



REPÚBLICA DE CUBA
MINISTERIO DE EDUCACIÓN SUPERIOR
INSTITUTO SUPERIOR MINERO – METALÚRGICO DE MOA

“Dr. ANTONIO NUÑEZ JIMENEZ”

FACULTAD DE GEOLOGÍA – MINERÍA

DEPARTAMENTO DE MINERÍA

**TRABAJO DE DIPLOMA
EN OPCIÓN AL TÍTULO DE
INGENIERO DE MINAS**

Título: **Software Topo_Minh**

Autor: Minh Nguyen Ngoc

Tutora: Msc. Ing. Idania Aguilera Fernández

Moa, 2010

“AÑO 52 DEL TRIUNFO DE LA REVOLUCIÓN”

Declaración de Autoridad

Yo Minh Nguyen Ngoc, autor del presente trabajo de tesis, certifico la propiedad intelectual a favor del Instituto Superior Minero - Metalúrgico de Moa, el cual podrá hacer uso del mismo con la finalidad académica que estimen conveniente.

Autor: Minh Nguyen Ngoc

Tutora: Msc. Ing. Idania Aguilera
Fernández

Dedicatoria

Dedico este trabajo de diploma especialmente a mis padres y mis hermanos.

Agradecimientos

A mis padres por la inspiración, el sacrificio y la esperanza tan necesaria en mi formación.

A mi tutora Msc. Ing. Idania Aguilera Fernández por su ayuda sin fin en la confección de este trabajo.

A mis hermanos por el apoyo espiritual en todos momentos.

A los profesores Dr.C. Titular. Orlando Belete Fuentes y Msc. Ing. Juan F. Yoli Mateos por ayudarme a elaborar y confeccionar el software Topo_Min.

A todos los profesores que me han enseñado a formarme como un futuro ingeniero en minas.

A todos mis amigos.



Resumen

Las actividades relacionadas con el campo topográfico minero, no sólo vienen dadas por los trabajos de levantamiento del terreno, sino también se incluye la orientación subterránea que es la transmisión de las coordenadas estatales desde la superficie al nivel de orientación. En este trabajo de diploma se diseña un software que resuelve de forma automatizada los cálculos de gabinete de un topógrafo minero.

Haciendo un análisis de la problemática planteada, los lenguajes de programación existentes y tomando en consideración los distintos softwares existentes al efecto, considera que mediante las ventajas ofrecidas por el Delphi, se haría posible dar respuesta al problema de la investigación.

El software Topo_Minh consta de los cálculos básicos de la topografía, el levantamiento con el teodolito, la nivelación, la taquimetría y la orientación subterránea. Resuelve las tareas que se basan en los cálculos que se generan en la impartición de las asignaturas Topografía General y Topografía Minera que se imparten en el plan de estudio de la carrera de Ingeniería de Minas.



Abstract

The activities related to the mining topographic field, are not only given by the works of the terrain survey, but also include the underground orientation which is the transmission of the state coordinates from the surface to the level of orientation. In this paper the software that resolves in automated way the cabinet calculations of the mining topographer is designed.

Making an analysis of the proposed problem, the existent programming languages and taking in consideration the different existent softwares to the effect, considers that by means of the advantages offered by the Delphi, would become possible to give answer to the research problem.

The software Topo_Minh consists of the basic calculations of the topography, the survey with the theodolite, the leveling, the tachymetry and the underground orientation. It resolves the tasks that are based on the calculations that are generated in the imparting of the courses: General Topography and Mining Topography that are imparted in the plan of study of the career of Engineering in Mines.



Índices

Introducción	1
Capítulo I: Generalidades para la informatización de las tareas topográficas	5
I.1. Introducción.....	5
I.2. Estudios precedentes.....	5
I.2.1. Generalidades de los softwares de la topografía	5
I.2.1. Softwares para el cálculo de poligonales	7
I.3. Aspectos sobre Delphi	14
I.4. Conclusiones.....	17
Capítulo II: Aspectos metodológicos de las asignaturas Topografía General y Topografía Minera	19
II.1. Fundamentos de las asignaturas	19
II.2. Caracterización de las asignaturas	19
II.3. Distribución por temas en la asignatura Topografía General	20
II.3.1. Tema I: Elementos básicos de Topografía.....	20
II.3.2. Tema II: Equipos e instrumentos topográficos	21
II.3.3. Tema III: Estudio general de los métodos.....	22
II.3.4. Tema IV: Aplicación de la topografía a los trabajos de ingeniería	22
II.3.5. Sistema evaluativo de la asignatura.....	23
II.3.6. Textos básicos	23
II.4. Distribución por temas en la asignatura Topografía Minera	23
II.4.1. Tema I: Trabajos topográficos en la explotación minera a cielo abierto.....	24
II.4.2. Tema II: Trabajos topográficos en la explotación subterránea.....	25



II.4.3. Sistema evaluativo de la asignatura.....	25
II.4.4. Textos básicos	26
II.5. Enriquecimiento del diseño curricular.....	26
II.6. Conclusiones.....	28
Capítulo III: Diseño del software Topo_Minh	29
III.1. Generalidades del software.....	29
III.2. Cálculos básicos en la topografía.....	31
III.2.1. Cálculo del promedio angular y del promedio longitudinal	31
III.2.2. Cálculo de la escala y la precisión a partir de las mediciones de una distancia o de un ángulo	32
III.2.3. Cálculo de ángulo medido por métodos de repetición y de reiteración	34
III.2.4. Cálculo de la longitud medida con el uso de teodolito y mira paraláctica	37
III.2.5. Cálculo de la distancia y del acimut entre dos puntos con coordenadas conocidas.....	38
III.3. Levantamiento con Teodolito	40
III.3.1. Poligonal cerrada de rodeo	40
III.3.2. Poligonales cerradas de enlace	46
III.3.3. Poligonal cerrada de ida y vuelta	51
III.3.4. Poligonales de enlace por dos puntos extremos de un lado orientado	52
III.3.5. Poligonales de enlace por dos puntos extremos.....	53
III.3.6. Poligonales abiertas orientadas en el punto inicial.....	57
III.4. Nivelación.....	58
III.4.1. Metodología general para calcular la nivelación	58
III.4.2. La nivelación en circuito cerrado o la nivelación de ida y vuelta	60
III.4.3. La nivelación en circuito de enlace	61



III.4.4. La nivelación en circuito abierto	62
III.5. Taquimetría	63
III.6. Orientación Subterránea	65
III.6.1. Enlace de las plomadas por el método de los triángulos	66
III.6.2. Enlace de las plomadas por el método del cuadrilátero	71
III.6.3. Orientación por dos pozos verticales	76
III.7. Conclusiones.....	83
Conclusiones	84
Recomendaciones	85
Bibliografía	86



Introducción

El origen de la palabra topografía procede del griego “topo” que quiere decir lugar y “grafos” que quiere decir dibujo.

Sus principales objetivos son determinar, dividir y representar los detalles naturales o creados por la mano del hombre, combinando las medidas según los elementos del espacio que son: elevación, distancia y dirección.

La topografía minera es una rama de la minería dedicada generalmente a las mediciones en el espacio laboreado, a fin de obtener materiales gráficos indispensables en la explotación de los yacimientos de minerales útiles.

Los trabajos de topografía minera se efectúan durante todo el período de trabajo de una unidad minera.

Durante la exploración de los yacimientos, se marca directamente en el terreno, mediante los métodos de la topografía minera, los lugares de los trabajos de exploración iniciales (taladros, pozos de exploración, zanjas, etcétera). Se efectúa posteriormente el levantamiento de los puntos y se dibujan en los planos.

Después de elaborar, generalizar y analizar los levantamientos geológicos, se confeccionan los llamados gráficos de geometría minera que dan la idea de la posición espacial del mineral en la corteza terrestre, así como sus características cuantitativas y cualitativas. Posteriormente, la decisión de si es razonable explotar el mineral, depende de dichos gráficos. Al decidirse positivamente la alternativa, los gráficos mencionados sirven de base para la confección de los planos de la unidad minera, teniendo en cuenta: la selección de los lugares para excavaciones de apertura, la selección y fundamentos del método de explotación, la distribución de las construcciones en la superficie y exploraciones en la mina, etcétera.

En la construcción de una unidad minera, los utilizan para replantear en el terreno las obras proyectadas, es decir, para marcar sobre la superficie del terreno las distintas construcciones (edificios, torres, mecanismos, excavaciones, etc.), dibujadas hasta entonces en los planos.



Durante la construcción de las minas mediante los métodos de la topografía minera, se trazan los ejes de los pozos y se efectúa el enlace de todas las construcciones sobre la superficie y bajo mina a los ejes mencionados. Se debe prestar particular atención al enlace de todo el complejo de construcción bajo mina: el de la máquina de ascenso, poleas directrices, fortificaciones del pozo, etcétera.

A las excavaciones subterráneas, se les da la dirección; se controla su laboreo procurando que las medidas y las fortificaciones correspondan al proyecto. Los métodos de la topografía subterránea permiten también calcular el volumen del trabajo realizado en ciertos lapsos de tiempo.

En el proceso de explotación, los métodos de topografía minera se utilizan para obtener los datos necesarios para efectuar una explotación racional del yacimiento. Del modo en que estén organizadas las labores de topografía dependen no sólo la seguridad del trabajo, sino también, un ritmo planificado de extracción del mineral.

A fin de conocer la posición de las excavaciones subterráneas respecto a las construcciones de la superficie, y saber realizar distintos tipos de excavaciones bajo la superficie y entre minas vecinas, es necesario que los planos de la superficie y excavaciones subterráneas se confeccionen en un sistema único de coordenadas. La coordinación de los levantamientos subterráneos con los de la superficie se consigue con la ayuda de un tipo específico de trabajo topográfico llamado levantamiento de enlace u orientación.

Por lo anteriormente expuesto se llega a la conclusión de que en la actualidad la topografía minera es una rama de la ciencia y la técnica, cuya tarea principal es efectuar levantamientos, dibujar objetos de la superficie y de las excavaciones mineras en los planos utilizando también los datos obtenidos de los levantamientos, mediciones y observaciones para resolver distintas tareas geométricas que se les presentan en el transcurso de las exploraciones, confección de proyectos, construcción y explotación de las unidades mineras, etcétera.

En el presente trabajo, después de analizar la forma en que se imparten actualmente las asignaturas relacionadas con la topografía dentro del plan de estudio de la carrera Ingeniería de Minas, se deduce el siguiente problema:



Problema: La necesidad de establecer una vinculación de trabajo topográfico minero con las tecnológicas informáticas, lográndose de esta forma resolver con mayor rapidez el gran volumen de cálculos.

Hipótesis: Mediante la identificación de los algoritmos de cálculos relacionados con los principales problemas de la topografía minera, es posible entonces elaborar un software de computación que sirva para automatizar los cálculos topográficos mineros.

Objeto de la investigación: Los cálculos existentes en las labores de la topografía minera.

Objetivo general: Crear un software que permita resolver los cálculos relacionados con la topografía minera.

Campo de acción: Los trabajos que relacionan con la topografía minera y las asignaturas Topografía General, Topografía Minera que se establecen en los cálculos de levantamiento con teodolito, nivel y taquímetro.

Objetivos específicos:

1. Conocer la existencia y disponibilidad de otros softwares que resuelvan el problema existente
2. Estudiar las ventajas de la programación en Delphi
3. Crear un software que pueda ser usado en la producción de la topografía minera y en la docencia de pregrado, postgrado de la carrera Ingeniería de Minas.

Métodos empleados en dar solución al problema científico de la investigación:

➤ **Métodos empíricos:** será imprescindible el empleo de la **medición**. Como técnicas; **la observación científica** y **la entrevista**, para el conocimiento de las características fundamentales del objeto

➤ **Métodos teóricos** para la interpretación conceptual de los datos empíricos; haciendo uso del **análisis y la síntesis** en el estudio de las partes del objeto y para comprender su comportamiento como un todo. Dentro de los métodos teóricos también será necesario la **inducción y deducción** como procedimiento para pasar de lo conocido a lo desconocido y de lo general a lo particular



- **El método dialéctico** para conocer las relaciones entre los componentes del objeto.



Capítulo I: Generalidades para la informatización de las tareas topográficas

I.1. Introducción

Con la introducción y la propagación de los procedimientos topográficos soportados por satélite que han tenido lugar a partir de la década de los 70, se produjo un cambio de usuario, pasando del observador al operario. El topógrafo ya no mide mediante telescopio y lectura del limbo, sino que maneja un instrumento de medición. Con el aprovechamiento de las tecnologías modernas de procesamiento de imágenes, mientras tanto también las estaciones totales son capaces de realizar la localización y la medición automáticamente y sin intervención del usuario. Además de la precisión constante y reproducible de la medición, el usuario ya no tiene que realizar las tareas de medición en sí, pudiendo concentrarse en el registro y el procesamiento de informaciones adicionales. La consecuencia no sólo es el incremento de la productividad, sino también la posibilidad de automatizar completamente los procesos complejos, recurrentes de la medición.

I.2. Estudios precedentes

I.2.1. Generalidades de los softwares de la topografía

Existe una gran variedad de softwares que se utilizan en el campo de la topografía para la realización de diferentes funciones, ya sea para cálculos, representación de perfiles longitudinales y transversales, curvas de nivel, cálculo de volúmenes, diseño de carreteras, autopistas, vías, canales, ferrocarriles, entre otras funciones y entre los cuales se pueden mencionar los siguientes:

1. Autodesk AutoCAD raster design 2009

Usado para editar, modificar, analizar y mejorar datos con el fin de poder integrar el trabajo con mapas, documentos escaneados y dibujos en papel, imágenes de satélite y fotos aéreas.



2. Autodesk civil survey 2009

Permite enviar o recibir datos topográficos con una amplia gama de recopiladores de datos, instrumentos topográficos y receptores GPS estándar. Tras ello podrá analizar y ajustar las observaciones topográficas de forma rápida y exacta, así como importar puntos y figuras topográficas al dibujo automáticamente.

3. Cartomap 4.30

Para cálculo topográfico, modelo del terreno y curvas de nivel, cálculo de volumen y cubicaciones, rasantes, replanteo, etc.

4. Topograph 98

Solución completa en los procesos de compilar datos topográficos y geográficos en el campo, de procesamiento, de almacenamiento y de disponibilidad de estos datos para todas las etapas de los trabajos de construcción y mapeo, pasando por la transferencia de los datos del campo a la oficina.

5. Surfer 8

Esta versión forma parte de la serie de versiones que hacen un uso más fácil del programa y más funcional para ciertas áreas.

