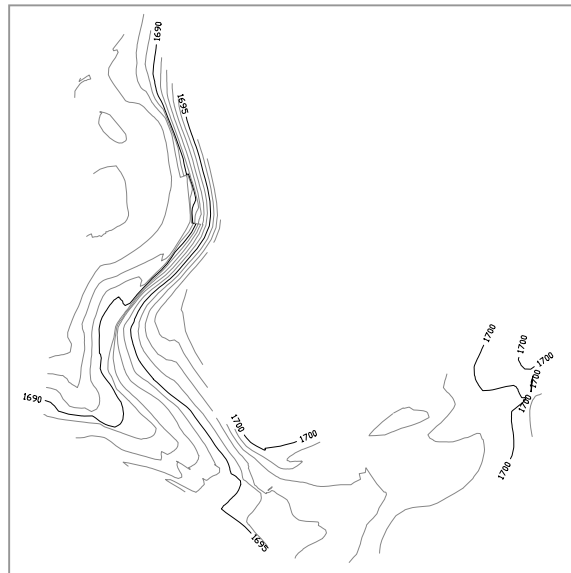
Este método es una manera ágil de obtener no solo el plano topográfico de un terreno, sino también el modelo digital del mismo. El método requiere trabajar con Estación Total y software especializado en topografía. El procedimiento consiste en medir sobre el terreno, las coordenadas Norte, Este y Elevación de una serie de puntos, la toma de datos se realiza a lo largo de todo el terreno, teniendo especial cuidado de realizar las mediciones en los puntos en donde la pendiente cambia y en los sitios que se considere importante detallar. Al final del trabajo de campo se tendrá una nube irregular de puntos, que es procesada en el computador con el software especializado en topografía, el cual realiza un proceso complejo de triangulación e interpolación lineal para generar el modelo digital del terreno y el plano de curvas de nivel. La Figura 2 muestra la nube de puntos, la triangulación y las curvas de nivel del terreno de prueba, generadas con el programa TOPO 1.0.



a) Nube de puntos



a) Triangulación



c) Curvas de Nivel

Figura 2 Nube de puntos, triangulación y curvas de nivel.

3 COMPARACIÓN DE LOS MÉTODOS

La comparación de los métodos de toma de topografía se basó en comparar el plano de curvas de nivel que se obtiene al final de cada proceso y determinar si existían diferencias considerables, no solo entre los planos sino también entre

cada plano y el terreno correspondiente, para lo cual se llevaron al campo los planos y se verificaron con respecto a la verdadera forma del terreno.

3.1 CONVERSIÓN DE PUNTOS DE COTA REDONDA A PUNTOS DE COORDENADAS CONOCIDAS.

En el método de toma de topografía con equipo convencional, la información de campo que se toma es la cota redonda sobre la normal y su distancia desde la poligonal. Para poder procesar esta información mediante un software de generación del modelo digital del terreno, es necesario convertir todos esos puntos de cotas redondas a un conjunto de puntos de coordenadas conocidas, Norte, Este y Elevación. Para esto se presenta la siguiente metodología la cual ya se ha sistematizado en el programa TOPO 1.0.