Principales novedades:

- Significativos avances en la construcción de mapas de superficie y gráficos en 3D
- Realización de curvas de nivel
- Mayor capacidad de ficheros: Lee ficheros de datos de hasta 109 filas y columnas, dependiendo de la memoria disponible
- Nuevos métodos de rejilla
- Nuevos modelos de variogramas.

6. TopoEVN fácil

Es un sistema profesional para los cálculos, los dibujos y los proyectos topográficos desarrollado sobre todo para los profesionales y compañías que ejecutan o realizan



los servicios de topografía. Realiza la automatización y procesamiento de datos de campo, diseños, proyectos, memorias descriptivas y resultados. Genera diseños y proyectos en el formato. "DWG".

7. MDT v4.0 Profesional

La versión profesional está diseñada para asistir al usuario en todas las fases de realización de un proyecto en el ámbito de la topografía. Sus principales usuarios son administraciones públicas, empresas constructoras, estudios de ingeniería y empresas dedicadas a movimientos de tierra, explotaciones de canteras, minería, oceanografía, medio ambiente, etc.

8. Topko

Es un software para la gestión de los proyectos topográficos que ofrece unas avanzadas herramientas para el levantamiento topográfico, catastral y para el modelo tridimensional del terreno. Permite la ejecución de complejos cálculos topográficos y la restitución de los puntos topográficos; es posible crear perfiles longitudinales y secciones transversales, crear modelos numéricos del terreno y calcular los movimientos de materiales.

9. TCP

TCP es un programa diseñado para asistir al usuario en todas las fases de realización de un proyecto en el ámbito de la topografía. Sus principales usuarios son administraciones públicas, empresas constructoras, estudios de ingeniería y compañías dedicadas a movimientos de tierra, explotaciones de canteras, minería, medio ambiente, etc. Es compatible con AutoCAD 11, 12 y 13 (DOS y Windows), en castellano e inglés. La elección entre las versiones estándar y profesional permiten adaptarse a las necesidades, en precio y prestaciones, de cualquier usuario.

I.2.1. Softwares para el cálculo de poligonales

1. Cartomap 5 y 5.5

El Software Cartomap 5 (**ver anexo # 1**) de la empresa ANEBA de España, es uno de los más utilizados en el campo de la topografía e ingeniería en muchos países, es muy



poderoso y versátil. Dispone de herramientas específicas de topografía: poligonales, taquimetrías, curvas de nivel, áreas, volúmenes, etc. Cuenta además con herramientas específicas de diseño de carreteras, ensanches y mejoras de vías ya existentes, etc.

La versión Cartomap 5.5 es una potente e intuitiva aplicación que facilita las tareas de proyecto y ejecución de obras de ingeniería civil, urbanismo y minería. Abarca el ciclo completo desde la toma de datos procedentes de muy diversas fuentes (estaciones totales, GPS, ficheros DXF) hasta la obtención de planos, vistas en planta, perfiles longitudinales y transversales. La comunicación con otros sistemas es muy flexible gracias a la exportación en formato de texto y gráficos compatibles con los estándares del sector.

2. Cálculos Topográficos TopCal21

Funciona bajo sistemas operativos Windows de 32 bits. Posee además una nueva pantalla de visualización de datos a modo de hoja de cálculo. Todas sus herramientas se presentan con cuadros de diálogos guiados que ayudarán al usuario en el cálculo. Las salidas son en formato ASCII, DXF y otros.


TopCal 21 (**ver anexo # 2**) dispone de las herramientas siguientes:

- Cálculo de triangulaciones
- Intersecciones directas
- Intersecciones inversas
- Poligonales
- Radiaciones
- Cálculo de superficies
- Generación de dibujos con los puntos
- Transformación de coordenadas en diferentes sistemas
- Generación de reseñas
- Cálculo de perfiles longitudinales y transversales
- Cálculo de volúmenes



- Cálculo de desmontes y terraplenes
- Compensación por mínimos cuadrados de redes topográficas
- Reconstrucción automática del croquis a partir de la codificación tomada en campo.

3. Topoligona versión 3.0

Autor :	David Esquinas
Tamaño	731 k
S/O :	 Windows 98/ME/2000
Licencia	Software Libre
Versión :	3.0.2

Topoligona (**ver anexo # 3**) es una herramienta para la realización de cálculos topográficos, aunque puede utilizarse en cualquier campo de la topografía. Está especialmente enfocada a la topografía de líneas eléctricas.

Sus principales características son la realización de cálculo de itinerarios, de radiaciones, taquimétricos, bisecciones y levantamiento de conductores eléctricos aéreos.

4. CivilCAD

Idioma: Español

Plataforma: WIN y AutoCAD 14 o 2000

Tamaño: 7,5 MB

CivilCAD (**ver anexo # 4**) es un módulo de AutoCAD específico para los profesionales de la ingeniería civil y topografía de habla hispana. Entre las funciones que realiza se encuentran las siguientes:



Anotación de datos: rutinas para anotar datos automáticamente en forma individual o global en líneas, arcos y superficies. Generación de cuadros de construcción y de curvas: CivilCAD calcula todos los datos necesarios para crear instantáneamente cuadros de construcción (rumbo, distancia, azimuth, ángulos interiores, coordenadas y superficies). Generación de reportes: capacidad de generar reportes de puntos geométricos, memorias descriptivas, técnicas de notificación y resumen de áreas por sectores, individual o globalmente. Dibujo de polígonos: cuatro métodos para dibujar levantamientos de poligonales: por coordenadas, rumbo-distancia, radiación y base medida. Dibujo de curvas: dieciocho métodos para dibujo de curvas simples y compuestas. Curvas de nivel: dibuja automáticamente curvas de nivel, pudiéndose indicar el intervalo y color para curvas gruesas y delgadas. Secciones: seleccionando un eje de vía en planta CivilCAD genera la gráfica del perfil del terreno, con datos como estación, espesores y elevaciones de corte y terraplén, volúmenes y ordenadas.

5. Protopo

Idioma: Español

Plataforma: WIN

Tamaño: 1.342 Mb

Web: <http://www.aplicad.com>

Protopo (**ver anexo # 5**) es un software técnico para empresas y profesionales de la topografía, construcción e ingeniería civil integrado en AutoCAD. Protopo está creado en lenguaje C++ y está basado en la librería ARX (Autocad Runtime Extension), que aglutina todas las funciones del programa y agiliza su ejecución.

Características: edición y entrada de datos, poligonales, editor de coordenadas, triangulación, curvado y MDT, cálculo de volúmenes, cálculo en planta, etc.

6. Student Cogo

Diseñado específicamente para las necesidades de los estudiantes, el Student COGO es el máximo característico paquete de agrimensuras con las herramientas para manejar cualquier trabajo. La computadora de bolsillo HP 48 ha probado ser una herramienta popular para estudiantes de ingeniería por sus aplicaciones universales.



Ofrece paquetes que se puede comprar para química, ingeniería eléctrica, diseño de estructuras, hidrología, hidráulica y ahora, topografía.

Student COGO le ofrece todas las funciones usadas en el trabajo cotidiano de la topografía: Inversas, poligonales, amarre y replanteo, radiales, resección, líneas paralelas, soluciones de triángulos y círculos. Además incluye:

- Conversión de azimut/ángulos/rumbos
- Encuentra punto de radio
- Elevaciones remotas
- Intersecciones con ángulos y paralelas
- Área por derrotero
- Cierre y ajuste de poligonales
- Replanteo tridimensional por coordenadas, número de punto o estación y desplazamiento con corte y relleno
- Programa de gradientes con pendientes rectas, curvas verticales e intersecciones verticales
- Administración completa de archivos con capacidad de guardar miles de puntos en varios archivos.

7. DataGeosis

Software de la topografía y la geodesia versión 2005.

Disponible en las versiones:

- STANDARD
- STANDARD PLUS
- PROFESSIONAL
- VIAS STANDARD
- DEMO Y JUNIOR



a) Versión STANDARD

Dentro de esta se realizan las siguientes operaciones:

- | | |
|--------------------------|--|
| 1. Entrada de datos | 9. Memoria descriptiva o descriptivo de linderos |
| 2. Apertura de archivos | 10. Herramientas de dibujo |
| 3. Planillas de cálculos | 11. Modelaje numérico |
| 4. Cálculo de poligonal | 12. Curvas de nivel |
| 5. CAD integrado | 13. Norte verdadero |
| 6. Autocroquis | 14. Exportación de archivos |
| 7. Cálculo de áreas | 15. Ubicación de puntos. |
| 8. División de áreas | |

Cálculo de poligonal (**ver anexo # 6**): El DataGeosis fue desarrollado para calcular poligonales en el sistema abierto, cerrado y apoyado en dos puntos. A los dos últimos sistemas se puede distribuir los errores a través de cuatro métodos de compensación: Mínimos cuadrados, proporcional a las distancias, proporcional a las proyecciones. Es posible procesar también cálculos de una planilla de nivelación, donde los errores pueden ser compensado a través de los métodos: Proporcional a las distancias, partes iguales al número de estaciones.

También es posible definir las tolerancias máximas admisibles a los errores de la poligonal tanto para una planilla plan altimétrico cuanto para una planilla de nivelación, posibilitando al programa que identifique si las precisiones alcanzadas están en el límite establecido.

b) Versión STANDARD PLUS

Dentro de esta se realizan las siguientes operaciones:

1. Geodesia
2. Meridiana punto a punto
3. Visualización de las coordenadas geográficas



4. Visualización de las coordenadas geodésicas
5. Monografía de marco
6. Perfiles longitudinales y transversales
7. Visualización 3D.

c) Versión PROFESSIONAL

Dentro de esta se realizan las siguientes operaciones:

1. Cálculo de volumen entre superficies
2. Mapa de declividades (pendientes)
3. Área de inundación
4. Generación de líneas de proyectos
5. Cálculo de volumen por secciones transversales
6. Sección tipo.

d) Versión VIAS STANDARD

Esta versión contiene todas las herramientas de la versión PROFESSIONAL

Dentro de esta se realizan las siguientes operaciones:

1. Curvas horizontales
2. Curvas verticales
3. Secciones tipo intercaladas.

e) VERSIONES DEMO Y JUNIOR

La versión DEOMO Y JUNIOR tiene el carácter académico y está disponible para copia y distribución. Esta versión de DataGeosis es dedicada a estudiantes y profesionales que están iniciándose en automatización topográfica, haciendo el aprendizaje más moderno y adecuado a las herramientas del futuro usuario. En esta versión están disponibles funciones de planimetría. Esta versión no exportará ficheros en el formato DXF, o cualquier otro formato. Por tener un fichero propio, ficheros de otras versiones no podrán ser abiertos en esta versión.



8. Topo6

Topo6 versión 3.7 es un sistema montado en MC – DOS que sirve para calcular poligonales y levantamientos topográficos, dibujo, curvas de nivel, planimetría y perfiles. Admite 350 estaciones de levantamiento, 600 puntos por estación y 6550 puntos en total. Además, contiene en la pantalla los íconos de ayuda, moverse, seleccionar, salir, calculadora.

9. TOPCION

TOPCION es otro software para determinar las cotas de los puntos y se fundamenta en las aplicaciones de TOPO6. Está formado por las siguientes opciones:

1. Nivelación
2. Ficheros
3. Cálculo.

10. TopoMin

TopoMin fue creado en campo de lenguaje de programación de Matlap que sirve para calcular los siguientes métodos:

- ✓ Orientación subterránea por el método de los triángulos
- ✓ Orientación subterránea por el método del cuadrilátero
- ✓ Cálculo de las poligonales cerradas de enlace que tienen de 3 a 10 vértices
- ✓ Cálculo de las poligonales cerradas de rodeo que tienen de 3 a 10 vértices.

I.3. Aspectos sobre Delphi

A pesar del desarrollo de la información y la computación, aparecen muchos lenguajes de programación que son eficaces y fáciles de programa, entre ellos se puede mencionar: Delphi, Visual Basic, C ++, Matlap, entre otros... El lenguaje de programación Delphi fue elegido por las siguientes razones:

1. Programación orientada a objetos verdadera

A 38 años de la definición del primer lenguaje de programación orientado a objetos, y a casi 20 años de la popularización de sus conceptos con la aparición de C++, nadie



duda va de las grandes ventajas aportadas por este estilo de programación y pensamiento. A pesar de esto, muchos de los lenguajes populares RAD (Rapid Access Disk) no soportan verdaderamente la programación orientada a objetos. Para que un lenguaje sea orientado a objetos debe dar soporte a estas tres características:

1. Encapsulación
2. Herencia
3. Polimorfismo.

En particular, Visual Basic no permite la herencia, en ninguna de sus versiones. Delphi incorpora un modelo completo de programación orientada a objetos, incluyendo encapsulación, herencia simple y polimorfismo. En este sentido Delphi se puede comparar con lenguajes que son paradigmas de ese estilo de programación, Como C++.

Por ser un lenguaje desarrollado cuando los conceptos de Programación Orientada a Objetos han alcanzado madurez, Delphi ofrece técnicas de programación que no se encuentran en lenguajes más antiguos como C++. Por ejemplo, Delphi implementa como parte fundamental de su arquitectura los constructores virtuales, métodos dinámicos, manejadores de mensajes y un estilo mucho más "humano" y fácil de trabajar con la Información de Tipos en Tiempo de Ejecución (RTTI). Estas extensiones se han incorporado también al nuevo C++ Builder, de Inprise Corporation, la compañía antes conocida como Borland International.

2. Arquitectura integrada de componente

Una de las principales características de Delphi es la arquitectura de sus componentes, que permite una completa integración de estos dentro del lenguaje. Los componentes de Delphi están basados en clases desarrolladas en el propio lenguaje; no hay que utilizar otros entornos de programación para crear o extender componentes.

Otra consecuencia es que el código de estas clases se ejecuta dentro del mismo espacio de direcciones de la aplicación, con la consiguiente ventaja en necesidades de memoria y tiempo de ejecución. Al conjunto de componentes básicos de Delphi se le denomina la *Biblioteca de Componentes Visuales*; en inglés, *Visual Component Library*, o VCL.



Visual Basic utiliza como componentes los llamados controles ActiveX, que Delphi también admite.

3. Delphi genera controles ActiveX

Delphi ofrece, a partir de la versión 3, lo mejor de ambos mundos: Los controles VCL pueden ser convertidos mediante un sencillo pasa automático, en controles ActiveX.

4. Tratamiento de excepciones

El tratamiento de errores mediante excepciones es la alternativa moderna al tratamiento tradicional mediante códigos de retorno de errores. Gracias a esa técnica, se evita mezclar la lógica de control del algoritmo con las instrucciones de salto de la detección de errores por medio de códigos de estado.

5. Velocidad de ejecución

Según pruebas realizadas con Delphi 4 v Visual Basic 6, se sigue manteniendo la proporción 5:1 en las velocidades de ejecución de los programas desarrollados con los sistemas de 32 bits.

6. Velocidad de compilación y enlace

Uno de los puntos fuertes de Delphi es la velocidad con que se compilan v enlazan las aplicaciones. En este aspecto no tiene parangón con los sistemas competidores. Y es que la velocidad de compilación es muy importante, tratándose de sistemas de diseño v programación interactivos. El formato de unidades de compilación nativo de Delphi, el formato *dcu* permite alcanzar mayores velocidades de compilación enlace al estar basado en el formato *obj*, especificado por **Intel** hace ya muchos años, con la mente puesta en técnicas obsoletas de enlace.

7. Retroalimentación inmediata

Se supone que uno de los objetivos fundamentales de un sistema RAD es permitir que el programador pueda hacerse una idea, mientras desarrolla su aplicación, del aspecto que va a tener la misma, sin necesidad de efectuar el tedioso ciclo de compilación/enlace/puesta a punto. ¿Ha visto alguna vez la rejilla de datos de Visual Basic durante el tiempo de diseño? Este control no es capaz de mostrar la



disposición visual que tendrá en tiempo de ejecución, por lo que el programador debe trabajar a ciegas. Esto, hay que aclarar, no es una consecuencia del lenguaje en sí, sino de un mal diseño de la librería. En cambio, todos los controles de bases de datos de Delphi ofrecen una retroalimentación inmediata, en tiempo de diseño, de su aspecto final.

8. Aplicaciones distribuidas

Quizás la novedad más importante que introdujo Delphi 3, y que sigue rindiendo frutos en la versión 7, es la posibilidad de crear aplicaciones de bases de datos multicapas, en las que todas las peticiones de datos se dirigen a un servidor de aplicaciones remoto.

9. Componentes de Delphi

Se han incorporado en Delphi componentes para dar respuesta a las principales necesidades de las aplicaciones de gestión: gráficos, tablas cruzadas para soporte de decisiones, informes, servidores Web, etcétera.

10. La ayuda efectiva y una abundancia de bibliografía

Delphi 7 tiene la ayuda efectiva, donde podría encontrar las guías, códigos, tutoriales y ejemplos. Además, por la ampliación del usuario de Delphi en el mundo, es fácil de encontrar libros, trucos... de Delphi en internet.

11. Delphi 7 se enseñaba en el plan C de estudio de la carrera de Ingeniería en Minas

Para mejorar la conformación de los estudiantes de la carrera de Ingeniería de Minas, el plan C se incluye la asignatura Programación (se enseña en segundo semestre de primer año), por eso se facilita de desarrollar el software en el campo de Delphi 7.

I.4. Conclusiones

1. Del análisis de las fuentes bibliográficas a pesar que se apreció la existencia de algunos softwares sobre el cálculo de poligonales, construcción de perfiles, carreteras, caminos, etc; por razones financieras muchos de ellos no están al alcance de Instituto



Minero – Metalúrgico de Moa y muchas empresas de Cuba. Los softwares que están utilizando TOPCION, Topo6, TopoMin tienen las siguientes desventajas:

- a. TOPCION y Topo6 sólo pueden abrir en el campo de Windows XP y son muy difíciles de manejar porque son softwares montados en MC – DOS
 - b. TopoMin sólo puede abrir en el campo de Matlap y falta el método de orientación subterránea por dos pozos verticales.
2. Delphi es una elección correcta ante numerosos lenguajes de programación y forma parte de nuestra formación académica
 3. Aprovecha las ventajas de Delphi, es posible crear un software que resuelve los cálculos dinámicos de la topografía minera.



Capítulo II: Aspectos metodológicos de las asignaturas Topografía General y Topografía Minera

II.1. Fundamentos de las asignaturas

Las asignaturas Topografía General y Topografía Minera, pertenecen a la disciplina Geomecánica. Se imparten en el segundo y tercer años del plan de estudio D de la carrera de Ingeniería en Minas con un fondo de tiempo de 70 y 60 horas respectivamente. Responden al objetivo: Identificar, caracterizar y representar los elementos y procesos de interés minero de la corteza terrestre.

La Topografía es considerada una ciencia exacta que se usa en casi todas las ramas de la ingeniería. En el caso de la minería tiene como objeto de estudio los recursos minerales y funcionales del macizo rocoso y es un instrumento imprescindible desde la etapa de anteproyecto hasta el cierre definitivo y rehabilitación de una mina.

II.2. Caracterización de las asignaturas

Las asignaturas se sustentan, fundamentalmente en la Geometría y la Trigonometría; suele llamársele también Geometría Aplicada por el amplio uso que se hace de la misma. Facilitan la solución de problemas prácticos de ingeniería con base en la Teoría Materialista del conocimiento.

Metodológicamente se caracterizan por:

- Un enfoque teórico- práctico donde el estudiante a través de conferencias recibe los conceptos fundamentales y luego éstos son consolidados en clases prácticas y laboratorios
- En las actividades docentes se emplean instrumentos topográficos y fotogramétricos para su mejor comprensión
- Durante la Práctica Laboral Investigativa II se realizan visitas a empresas mineras donde los estudiantes ven el funcionamiento de equipos topográficos modernos



- Durante la impartición de las actividades docentes de las asignaturas se establece su estrecha vinculación con la preparación del país para la defensa.

II.3. Distribución por temas en la asignatura Topografía General

La asignatura se estructura en cuatro temas según se relacionan a continuación:

II.3.1. Tema I: Elementos básicos de Topografía

1. Contenido

Concepto de geodesia y topografía. Relación de la topografía con otras ciencias. Unidades de medidas usadas. Sistema de coordenadas. La forma de la Tierra (fuerzas que actúan, superficie de nivel, el geoide, el esferoide o elipsoide de revolución). Coordenadas geográficas. Coordenadas planas rectangulares. Breve noción sobre cartografía (proyecciones cartográficas, anamorfosis lineal, superficial y angular, escala local, clasificación de las proyecciones cartográficas, clasificación por el sistema de transformación, proyección cónica conforme de Lambert, proyección UTM o cilíndrica conforme de Gauss). Planificación geodésica de Cuba. Orientación de las líneas en terreno. Ángulos de orientación. Relación entre los ángulos de orientación. Los rumbos y los ángulos en las tablas. Tareas topográficas (directa e inversa). Cálculos de los acimutes planos o topográficos de los lados de los polígonos. Mapas y planos topográficos. Métodos de dibujo de la superficie terrestre. Concepto de mapas y planos. Nomenclatura de los mapas y planos usados en Cuba. Escala. Límite de la percepción visual y su relación con la escala. Métodos de dibujo del relieve (plano acotado, curvas de nivel, equidistancias, propiedades de las curvas de nivel, las formas del relieve e interpolación de curvas de nivel). Trabajos con mapas y planos (determinar las coordenadas de un punto y situar otro de coordenadas conocidas, determinar la cota de un punto y la inclinación de una línea, trazar una línea con una pendiente dada, trazados de perfiles). Elementos de la teoría de los errores. Importancia de esta teoría. Magnitudes matemáticas y magnitudes físicas. Valores reales y valores observados (Errores y equivocaciones. Errores instrumentales. Errores personales. Errores naturales. Errores sistemático y accidental. Error real y residuo. Valor promedio, su



definición y determinación. Peso de las observaciones. Valor promedio en función de los pesos promedios. Error probable de una observación aislada, su significación y formula. Error máximo. Error probable del valor promedio, su significación y formulas. Error relativo, precisión. Relación entre precisión angular y lineal. Números aproximados.

2. Contenido de las clases prácticas

Este tema tiene cuatro clases prácticas:

- Cálculo de acimut y rumbo. Tarea topográfica directa e inversa
- Trabajo con escala
- Trabajo con mapas y planos
- Interpolación de curvas de nivel.

II.3.2. Tema II: Equipos e instrumentos topográficos

1. Contenido

Materialización de los puntos en el terreno. Medidas directas de distancias (Instrumentos utilizados: cintas metálicas, hilos y cintas de invar). El teodolito, sus partes. El taquímetro. Medición de ángulos horizontales (métodos de repetición y reiteración). Medición de ángulos verticales. Métodos de mediciones indirectas de distancias (hilos estadimétricos, miras de base, telémetros). Teodolitos autorreductores. Reducción de las distancias inclinadas al plano horizontal.

Otros equipos topografía (Estaciones totales, GPS, GPS estación total).

2. Contenido de los laboratorios

Este tema tiene cuatro laboratorios:

- Estudio del teodolito y el nivel
- Medición de ángulos horizontales y verticales
- Medición de distancias
- Mostrar equipos modernos.



II.3.3. Tema III: Estudio general de los métodos

1. Contenido

Clasificación de los levantamientos, partes de que consta. Influencia de la esfericidad terrestre en planimetría y altimetría. Conocimientos generales sobre las redes geodésicas y las redes para levantamientos. Método planimétrico (levantamiento con teodolito). Método altimétrico (nivelación geométrica, trigonométrica y barométrica, levantamiento taquimétrico, levantamiento con plancheta).

2. Contenidos los laboratorios

Este tema tiene tres laboratorios:

- Trazado de una poligonal
- Trazado de un circuito de nivelación geométrica
- Levantamiento taquimétrico.

3. Contenido de las clases prácticas

Este tema tiene dos clases prácticas:

- Cálculo y compensación de una poligonal
- Cálculo y compensación de un circuito de nivelación.

4. Contenido del taller

Este tema tiene un taller:

- Dibujo de un levantamiento topográfico.

II.3.4. Tema IV: Aplicación de la topografía a los trabajos de ingeniería

1. Contenido

Cálculo de áreas. Cálculo de volúmenes. Replanteo de un punto, de una cota, de una curva de nivel y de una rasante.

2. Contenido de las clases prácticas

Este tema tiene dos clases prácticas:



- Cálculo de un área por el método de coordenadas, división en figuras simples y el método mecánico
- Cálculo de volumen.

II.3.5. Sistema evaluativo de la asignatura

1. Evaluaciones finales

La asignatura no tiene examen final

2. Evaluaciones parciales

Una prueba parcial del tema I

Dos tareas extra clase (tema I y III)

3. Evaluaciones frecuentes

Clases prácticas.

Laboratorios.

Taller.

Preguntas de control en clases.

II.3.6. Textos básicos

- COLECTIVO DE AUTORES. *Topografía General y Aplicada*. Tomo I. Editorial ENPES. 1990
- COLECTIVO DE AUTORES. *Topografía General y Aplicada*. Tomo II. Editorial ENPES. 1990.

II.4. Distribución por temas en la asignatura Topografía Minera

El objetivo de la asignatura es resolver el servicio topográfico para laborear y proyectar la explotación minera subterránea y a cielo abierto.

Los temas están estructurados de la forma siguiente:



II.4.1. Tema I: Trabajos topográficos en la explotación minera a cielo abierto

1. Contenido

Creación de la red de apoyo. Confección de las redes de levantamientos. Levantamiento topográfico de las canteras. Levantamiento estereofotogramétrico en las canteras. Trabajos topogeodésicos en la construcción y reconstrucción de canteras.

2. Contenidos de los laboratorios

Este tema tiene seis laboratorios:

1. Apreciación de la calidad de los materiales del levantamiento y determinación del solape y la escala del levantamiento.
2. Montaje de fotomosaico
3. Equipos de fotogrametría
4. El fototeodolito y las cámaras UMK
5. Procesamiento analítico de un par de fotogramas (en el estereocomparador)
6. Construcción de un perfil en el estereocomparador.

3. Contenido de las clases prácticas

Este tema tiene tres clases prácticas

- 1- Intersección de planos de poca o relativa inclinación con una región topográfica (plazoleta)
- 2- Intersección de planos de poca o relativa inclinación con una región topográfica (Taludes)
- 3- Caminos.



II.4.2. Tema II: Trabajos topográficos en la explotación subterránea

1. Contenido

La topografía minera. Levantamientos subterráneos con teodolitos. Orientación. Altimetría subterránea. Levantamiento de las excavaciones de corte y arranque. Controles topográficos en la construcción de las excavaciones subterráneas.

2. Contenidos de las clases prácticas

Este tema tiene cuatro clases prácticas:

Orientación por un pozo vertical

Orientación por dos pozos verticales

Desarrollo de excavaciones laboreadas por frentes de encuentros

Desarrollo de curvaturas en las excavaciones.

3. Contenidos de los laboratorios

Este tema tiene dos laboratorios.

Transmisión de la cota por el método de cinta larga.

Circuito de nivelaciones geométricas en las excavaciones mineras.

II.4.3. Sistema evaluativo de la asignatura

1. Evaluaciones finales

La asignatura no tiene examen final.

2. Evaluaciones parciales

Prueba parcial del tema I y II.

Tarea extraclase del tema I.

Tarea extraclase del tema II.

3. Evaluaciones frecuentes

Clases prácticas.



Laboratorios.

Preguntas de control en clases.

II.4.4. Textos básicos

- Ing. FERRER BURGOS, Rubén. *Topografía Minera I*. La Habana : Editorial Pueblo y Educación, 1987. SNLC
- Ing. FERRER BURGOS, Rubén. *Topografía Minera II*. La Habana : Editorial Pueblo y Educación, 1984. SNLC.

II.5. Enriquecimiento del diseño curricular

El perfeccionamiento de los planes de estudio **se concibe como un proceso continuo de la Educación Superior**. Como resultado de ello, en determinados momentos, se alcanza un desarrollo cualitativo que conlleva a modificar los planes de estudio vigentes.

Desde el curso 90 – 91 que se introdujeron los Planes de Estudio C a la fecha, han transcurrido ya 15 años, en los cuales han tenido lugar importantes transformaciones, como consecuencia de los cambios que se han producido en nuestro país y, en general, de los avances de la ciencia y la técnica, que en algunos Organismos de la Administración Central del Estado (OACE) con Centros de Educación Superior (CES) adscritos, han implicado incluso la necesidad de nuevos planes de estudio o carreras. En particular, en el MES se desarrolló un proceso de actualización de esos planes dando lugar a los Planes C modificados y posteriormente a los Planes C Perfeccionados, que abarcó todas las carreras entonces vigentes, cuyos primeros graduados egresaron en el curso 2002 -2003.