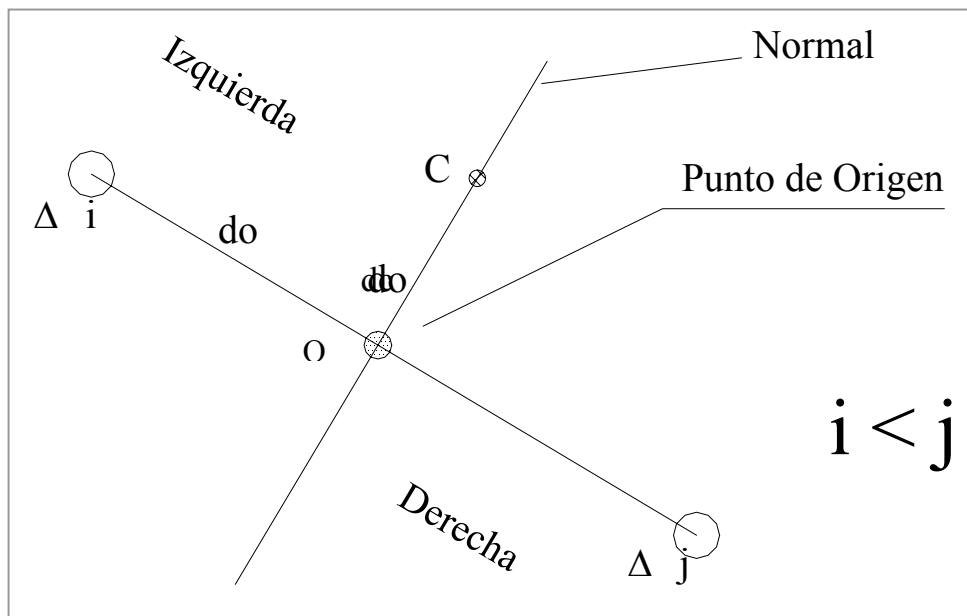


Figura 3 Datos de campo tomados en el método tradicional de toma de topografía.

La Figura 3 representa un alineamiento en el cual se ha trazado una normal cualquiera, el punto O es el punto de intersección del alineamiento con la normal, el punto C representa un punto de cota redonda ubicado sobre la normal, el cual se encuentra a una distancia d_c desde el punto O, d_o representa la distancia desde el delta hasta la normal medida sobre el alineamiento.

Para calcular el Azimut Az_n de la normal, se tiene el azimut Az_{ij} del alineamiento y es necesario calcular las coordenadas del punto O

$$\begin{aligned}\text{Norte}_O &= \text{Norte } \Delta_i + d_0 \text{ Cos } (Az_{ij}) \\ \text{Este}_O &= \text{Este } \Delta_i + d_0 \text{ Sen } (Az_{ij})\end{aligned}$$

La distancia d_0 se calcula restando las abscisas del Δ_i y del punto O que son datos de la cartera de campo.

El azimut de la normal Az_n , se debe calcular desde el punto O hacia la izquierda (Az_{ni}) y derecha (Az_{nd}) del alineamiento, esto se hace mediante las siguientes expresiones.

$$AZ_{nd} = AZ_n + 90^\circ$$

$$AZ_{ni} = AZ_n - 90^\circ$$

En ambos casos el azimut calculado debe expresarse como un ángulo entre 0° y 360°

Para el calculo de las coordenadas del punto C se tiene:

$$\begin{aligned}\text{Norte}_C &= \text{Norte}_O + \text{Cos } (AZ_{ni}) \\ \text{Este}_C &= \text{Este}_O + \text{Sen}(AZ_{ni})\end{aligned}$$

De la misma manera para un punto ubicado a la derecha del alineamiento se tiene:

$$\begin{aligned}\text{Norte} &= \text{Norte}_O + \text{Cos } (AZ_{nd}) \\ \text{Este} &= \text{Este}_O + \text{Sen}(AZ_{nd})\end{aligned}$$

Una vez realizados los cálculos se tiene para cada punto de cota redonda tomado en el levantamiento topográfico sus coordenadas Norte, Este y Elevación.

3.2 GENERACIÓN Y COMPARACIÓN DE LOS MODELOS DIGITALES DEL TERRENO.

Una vez calculadas las coordenadas de los puntos de toma de topografía por el método con equipo convencional y con el conjunto de puntos tomados por el método de la estación total, ambos con el mismo formato², se procedió a cargar la información al software TOPO 1.0, la visualización de puntos que hace el programa se muestra en la Figura 4

² Ordenados en columnas de punto, norte, este y elevación para poder ser cargados al software TOPO 1.0

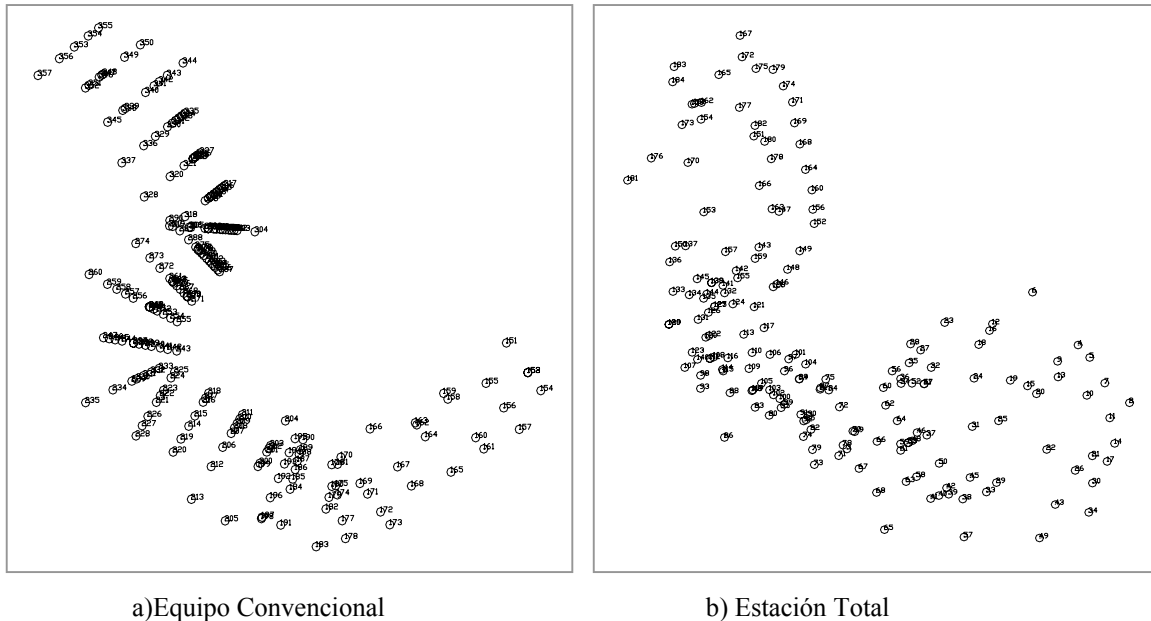
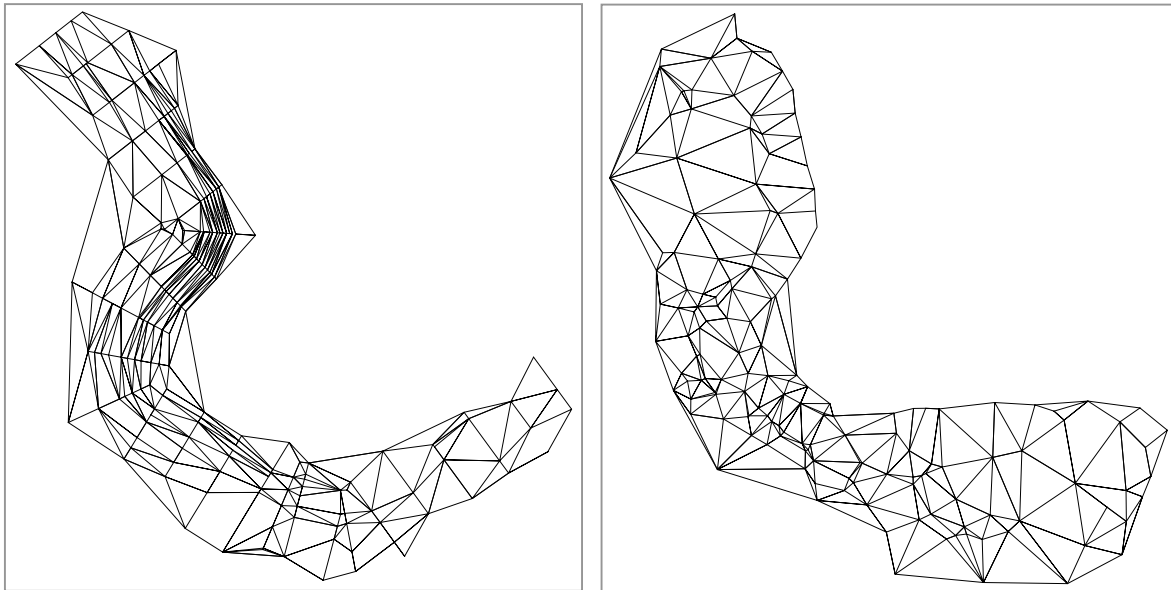


Figura 4 Nubes de puntos dibujada.

Como se puede apreciar en la figura 4, los puntos tomados mediante equipo convencional están alineados en grupos que son perpendiculares a los alineamientos, esto es de esperarse ya que ellos fueron levantados con base en normales a esos alineamientos. Los puntos levantados mediante Estación Total no muestran ningún orden y se distribuyen irregularmente sobre la superficie del terreno, esto es debido a que en el proceso de levantamiento se toman los puntos en los cuales la pendiente del terreno cambia y este cambio de pendiente es irregular.