Diferentes investigaciones realizadas en la educación superior, entre ellas los estudios acerca de las tendencias actuales en el mundo y su comparación con la realidad cubana, así como las investigaciones periódicas acerca de la calidad de nuestros graduados, realizadas bajo la dirección conjunta del MES y del Centro de Estudios Para el Perfeccionamiento de la Educación Superior (CEPES) de la Universidad de la Habana, conducen a pensar en la necesidad de nuevos planes.



En particular, la estructura de carreras vigente desde esa fecha, requiere de un análisis para determinar cuáles de las actuales deben continuar desarrollándose, cuáles deben eliminarse, transformarse o integrarse y qué nuevas carreras deben comenzar a ser impartidas como consecuencia de los cambios antes descritos.

Es un objetivo de este proceso de elaboración de una cuarta generación de planes de estudio –que genéricamente denominamos Planes D - **que los cambios que se están produciendo en algunas carreras como consecuencia de la actual batalla de ideas que libra nuestro pueblo, se integren igualmente a este perfeccionamiento.**

Pensando en estas modificaciones necesarias dentro de los planes de estudio de la Educación Superior, se ha preparado el presente software como una aplicación relacionada con la orientación subterránea de las excavaciones mineras y el cálculo de poligonales, nivelaciones, etc. como una herramienta a utilizar que permitiría la impartición exitosa del proceso docente y una efectiva orientación del trabajo independiente del estudiante, así como la enseñanza no presencial de algunos temas y de igual manera se lograría un enriquecimiento en la Estrategia Curricular de computación y uso de los medios informáticos en la carrera.

La introducción de éste software como herramienta permite mejorar la tipología de las actividades docentes en las asignaturas y sus diferentes niveles de enseñanza como postgrados, diplomados y maestrías.

Con el uso del software diseñado en este trabajo, algunas clases prácticas reducirían sus horas para dedicarlas a laboratorios frente a la computadora, tal es el caso de las clases prácticas destinadas al cálculo de nivelaciones, poligonales, orientación de excavaciones subterráneas por el método de los triángulos, método del cuadrilátero, orientación por dos pozos verticales, etc. incrementando el número de horas de laboratorio y trabajo independiente, donde se resolverá el gran volumen de cálculos que se realiza en las clases prácticas de forma manual. Se propone reducir las horas de conferencias en algunos contenidos, específicamente la parte dedicada a la fotogrametría (**ver anexo # 7 y anexo # 8**).



II.6. Conclusiones

1. Del análisis del enriquecimiento del diseño curricular se deriva la necesidad de elaborar medios y herramientas que permitan la actualización más frecuente de los contenidos de la disciplina y esto puede ser a través de un software
2. Es posible disminuir el número de horas presenciales en las asignaturas Topografía General y Topografía Minera adecuando las actividades docentes con el incremento del trabajo independiente por los estudiantes.



Capítulo III: Diseño del software Topo_Minh

III.1. Generalidades del software

Este Software está encaminado hacia los cálculos existentes de las asignaturas Topografía General y la Topografía Minera que se imparten en el segundo año de la carrera de Ingeniería de Minas. Estos cálculos se pueden apreciar en las figuras 1 y 2:

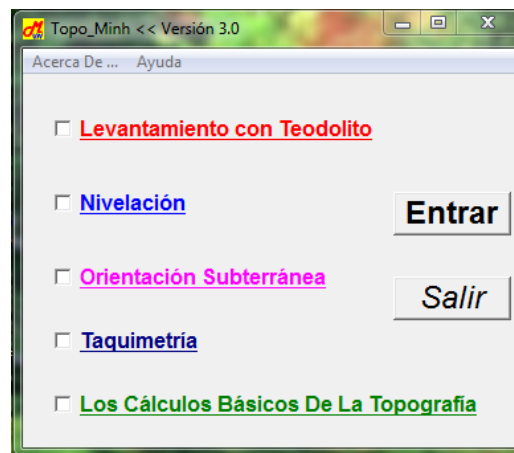


Figura 1: Programas existentes en el software Topo_Minh.

Los cálculos básicos de la topografía son siguientes:

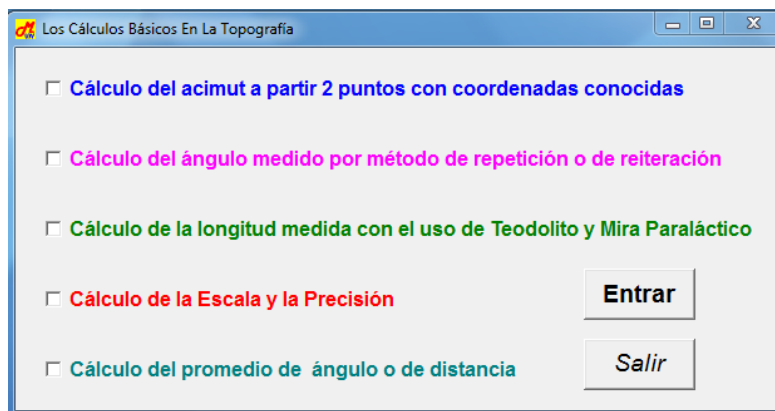


Figura 2: Cálculos básicos de la topografía.

Estos métodos consisten en la introducción de datos lógicos y visualización de resultados. Durante el desarrollo los mismos se ofrecen en forma de ayuda la



explicación auxiliándose de gráficos y textos relacionados con la temática específica para cada método, como ejemplo (figuras 3, 4, 5):

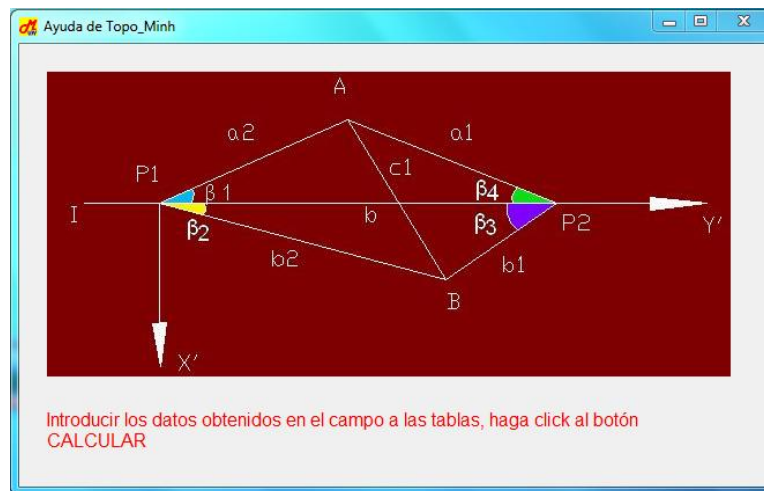


Figura 3: Ayuda del software para el programa de orientación subterránea por el método del cuadrilátero.

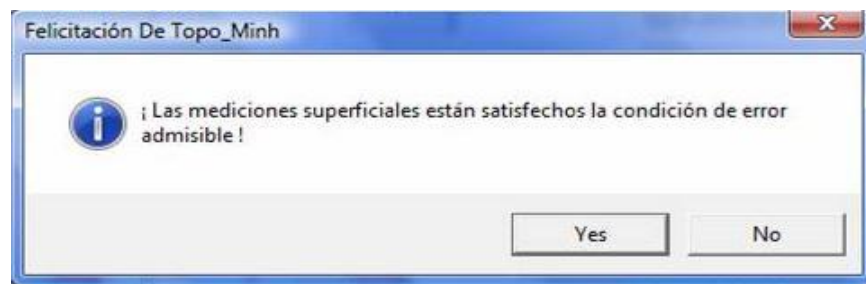


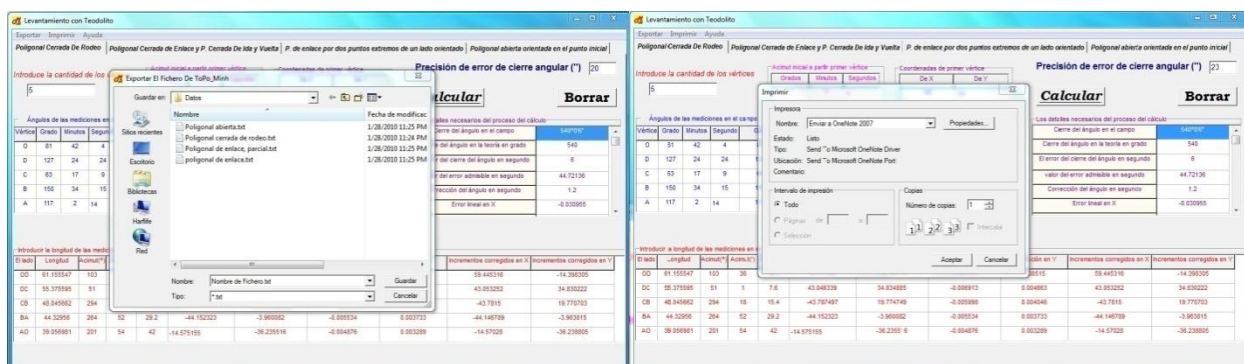
Figura 4: Felicitación del software si los datos están satisfechos a la condición del error admisible.



Figura 5: Aviso del software si los datos no están satisfechos a la condición del error admisible.



Los datos y los resultados de cálculo con el software Topo_Minh se pueden exportar al fichero de formato *.txt e imprimir. Ejemplos (figuras 6 y 7):



Figuras 6 y 7: Herramienta de exportar e imprimir para el programa de levantamiento con el teodolito por la poligonal cerrada de rodeo.

El error de software está en un rango muy pequeño (0,0000001 metro del error longitudinal y 0,0001 segundo del error angular).

III.2. Cálculos básicos en la topografía

III.2.1. Cálculo del promedio angular y del promedio longitudinal

1. Cálculo del promedio angular

Para determinar el promedio angular del ángulo \widehat{ABC}_{pro} se utiliza la siguiente expresión:

$$\widehat{ABC}_{pro} = \frac{\widehat{ABC}_1 + \widehat{ABC}_2 + \dots + \widehat{ABC}_n}{n}$$

$\widehat{ABC}_1 + \widehat{ABC}_2 + \dots + \widehat{ABC}_n$ son las mediciones del ángulo \widehat{ABC} en n veces.

n: la cantidad de las mediciones repetidas del ángulo \widehat{ABC} .

2. Cálculo del promedio longitudinal

Para calcular el promedio longitudinal de la distancia \overline{AB}_{pro} se utiliza la siguiente expresión:



$$\overline{AB}_{pro} = \frac{AB_1 + AB_2 + \dots + AB_n}{n}$$

$AB_1 + AB_2 + \dots + AB_n$ son las mediciones de AB en n veces.

n: la cantidad de las mediciones repetidas de AB.

3. Método de cálculo con el software

El desarrollo de este método se puede observar con un ejemplo (figura 8).

a) Entre los datos que se deben introducir en este método se encuentran los siguientes:

- ✓ La cantidad de mediciones repetidas de una distancia (o un ángulo)
- ✓ El nombre de la distancia (o ángulo)
- ✓ Los valores de las mediciones.

b) El resultado obtenido es el promedio longitudinal (o el promedio angular)



Figura 8: Programa del cálculo del promedio de una distancia y de un ángulo.

III.2.2. Cálculo de la escala y la precisión a partir de las mediciones de una distancia o de un ángulo

1. Metodología de cálculo.

El cálculo de la escala y la precisión a partir de las mediciones de una distancia o un ángulo, se desarrolla según los siguientes pasos de cálculos:



Valor promedio (\bar{X}):

$$\bar{X} = \frac{X_1 + X_2 + \dots + X_n}{n}$$

$X_{1..n}$ – valores obtenidos en n veces de medir.

Error residual (e_{rn}):

$$e_{rn} = \bar{X} - X_n$$

Error más probable (E_p):

$$E_p = \pm \frac{2}{3} * \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n e_{ri}^2}{n-1}}$$

Error verdadero (E_v):

$$E_v = \pm \frac{E_p}{\sqrt{n}}$$

La precisión (P):

Para una distancia:

$$P = \frac{1}{\frac{\bar{X}}{E_v}}$$

Para un ángulo:

$$P = \frac{1}{\frac{1}{E_v}}$$

Escala (E):

$$E = \frac{1}{\frac{P * \bar{X}}{0,0005}}$$

2. Método de cálculo con el software

El desarrollo de este método se puede observar con un ejemplo (figura 9).



a) Entre los datos que se deben introducir en este método se encuentran los siguientes:

- ✓ La cantidad de las mediciones desiguales de una distancia (o un ángulo)
- ✓ Los valores de las mediciones repetidas
- ✓ La cantidad de veces que coincide un valor de las mediciones.

b) Entre los resultados que se visualizan se pueden mencionar los siguientes:

- El valor promedio
- El error probable
- El error verdadero
- La precisión
- La escala que pueda tener el mapa.

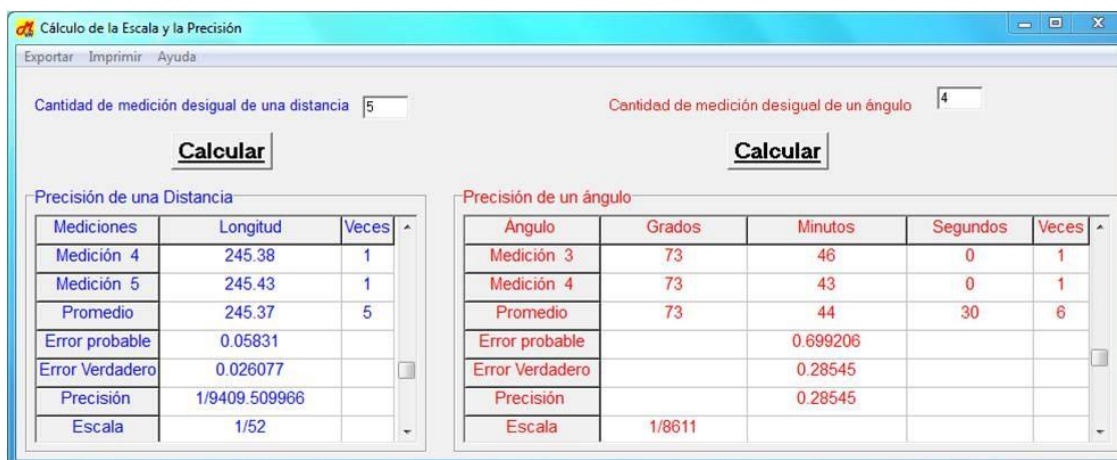


Figura 9: Programa para el cálculo de precisión y escala.