El programa TOPO 1.0 como parte del proceso de generación de las curvas de nivel, construye una triangulación con base a la nube de puntos y a partir de esta efectúa la interpolación lineal de las cotas redondas, sobre cada uno de los lados de los triángulos para generar el plano de curvas de nivel. La Figura 5 muestra las triangulaciones de los puntos anteriores.



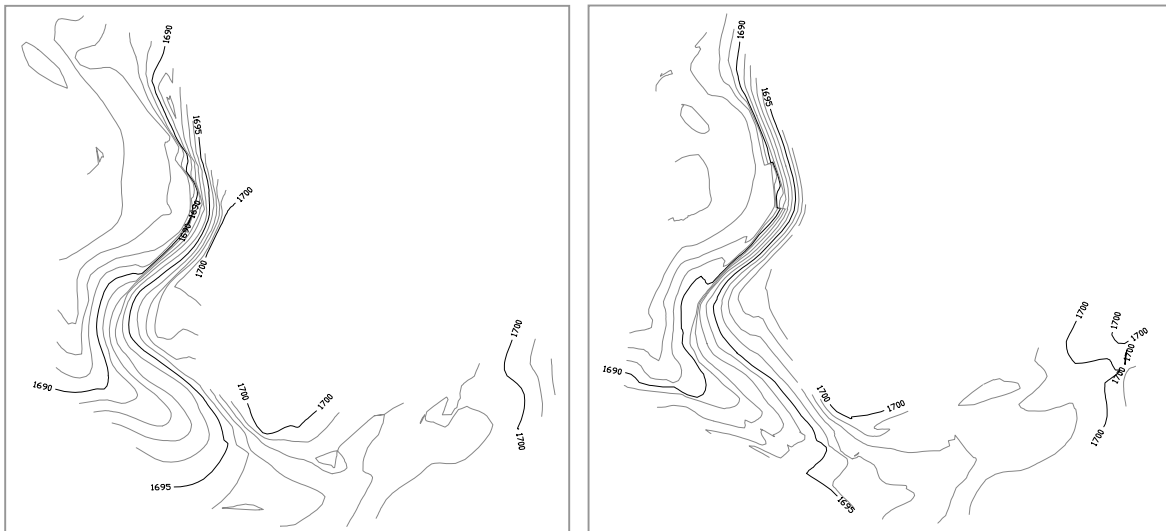
a) Equipo Convencional

b) Estación Total

Figura 5 Triangulación de los puntos.

Se puede observar que aunque representan el mismo terreno, las triangulaciones no son iguales, esto se explica porque los puntos medidos sobre el terreno no son los mismos.

Las curvas de nivel generadas a partir de las triangulaciones anteriores se presentan en la Figura 6



a) Equipo Convencional

b) Estación Total

Figura 6 Curvas de Nivel.

Se pueden observar la gran similitud de las curvas de nivel obtenidas al final del proceso.

4 CONCLUSIONES.

- Una limitación de la toma de topografía con equipo convencional es que la búsqueda de las curvas de nivel se realiza sobre las normales a los alineamientos y en muchas ocasiones los datos que se toman no coincide con los cambios de pendiente de la superficie del terreno.
- La toma de topografía con Estación Total es mucho más ágil y permite tomar la información con mas libertad que cuando se utiliza equipo convencional.
- Pese a las limitaciones que se tienen cuando se realiza la toma de topografía con equipo convencional, el resultado final es muy similar al obtenido con Estación Total.
- Al comparar en el terreno los planos topográficos obtenidos por ambos métodos, se encontró que ambos representan el terreno con una buena aproximación a su forma real, sin embargo al considerar las pequeñas diferencias que se presentan entre los planos, se encontró que el método de levantamiento que mejor representa en terreno, es el realizado con Estación Total y esto es debido a que se pueden medir con precisión los puntos en donde la pendiente del terreno cambia.

5 BIBLIOGRAFÍA.

- Wolf, Paul R., Brinker, Russell C, Topografía, 1998,
- Software TOPO 1.0, Manual del Usuario, 2002.