III.2.3. Cálculo de ángulo medido por métodos de repetición y de reiteración

1. Método de repetición.

Para medir los ángulos por el método de repetición se debe seguir el siguiente orden:

- i. Fijar el cero de la alidada de forma tal que la lectura sea algo mayor que 0° ($2' - 3'$)
- ii. Soltar el limbo, dirigir el anteojo hacia la plomada trasera A, y tomar la lectura A_1 (lectura inicial)



- iii. Soltar la alidada, dirigir el anteojo hacia la plomada delantera y tomar la lectura de control A_2
- iv. Dar vuelta de campana, fijar el limbo y rotándolo junto con la alidada, enfocar a la plomada trasera, o tomar lectura
- v. Soltar la alidada y dirigir el anteojo hacia el punto delantero y tomar la lectura A_3 (lectura final).

El ángulo cálculo por la expresión:

$$\beta = \frac{A_3 - A_1}{2}$$

Para control de la medición se calcula el valor del ángulo de control:

$$\beta_c = A_2 - A_1$$

En la medición de los ángulos en las redes de apoyo y en las poligonales precisas a través de excavaciones horizontales la diferencia $\beta - \beta_c$ debe ser menor de $45''$. En el caso que uno de los lados del ángulo medido tenga poca inclinación y el otro sea inclinado esta diferencia debe ser menor de $90''$.

En las poligonales para crear redes de levantamiento la diferencia no debe ser mayor de $60''$ para las poligonales precisas primera categoría y $90''$ para las técnicas (segunda categoría).

2. Método de reiteración

Para medir el ángulo β comprendido entre las direcciones AC y BC, se estaciona en el punto C el teodolito y en los puntos A y B se cuelgan las plomadas y se mide el ángulo en el orden siguiente:

1. Fijar el limbo con la alidada de forma tal que la lectura en el limbo sea algo mayor que $0^\circ (2' - 3')$
2. Soltar el limbo y dirigir el anteojo hacia la plomada trasera A, para tomar la lectura A_1 (si el instrumento tiene dos nonios, la lectura se toma por ambos)
3. Soltar la alidada, dirigir el anteojo hacia la plomada delante B y tomar la lectura A_2



4. Dar una vuelta de campana, soltar la alidada y enfocar la plomada trasera A, para tomar la lectura A_3

5. Soltar la alidada, dirigir el anteojo hacia la plomada delantera B y tomar la lectura A_4 .

El valor del ángulo de una semirreiteración se calcula por la diferencia en entre las dos direcciones:

$$\beta_I = A_2 - A_1$$

$$\beta_D = A_4 - A_3$$

donde:

β_I – ángulo medido con el limbo vertical a la izquierda (semirreiteración).

β_D – ángulo medido con el limbo vertical a la derecha (semirreiteración).

El valor final del ángulo se obtiene por la fórmula:

$$\beta = \frac{\beta_D + \beta_I}{2}$$

El valor se puede calcularlo también promediando los valores de los segundos o minutos (de acuerdo con el caso) para la dirección del punto trasero:

$$\frac{A_1 + A_3}{2} = \beta_0$$

Y para el punto delantero:

$$\frac{A_2 + A_4}{2} = \beta_F$$

El ángulo β estará dado por la expresión:

$$\beta = \beta_F - \beta_0 = \frac{A_2 + A_4}{2} - \frac{A_1 + A_3}{2}$$

Efectuando y agrupando se tendrá:

$$\beta = \frac{A_2 - A_1}{2} - \frac{A_4 - A_3}{2}$$

El desarrollo de este método se puede observar con un ejemplo (figura 10).

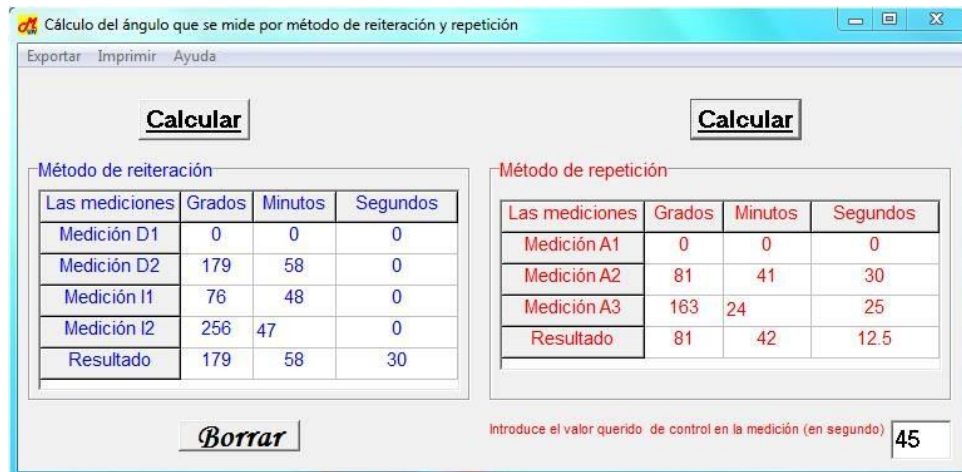


Figura 10: Programa para el cálculo de ángulo.

III.2.4. Cálculo de la longitud medida con el uso de teodolito y mira paraláctica

Para determinar la distancia entre dos puntos (figura 11) se mide el ángulo entre los extremos de la mira paraláctica (longitud de 2 metros). Luego se utiliza la siguiente fórmula:

$$D = \frac{1}{\tan (\alpha/2)}$$

α es el ángulo que forma entre dos extremos de paraláctico.

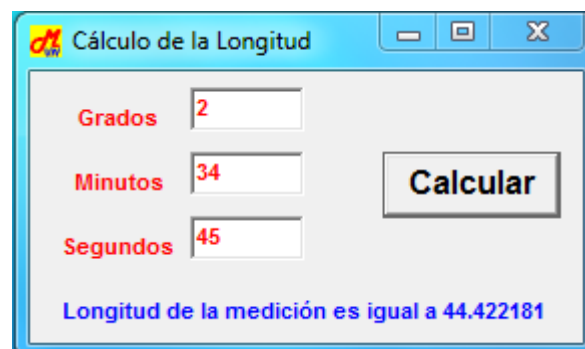


Figura 11: Programa para el cálculo de longitud.



III.2.5. Cálculo de la distancia y del acimut entre dos puntos con coordenadas conocidas

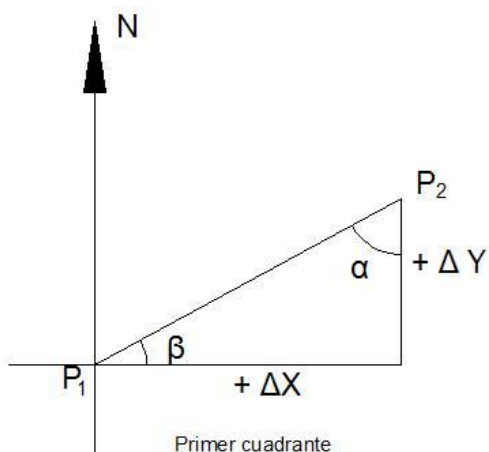
El cálculo del acimut mediante el software se puede ver en la figura 12.

Si se conocen las coordenadas de los puntos $P_1 (X_1, Y_1)$, $P_2 (X_2, Y_2)$ de geometría analítica, se sabe que la distancia entre ellos vendrá dada por:

$$D = P_1P_2 = \sqrt{(\Delta X)^2 + (\Delta Y)^2}$$

donde: $\Delta X = X_2 - X_1$ y $\Delta Y = Y_2 - Y_1$

1. Primer cuadrante



Primer cuadrante
Si $|\Delta X| > |\Delta Y|$

$$\tan \beta = \left| \frac{\Delta Y}{\Delta X} \right| < 1$$

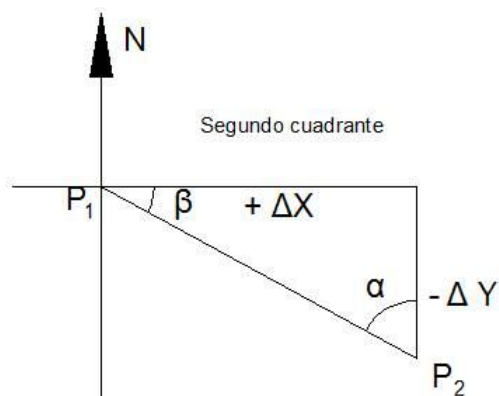
$$Az = R(NE) = 90^\circ - \beta$$

Si $|\Delta X| < |\Delta Y|$

$$\tan \alpha = \left| \frac{\Delta X}{\Delta Y} \right| < 1$$

$$Az = R(NE) = \alpha$$

2. Segundo cuadrante



Si $|\Delta X| > |\Delta Y|$

$$\tan \beta = \left| \frac{\Delta Y}{\Delta X} \right| < 1$$

$$Az = 90^\circ + \beta$$

$$R(SE) = 90^\circ - \beta$$

Si $|\Delta X| < |\Delta Y|$

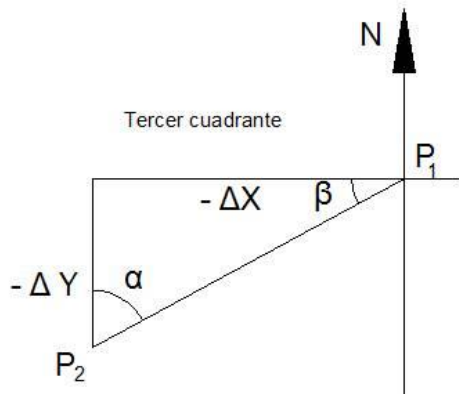
$$\tan \alpha = \left| \frac{\Delta X}{\Delta Y} \right| < 1$$

$$Az = 180^\circ - \alpha$$

$$R(SE) = \alpha$$



3. Tercer cuadrante



Si $|\Delta X| > |\Delta Y|$

$$\tan \beta = \left| \frac{\Delta Y}{\Delta X} \right| < 1$$

$$Az = 270^\circ - \beta$$

$$R(SW) = 90^\circ - \beta$$

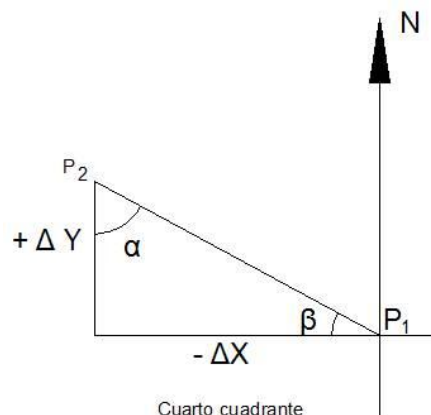
Si $|\Delta X| < |\Delta Y|$

$$\tan \alpha = \left| \frac{\Delta X}{\Delta Y} \right| < 1$$

$$Az = 180^\circ + \alpha$$

$$R(SW) = \alpha$$

4. Cuarto cuadrante



Si $|\Delta X| > |\Delta Y|$

$$\tan \beta = \left| \frac{\Delta Y}{\Delta X} \right| < 1$$

$$Az = 270^\circ + \beta$$

$$R(NW) = 90^\circ - \beta$$

Si $|\Delta X| < |\Delta Y|$

$$\tan \alpha = \left| \frac{\Delta X}{\Delta Y} \right| < 1$$

$$Az = 360^\circ - \alpha$$

$$R(NW) = \alpha$$



Figura 12: Programa para el cálculo de acimut a partir dos puntos conocidos.



III.3. Levantamiento con Teodolito

La posición de los puntos en la superficie terrestre, se puede determinar por el método de las poligonales. La poligonal consiste en una serie de lados unidos unos a otros en forma tal que el punto extremo final de cada lado coincide con el punto extremo inicial del lado siguiente. El punto común recibe la denominación de punto poligonométrico o vértice. En cada vértice se mide sucesivamente el ángulo de dirección a partir del punto precedente hacia el punto siguiente, es decir, en general, a la izquierda de la poligonal tomada en sentido de la medición. La forma de la poligonal está determinada por las longitudes de los lados y por los ángulos de dirección.

III.3.1. Poligonal cerrada de rodeo

1. Definición

La poligonal cerrada de rodeo (figura 13) es aquella que parte de un punto de coordenadas (X, Y) y acimut conocido, y se recorre, como su nombre lo indica, rodeando el área objeto de levantamiento, hasta terminar en el punto inicial de referencia. Se usa para la densificación de zonas y para determinar áreas poco extensas. Estas poligonales comienzan y terminan en el mismo punto (de coordenadas conocidas).

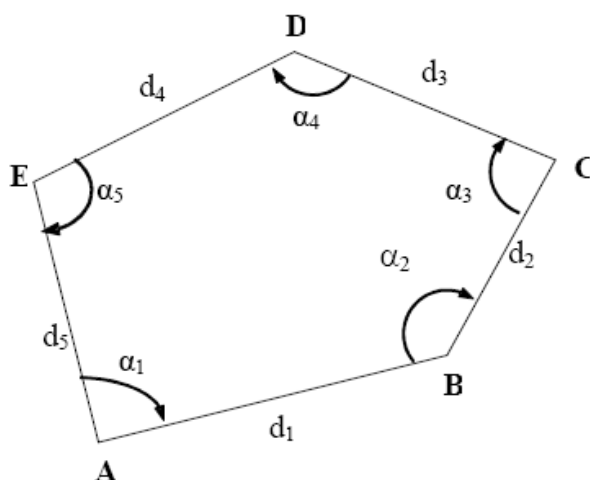


Figura 13: Poligonal cerrada de rodeo.



2. Metodología de cálculo.

a) Pasos para determinar el error angular y corregirlo

- i. Calcular la sumatoria de los ángulos medidos en el campo ($\sum \beta_{medir}$) y la sumatoria teórica de ángulos $\sum \beta_{teórico} = 180^\circ * (n - 2)$ (cuando se miden ángulos interiores) - $\sum \beta_{teórico} = 180^\circ * (n + 2)$ (cuando se miden ángulos exteriores). Donde: n es el número de vértices de la poligonal.
- ii. Determinar el error de cierre angular (e_β)

$$e_\beta = \sum \beta_{medir} - \sum \beta_{teórico}$$

Comparar el resultado obtenido con el valor de error angular admisible (depende de la categoría de levantamiento) que se dispone en tabla # 1.

	Poligonal de alta precisión	Poligonal de precisión		
		Principal	Secundaria	Corriente
Error de cierre angular	$10''\sqrt{n}$	$20''\sqrt{n}$	$40''\sqrt{n}$	$180''\sqrt{n}$
Longitud		10 Km	4 Km	2Km

Tabla # 1: Precisión angular de las poligonales.

Si $e_\beta > e_{\beta \text{ admisible}}$ se deben repetir los trabajos de medición en el campo.

- iii. Cálculo de la corrección angular

$$C_\beta = \left| \frac{e_\beta}{n} \right|$$



Si $\sum \beta_{medir} > \sum \beta_{teórico}$ entonces C_β es negativa.

Si $\sum \beta_{medir} < \sum \beta_{teórico}$ entonces C_β es positiva.

La corrección angular se realiza distribuyéndola en los ángulos de los vértices del polígono.

b) Pasos para calcular incremento de coordenadas X y Y

- i. Determinar el acimut de cada lado del polígono

$$Az_{n+1} = Az_n \pm \beta_m \pm 180^\circ$$

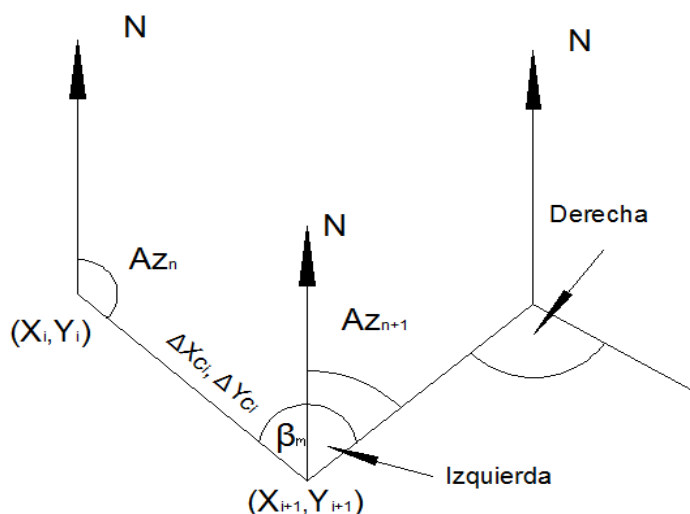


Figura 14: Indicaciones para el cálculo de acimut de un lado.

Los ángulos que se encuentren medidos a la izquierda se suman, y a la derecha se restan (ver figura 14).

Si $Az_n \pm \beta_m > 180^\circ$ entonces $Az_{n+1} = Az_n \pm \beta_m - 180^\circ$

Si $Az_n \pm \beta_m < 180^\circ$ entonces $Az_{n+1} = Az_n \pm \beta_m + 180^\circ$

- ii. Conversión de acimut a rumbo (ver tabla # 2)



Cuadrante	Acimut	Rumbo
Primer cuadrante	$0^\circ < Az < 90^\circ$	$R = N(Az)E$
Segundo cuadrante	$90^\circ < Az < 180^\circ$	$R = S (180^\circ - Az)E$
Tercer cuadrante	$180^\circ < Az < 270^\circ$	$R = S(Az - 180^\circ)W$
Cuarto cuadrante	$270^\circ < Az < 360^\circ$	$R = N(360^\circ - Az)W$

Tabla # 2: La conversión de acimut a rumbo.

iii. Cálculo de los senos y cosenos

Calcular los senos, cosenos y se procede a obtener los ΔX y ΔY :

$$\Delta X_i = D_i * \text{sen}R \quad \Delta Y_i = D_i * \text{cos}R$$

donde: D_i es la longitud de la línea.

Luego se busca en los cuadrantes los signos de ΔX y ΔY :

Rumbo	ΔX	ΔY
NE	+	+
NW	-	+
SW	-	-
SE	+	-

c) Pasos para determinar error lineal y compensarlo

i. Cálculo de los incrementos de coordenadas (e_{LX} y e_{LY})

$e_{LX} = \sum \Delta X$ - se denomina error lineal en x.

$e_{LY} = \sum \Delta Y$ - se denomina error lineal en Y.

$e_{LT} = \sqrt{e_{LX}^2 + e_{LY}^2}$ se denomina error lineal total.



Comparar el valor de e_{LT} con el error lineal admisible que viene dado en tabla # 3.

	Poligonal de alta precisión	Poligonal de precisión		
		Principal	Secundaria	Corriente
Error de cierre lineal	$\pm 0.006\sqrt{D}$	$\pm 0.012\sqrt{D}$	$\pm 0.015\sqrt{D}$	1:500
Longitud		10 Km	4 Km	2Km

Tabla # 3: Precisión lineal de las poligonales.

D – La longitud de la línea más larga de la poligonal.

ii. Calcular las correcciones (C_{Xi} y C_{Yi})

$$C_{Xi} = \pm \frac{e_{LX}}{P} * L_i$$

$$C_{Yi} = \pm \frac{e_{LY}}{P} * L_i$$

P es la suma de todas las distancias de la poligonal.

L_i es la longitud de la línea que está calculando.

Comprobación: $\sum C_{Xi} = e_{LX}$ y $\sum C_{Yi} = e_{LY}$

iii. Determinar de los incrementos de coordenadas corregidas (ΔX_{c_i} y ΔY_{c_i})

$$\Delta X_{c_i} = \Delta X_i \pm C_{Xi}$$

$$\Delta Y_{c_i} = \Delta Y_i \pm C_{Yi}$$

Comprobación: $\sum \Delta X_{c_i} = 0$ y $\sum \Delta Y_{c_i} = 0$



d) Paso para determinar las coordenadas de los puntos de la poligonal

- iv. Calcular las coordenadas (X_{i+1} y Y_{i+1})

$$X_{i+1} = X_i + \Delta Xc_i$$

$$Y_{i+1} = Y_i + \Delta Yc_i$$

e) Paso opcional para determinar la precisión de la poligonal

- v. Calcular la precisión de la poligonal

$$Precisión = \frac{1}{\frac{P}{\sqrt{e_{LX}^2 + e_{LY}^2}}}$$

3. Método del cálculo con el software

El desarrollo de este método se puede observar con un ejemplo (figura 15).

a) Entre los datos que se deben introducir en este método se encuentran los siguientes:

- ✓ La cantidad de los vértices
- ✓ El acimut a partir primer vértice
- ✓ Las coordenadas de primer vértice
- ✓ El nombre de cada vértice (en la tabla que introduce valores angulares)
- ✓ Los valores de ángulos internos de la poligonal (en grados, minutos, segundos)
- ✓ La precisión de error de cierre angular
- ✓ La longitud de cada lado de la poligonal (se aconseja rectificar otra vez este valor cuando acaba de hacer clic al botón CALCULAR).

b) Entre los resultados que se visualizan se pueden mencionar los siguientes:

- El cierre del ángulo en el campo
- El cierre del ángulo en la teoría
- El error del cierre del ángulo
- El valor de error angular admisible



- La corrección del ángulo
- El Error lineal en X
- El Error lineal en Y
- El Error lineal total
- La precisión de la poligonal
- Los valores de ángulos internos de los vértices de la poligonal después de compensar el error
- El acimut de cada lado de la poligonal
- Los incrementos, la corrección, y los incrementos corregidos en X y en Y de cada lado del polígono
- Coordenadas de cada vértice de la poligonal.

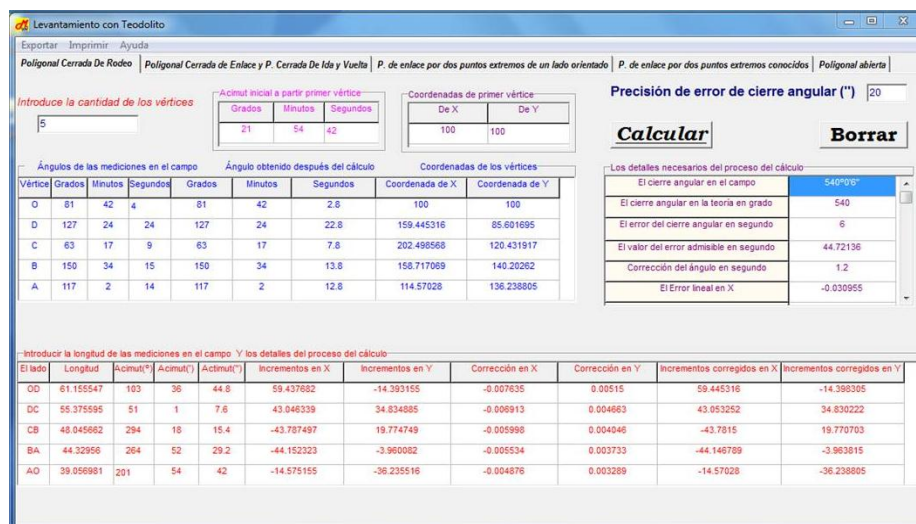


Figura 15: Programa de levantamiento con teodolito por la poligonal cerrada de rodea.

III.3.2. Poligonales cerradas de enlace

1. Definición

La poligonal cerrada de enlace (figura 16) es aquella que comienza en un punto de coordenadas y acimut conocidos y termina en otro de coordenadas y acimut conocidos. Se utiliza para dar coordenadas a puntos situados en su corrido.

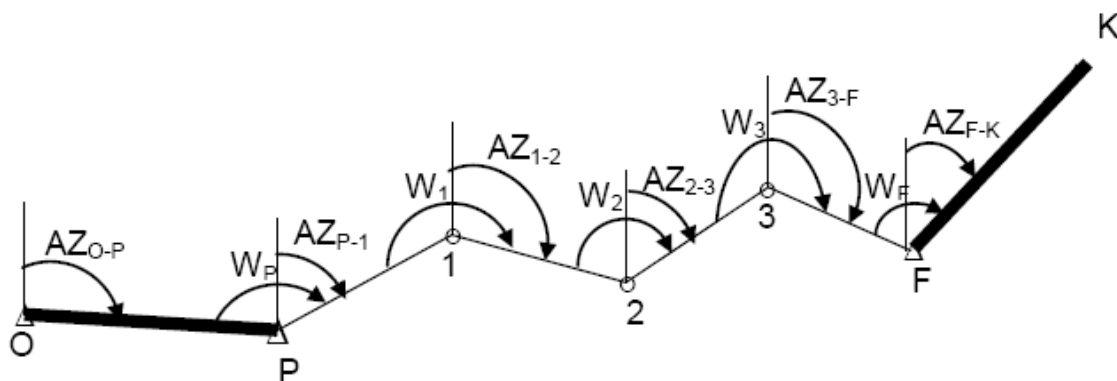


Figura 16: La poligonal cerrada de enlace.

2. Metodología de cálculo

a) Pasos para determinar error angular y su corrección

- i. Calcular el acimut (Az_{fcal}) de la línea final (línea FK) a partir el acimut de la línea inicial (línea OP)
- ii. Determinar el error angular (e_{β})

$$e_{\beta} = Az_{fcal} - Az_{final}$$

Comparar el resultado obtenido con el valor de error angular admisible (depende de la categoría del levantamiento) que dispone en la tabla # 1.

Donde: n – cantidad de vértice de la poligonal.

Si $e_{\beta} > e_{\beta \text{ admisible}}$ hay que repetir los trabajos de medición en el campo.

- iii. Calcular la corrección angular

$$C_{\beta} = \left| \frac{e_{\beta}}{n} \right|$$

Si $Az_{cal} > Az_{final}$ entonces C_{β} es negativa.

Si $Az_{cal} < Az_{final}$ entonces C_{β} es positiva.



La corrección angular se realiza distribuyéndola a los acimutes de la poligonal.

b) Pasos para determinar el incremento de coordenadas X y Y

- i. Conversión de acimut a rumbo (ver tabla # 2)
- ii. Cálculo de los senos y cosenos

Se calculan los senos, cosenos y se procede a obtener los ΔX y ΔY :

$$\Delta X_i = D_i * \text{sen}R \quad \Delta Y_i = D_i * \text{cos}R$$

donde: D_i es la longitud de la línea de rumbo conocido.

Luego se busca en los cuadrantes los signos de ΔX y ΔY :

Rumbo	ΔX	ΔY
NE	+	+
NW	-	+
SW	-	-
SE	+	-

c) Pasos para determinar el error lineal y compensarlo

- i. Cálculo de los incrementos de coordenadas (e_{LX} y e_{LY})

$$e_{LX} = \sum \Delta X - (X_{final} - X_{inicial}) \text{ - también se denomina error lineal en x.}$$

$$e_{LY} = \sum \Delta Y - (Y_{final} - Y_{inicial}) \text{ - también se denomina error lineal en Y.}$$

$$e_{LT} = \sqrt{e_{LX}^2 + e_{LY}^2} \text{ - se denomina error lineal total.}$$

Comparar el valor de e_{LT} con el error lineal admisible que viene dado en la tabla # 3.

- ii. Calcular las correcciones (C_{Xi} y C_{Yi})



$$C_{Xi} = \pm \frac{e_{LX}}{P} * L_i$$

$$C_{Yi} = \pm \frac{e_{LY}}{P} * L_i$$

P es el sumatoria de todas las distancias de las líneas.

L_i es la longitud de la línea que está calculando.

Comprobación: $\sum C_{Xi} = e_{LX}$ y $\sum C_{Yi} = e_{LY}$

iii. Cálculo de los incrementos de coordenadas corregidas (ΔX_{c_i} y ΔY_{c_i})

$$\Delta X_{c_i} = \Delta X_i \pm C_{Xi}$$

$$\Delta Y_{c_i} = \Delta Y_i \pm C_{Yi}$$

Comprobación: $\sum \Delta X_{c_i} = 0$ y $\sum \Delta Y_{c_i} = 0$

d) Paso para determinar las coordenadas de los puntos del poligonal

i. Calcular las coordenadas (X_{i+1} y Y_{i+1})

$$X_{i+1} = X_i + \Delta X_{c_i}$$

$$Y_{i+1} = Y_i + \Delta Y_{c_i}$$

e) Paso opcional para determinar la precisión de la poligonal

i. Cálculo la precisión de la poligonal

$$Precisión = \frac{1}{\frac{P}{\sqrt{e_{LX}^2 + e_{LY}^2}}}$$



3. Método del cálculo con el software

El desarrollo de este método se puede observar con un ejemplo (figura 17).

a) Entre los datos que se deben introducir en este método se encuentran los siguientes:

- ✓ La cantidad de los vértices
- ✓ El acimut inicial y final
- ✓ Las coordenadas iniciales y finales
- ✓ El nombre de cada vértice y su valor angular
- ✓ La precisión de error de cierre angular
- ✓ La longitud de cada lado de la poligonal (se aconseja rectificar otra vez este valor cuando acaba de hacer clic al botón CALCULAR).

b) Entre los resultados que se visualizan se pueden mencionar los siguientes:

- El cierre del ángulo en el campo, en la teoría
- El error del cierre del ángulo
- El valor de error angular admisible
- La corrección del ángulo
- El Error lineal en X, Y
- El Error lineal total
- La precisión de la poligonal
- El acimut de cada lado de la poligonal
- Los incrementos, la corrección, y los incrementos corregidos en X y en Y de cada lado del polígono
- Coordenadas de cada vértice de la poligonal.

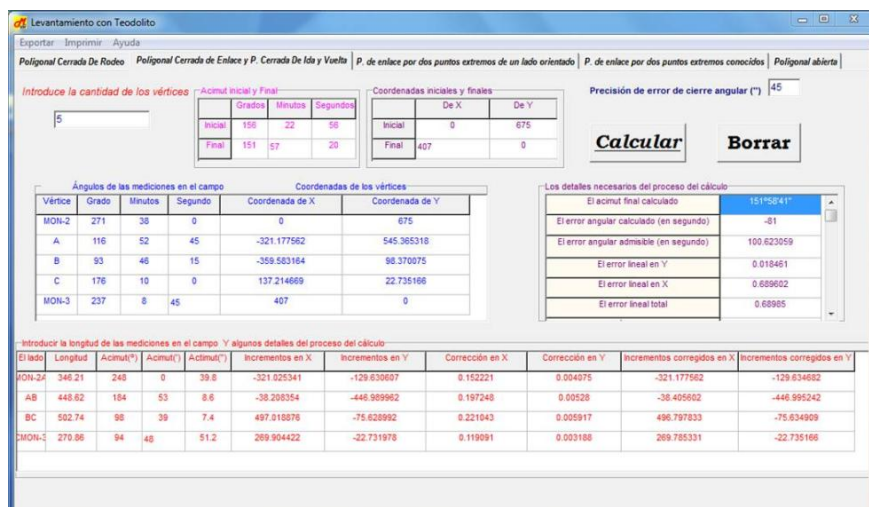


Figura 17: Programa para el levantamiento con teodolito por la poligonal cerrada de enlace y por la poligonal cerrada de ida y vuelta.

III.3.3. Poligonal cerrada de ida y vuelta

Las poligonales cerradas de ida y vuelta son aquellas que parten de un punto de coordenadas y orientación conocidas y llegan al otro punto cuyas coordenadas se quieren determinar, regresando al punto de partida y siguiendo un itinerario de vuelta muy similar al de ida (ver figura 18).

Se usan en los trabajos en los que solo hace falta conocer las coordenadas de un punto no muy distante del origen.

El levantamiento con este tipo de polígono es lo mismo que la poligonal cerrada de enlace pero se sustituye el valor de acimut final iguala el acimut inicial inverso, la coordenadas de puntos iniciales y finales son iguales.

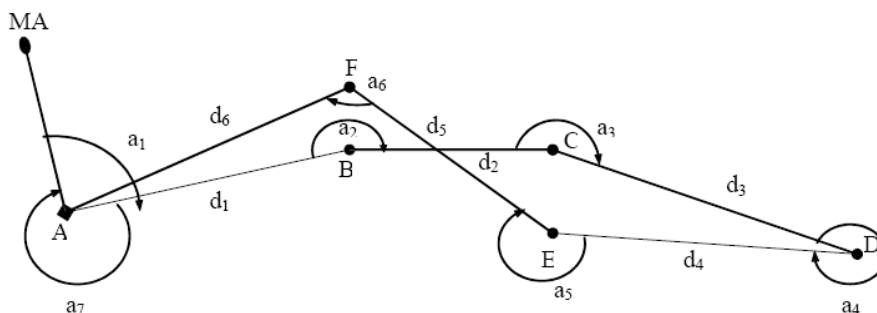


Figura 18: Poligonal cerrada de ida y vuelta.



III.3.4. Poligonales de enlace por dos puntos extremos de un lado orientado

1. Definición y la metodología del cálculo

Poligonales de enlace por dos puntos extremos de un lado orientado (ver figura 19) son orientadas midiendo el ángulo en el punto inicial y terminan en un punto conocido determinado por las mediciones efectuadas anteriormente.

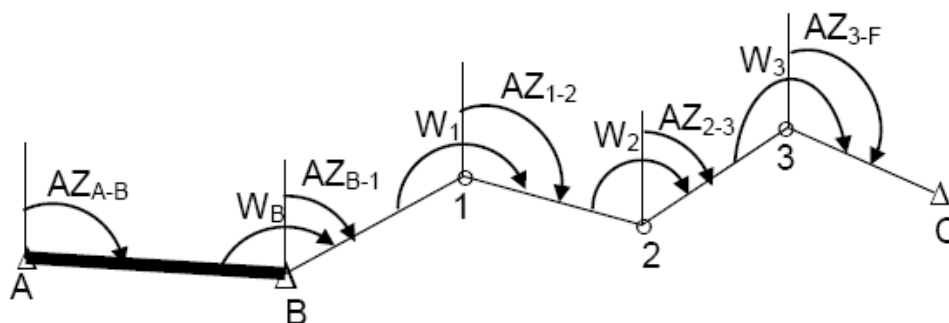


Figura 19: Poligonal de enlace por dos puntos extremos de un lado orientado

Los pasos para el cálculo de esta poligonal son los mismos que las cerradas de rodeo, pero excluyendo el paso a.

2. Método del cálculo con el software

El desarrollo de este método se puede observar con un ejemplo (figura 20).

a) Entre los datos que se deben introducir en este método se encuentran los siguientes:

- ✓ La cantidad de los vértices
- ✓ El acimut inicial
- ✓ Las coordenadas iniciales y finales
- ✓ El nombre de cada vértice y su valor angular (en la tabla que introduce valores angulares)
- ✓ La longitud de cada lado de la poligonal (se aconseja rectificar otra vez este valor cuando acaba de hacer clic al botón CALCULAR).



b) Entre los resultados que se visualizan se pueden mencionar los siguientes:

- El Error lineal en X
- El Error lineal en Y
- El Error lineal total
- La precisión de la poligonal
- El acimut de cada lado de la poligonal
- Los incrementos, la corrección, y los incrementos corregidos en X y en Y de cada lado del polígono
- Coordenadas de cada vértice de la poligonal.

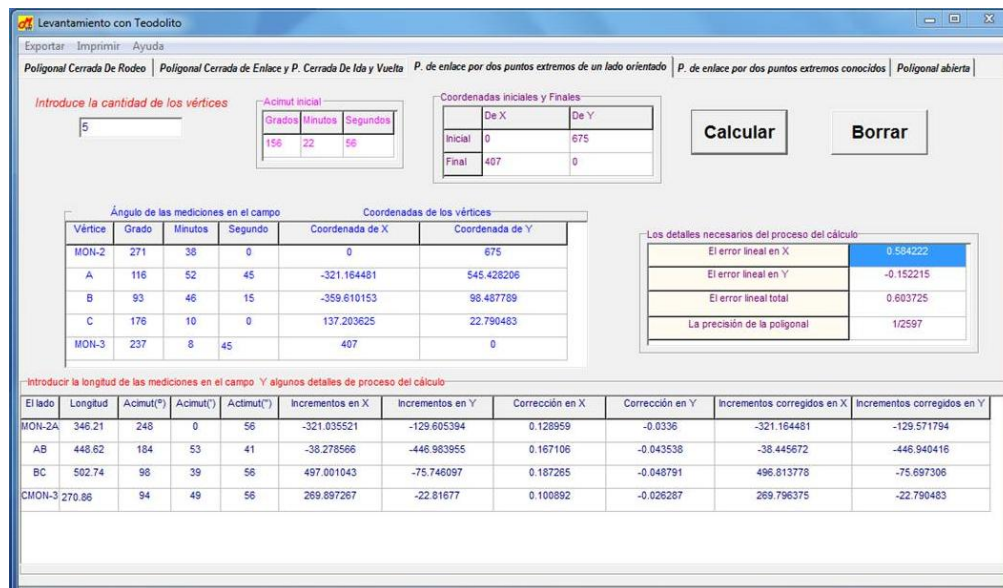


Figura 20: Programa para el levantamiento con teodolito por la Poligonal de enlace por dos puntos extremos de un lado orientado.

III.3.5. Poligonales de enlace por dos puntos extremos

1. Definición

Poligonales de enlace por dos puntos extremos sin orientación (figura 21). Ellas comienzan y terminan en puntos conocidos, sin que se haya medido el ángulo de orientación en los puntos inicial y final. Estas poligonales se orientan indirectamente, mediante cálculo.

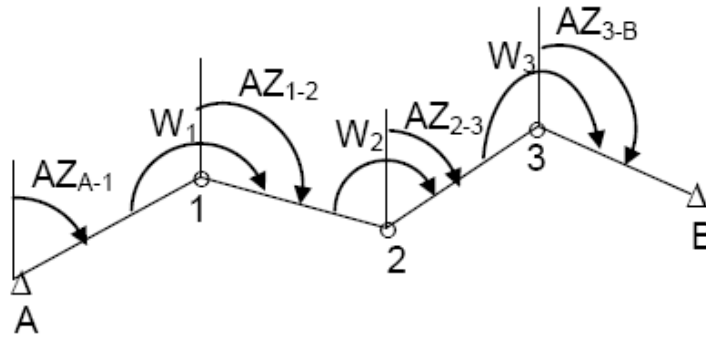


Figura 21: Poligonal de enlace por dos puntos extremos conocidos.

2. Metodología de cálculo

a) Cálculo de acimut y longitud de AD en el sistema nacional

De las coordenadas de los puntos extremos A y D se calcula el acimut y la longitud de la línea AD valiéndonos de las formulas:

$$\tan \alpha_{A-D} = \frac{X_D - X_A}{Y_D - Y_A}$$

$$L_{A-D} = \frac{Y_D - Y_A}{\cos \alpha_{A-D}} = \frac{X_D - X_A}{\sen \alpha_{A-D}}$$

b) Cálculo del acimut y longitud de AD en el sistema condicional

Adoptando un sistema condicional de coordenadas con origen en el punto A ($X'_A = 0$ y $Y'_A = 0$) y el eje Y' coincidiendo con la línea A-B, o sea que $\alpha'_{A-B} = 0$. A continuación se procede al cálculo de los acimutes y coordenadas de los puntos en el sistema condicional. De las coordenadas condicionales, se calcula el acimut condicional y el largo del lado AD.

$$\tan \alpha'_{A-D} = \frac{X'_D}{Y'_D}$$

$$L'_{A-D} = \frac{Y'_D}{\cos \alpha'_{A-D}} = \frac{X'_D}{\sen \alpha'_{A-D}}$$



c) Determinar el error y hacer la comparación con el error admisible

Se determina la diferencia entre las longitudes L y L' (distancia entre los dos extremos).

$$E_s = L'_{A-D} - L_{A-D}$$

La diferencia no deberá ser mayor del valor:

$$E_{s,a} = \frac{1}{5000} * P \text{ cuando } P \leq 1 \text{ km}$$

$$E_{s,a} = \frac{1}{3000} * P \text{ cuando } P > 1 \text{ km}$$

donde:

P – suma de las longitudes de los tramos entre dos puntos extremos.

d) Cálculo del acimut del primer lado de la poligonal

Calcular el acimut α_{A-B} del primer lado A – B de la poligonal, haciendo dichos cálculos en el sistema nacional:

$$\alpha_{A-B} = \alpha_{A-D} - \alpha'_{A-D} (+360^\circ)$$

Si la diferencia es negativa se suma 360°.

α_{A-D} - acimut de la línea AD en el sistema nacional.

α'_{A-D} - acimut de la línea AD en el sistema condicional de coordenadas.

e) El problema se convierte al problema conocido

Cuando se haya conocido el acimut de AD (primer lado a partir de extremo inicial), la poligonal se convierte a poligonal de enlace por dos puntos extremos de un lado orientado.

3. Método del cálculo con el software

El desarrollo de este método se puede observar con un ejemplo (figura 22).



a) Entre los datos que se deben introducir en este método se encuentran los siguientes:

- ✓ La cantidad de tramos entre dos extremos
- ✓ Las coordenadas iniciales y finales
- ✓ El nombre de cada vértice y su valor angular (en la tabla se introducen valores angulares)
- ✓ La longitud de cada lado de la poligonal (se aconseja rectificar otra vez este valor cuando acaba de hacer clic al botón CALCULAR).

b) Entre los resultados que se visualizan se pueden mencionar los siguientes:

- El Error lineal en X
- El Error lineal en Y
- El Error lineal total
- La precisión de la poligonal
- El acimut de cada lado de la poligonal
- Los incrementos, la corrección, y los incrementos corregidos en X y en Y de cada lado del polígono
- Coordenadas de cada vértice de la poligonal.

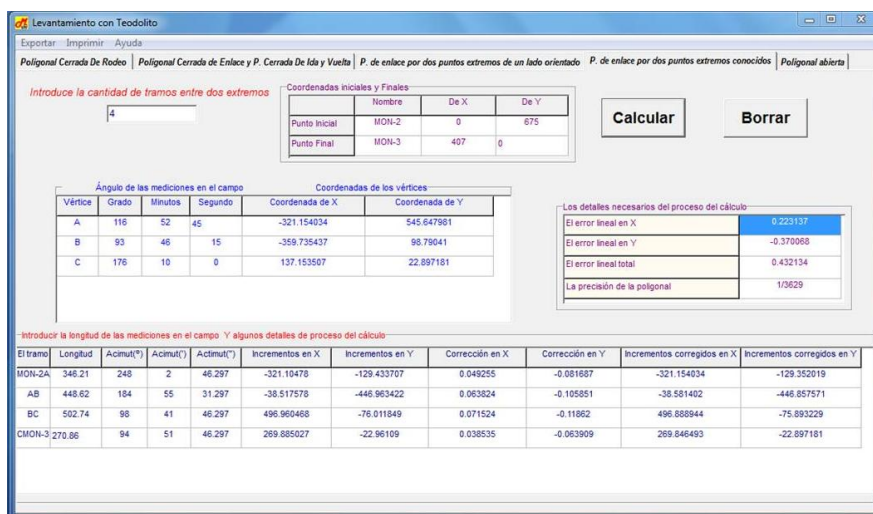


Figura 22: Programa para el levantamiento con teodolito por la Poligonal de enlace por dos puntos extremos.



III.3.6. Poligonales abiertas orientadas en el punto inicial

1. Definición y metodología de cálculo

Poligonal abierta orientada en el punto inicial (ver figura 23), en el punto final no hay control en las anotaciones topográficas dadas (no tiene comprobación). Estas poligonales tienen uso limitado.

Los pasos para el cálculos de esta poligonal, son los mismos que para la poligonal cerrada de enlace exceptuando los pasos a, c y e.

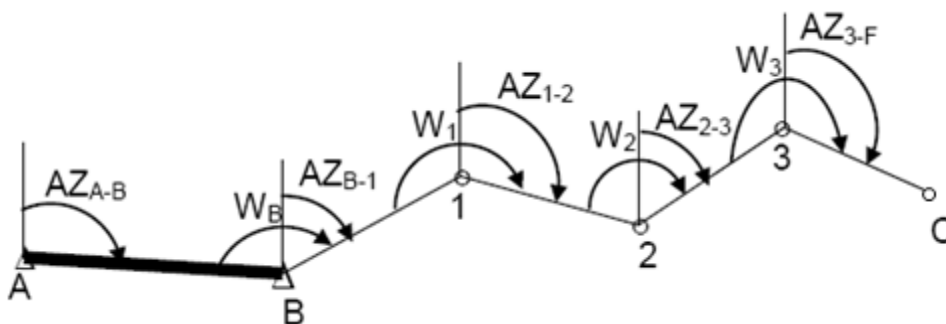


Figura 23: Poligonal abierta.

2. Método del cálculo con el software

El desarrollo de este método se puede observar con un ejemplo (figura 24).

a) Entre los datos que se deben introducir en este método se encuentran los siguientes:

- ✓ La cantidad de vértices
- ✓ El acimut inicial
- ✓ Las coordenadas iniciales
- ✓ El nombre de cada vértice y su valor angular (en la tabla para la introducción de valores angulares)
- ✓ La longitud de cada lado de la poligonal (se aconseja rectificar otra vez este valor cuando acaba de hacer clic al botón CALCULAR).

b) Entre los resultados que se visualizan se pueden mencionar los siguientes:

- El acimut de cada lado de la poligonal



- Los incrementos en X y en Y de cada lado del polígono
- Coordenadas de cada vértice de la poligonal.

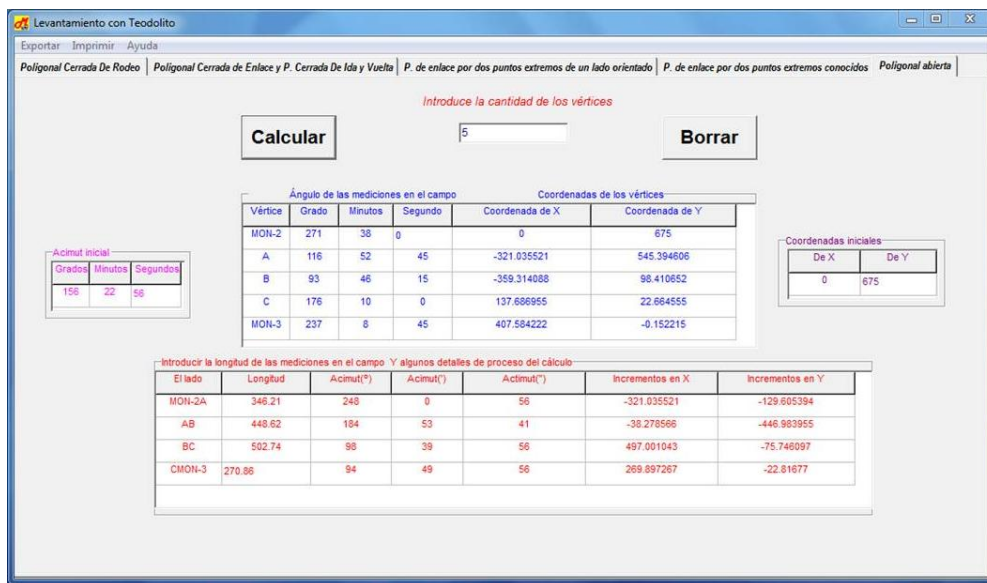


Figura 24: Programa para el levantamiento con teodolito por la Poligonal abierta.

III.4. Nivelación

La nivelación es el procedimiento que tiene por objetivo la determinación del desnivel entre dos o más puntos del terreno. Si se conoce el desnivel entre dos puntos y la cota de uno de ellos puede entonces determinarse la del otro.

III.4.1. Metodología general para calcular la nivelación

1. Calcular el desnivel recorrido desde el punto fijo inicial hasta el punto fijo final

$$(\Delta Z_{i \rightarrow i+1})$$

$$\Delta Z_{i \rightarrow i+1} = Z_i - Z_{i+1}$$

2. Determinar el desnivel observado entre el punto inicial y el punto final (ΔZ_{obs})

$$\Delta Z_{obs} = \sum_1^{n-1} \Delta Z_{i \rightarrow i+1}$$



3. Calcular el desnivel fijo (ΔZ_{fijo}) entre el punto inicial (que tiene la cota Z_1) y el punto final (que tiene la cota Z_n)

$$\Delta Z_{fijo} = Z_1 - Z_n$$

4. Determinar el error de cierre (e_c)

$$e_c = \Delta Z_{observ} - \Delta Z_{fijo}$$

5. Calcular el error de cierre permisible (e_p)

$$e_p = e_k * \sqrt{L}$$

donde:

e_k - error kilómetro (mm).

L – Longitud de la nivelación (Km).

6. Comparar el valor entre el error de cierre y el error permisible
7. Determinar la corrección del desnivel

$$C_{i \rightarrow i+1} = e_c * \frac{l_i}{L}$$

donde:

l_i - distancia nivelada correspondiente al $\Delta Z_{i \rightarrow i+1}$

8. Calcular el desnivel corregido ($\Delta Z_{c_{i \rightarrow i+1}}$)

$$\Delta Z_{c_{i \rightarrow i+1}} = \Delta Z_{i \rightarrow i+1} - C_{i \rightarrow i+1}$$

9. Determinar la cota de todos los puntos



$$Z_{i+1} = Z_i - \Delta Z_{c_{i \rightarrow i+1}}$$

i - tiene valor desde 1 hasta $(n - 1)$

III.4.2. La nivelación en circuito cerrado o la nivelación de ida y vuelta

Para el procesamiento de cálculo de este tipo de circuito se sigue la metodología general pero debe tener en cuenta que $\Delta Z_{fijo} = Z_1 - Z_n = 0$ (porque el polígono parte de un punto de cota conocida y se llega al mismo siguiendo un circuito determinado) por lo tanto $e_c = \Delta Z_{obs} = \sum_1^{n-1} \Delta Z_{i \rightarrow i+1}$.

1. Método del cálculo con el software

El desarrollo de este método se puede observar con un ejemplo (figura 25).

a) Entre los datos que se deben introducir en este método se encuentran los siguientes:

- ✓ La cantidad de estaciones
- ✓ La cota inicial
- ✓ El valor del error kilómetro en milímetro
- ✓ El nombre de los vértices
- ✓ La longitud nivelada correspondiente
- ✓ El valor obtenido de la mirada en la medición.

b) Entre los resultados que se visualizan se pueden mencionar los siguientes:

- Error permisible
- Error de cierre
- El desnivel entre vértices
- La corrección del desnivel y desnivel corregido
- La cota de los vértices del circuito.



Estación	Vértice	Longitud	Nivel	Desnivel	Corrección del Desnivel	Desnivel corregidos	Nombre de vértice	La cota
Estación 1	A	880	0	-1.422	-0.00174	-1.42026	A	10.471
	B		1.422					
Estación 2	B	700	0	-1.111	-0.001791	-1.109209	B	9.05074
	C		1.111					
Estación 3	C	520	1.421	1.421	-0.00133	1.42233	C	7.94153
	D		0					
Estación 4	D	1300	0	-0.434	-0.003326	-0.430674	D	9.36386
	F		0.434					
Estación 5	F	1100	1.535	1.535	-0.002814	1.537814	F	8.933186
	A		0					

Figura 25: Programa de nivelación en circuito cerrado.

III.4.3. La nivelación en circuito de enlace

Los pasos para determinar la cota de los puntos de este circuito son los mismos pasos de la metodología general.

1. Método del cálculo con el software

El desarrollo de este método se puede observar con un ejemplo (figura 26).

a) Entre los datos que se deben introducir en este método se encuentran los siguientes:

- ✓ La cantidad de estación
- ✓ La cota inicial
- ✓ La cota final
- ✓ El valor de error kilómetro en milímetro
- ✓ El nombre de los vértices
- ✓ La longitud nivelada correspondiente
- ✓ El valor obtenido de la mirada en la medición.

b) Entre los resultados que se visualizan se pueden mencionar los siguientes:

- Error permisible
- Error de cierre



- El desnivel entre vértices
- La corrección del desnivel y desnivel corregido
- La cota de los vértices del circuito.

Estación	Vértice	Longitud	Nivel	Desnivel	Corrección del Desnivel	Desnivel corregidos	Nombre de vértice	La cota
Estación 1	H-15	600	0.590	-1.011	-0.004976	-1.006024	H-15	15
	A		1.601					
Estación 2	A	1000	1.654	1.224	-0.008293	1.232293	A	13.993976
	B		0.43					
Estación 3	B	900	2.409	1.163	-0.007463	1.170463	B	15.226268
	C		1.246					
Estación 4	C	700	0.230	-1.33	-0.005805	-1.324195	C	16.396732
	D		1.56					
Estación 5	D	900	2.59	0.92	-0.007463	0.927463	D	15.072537
	H-16		1.67					

Figura 26: Programa de nivelación en circuito de enlace.

III.4.4. La nivelación en circuito abierto

La nivelación de este tipo de circuito excluye los pasos de cálculo de error y la compensación de error como **pasos 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8** y se considera $C_{i \rightarrow i+1} = 0$.

1. Método del cálculo con el software

El desarrollo de este método se puede observar con un ejemplo (figura 27).

a) Entre los datos que se deben introducir en este método se encuentran los siguientes:

- ✓ La cantidad de estaciones
- ✓ El nombre de los vértices
- ✓ La longitud nivelada correspondiente
- ✓ El valor obtenido de la mirada en la medición.

b) Entre los resultados que se visualizan se pueden mencionar los siguientes:

- El desnivel entre vértices



- La cota de los vértices del circuito.

Estación	Vértice	Nivel	Desnivel	Nombre de vértice	La cota
Estación 1	H-15	0.590	-1.011	A	13.989
	A	1.601			
Estación 2	A	1.654	1.224	B	15.213
	B	0.43			
Estación 3	B	2.409	1.163	C	16.376
	C	1.246			
Estación 4	C	0.23	-1.33	D	15.046
	D	1.56			
Estación 5	D	2.59	0.92	H-16	15.966
	H-16	1.67			

Figura 27: Programa de nivelación en circuito abierto.

III.5. Taquimetría

La taquimetría es el procedimiento mediante el cual podemos obtener medidas indirectas de distancias, sin hacer uso de longímetros, mediante observaciones a una regla graduada que recibe el nombre mira.

1. Metodología de cálculo.

Si se usa el taquímetro obtenemos la distancia entre dos puntos mediante la fórmula:

$$D = k \cdot I$$

donde:

D - la distancia entre dos puntos

k - coeficiente obtenido (k puede ser igual a 100, 200...)

I - el número obtenido en la medición.

Con el taquímetro se puede obtener el desnivel entre dos puntos:

$$\Delta Z = t + (i - m)$$

Y:



$$t = t_i * t_c$$

donde:

t_i - el número obtenido en la medición.

t_c - el coeficiente obtenido.

i - el altura del taquímetro.

m - e altura desde el punto más bajo de la mira hasta punto 0 (en normal $m = 1,4$ m).

En la práctica se coloca el taquímetro de forma que $i = m$ por eso:

$$\Delta Z = t = t_i * t_c$$

2. Método del cálculo con el software

El desarrollo de este método se puede observar con un ejemplo (figura 28).

a) Entre los datos que se deben introducir en este método se encuentran los siguientes:

- ✓ La cantidad de las mediciones
- ✓ La coordenada del punto original del mapa (cualquier punto conocido del terreno que está en la zona de levantamiento)
- ✓ La coordenada del punto donde estaciona el taquímetro
- ✓ La coordenada del punto de referencia
- ✓ Característica del punto que está midiendo y los valores obtenidos de la medición que son k , l , t_i , t_c y el ángulo.

b) El resultado que se visualiza se pueden mencionar:

- Las coordenadas y la cota de los puntos medidos respecto al punto original del mapa.

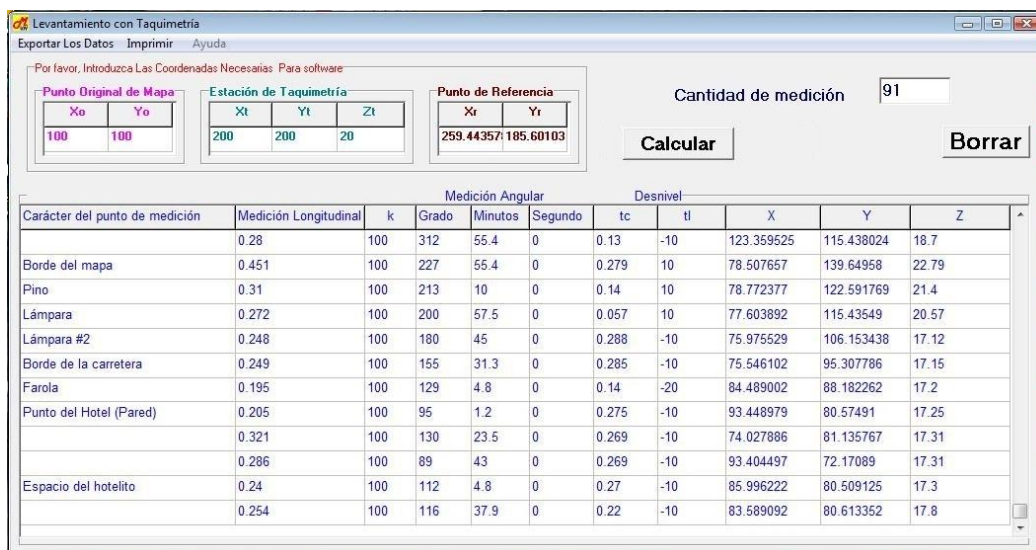


Figura 28: Programa para el levantamiento con taquímetro.

Desde los resultados de este programa, utilizando el software Surfer8, se obtiene el mapa topográfico (ver figura 29).

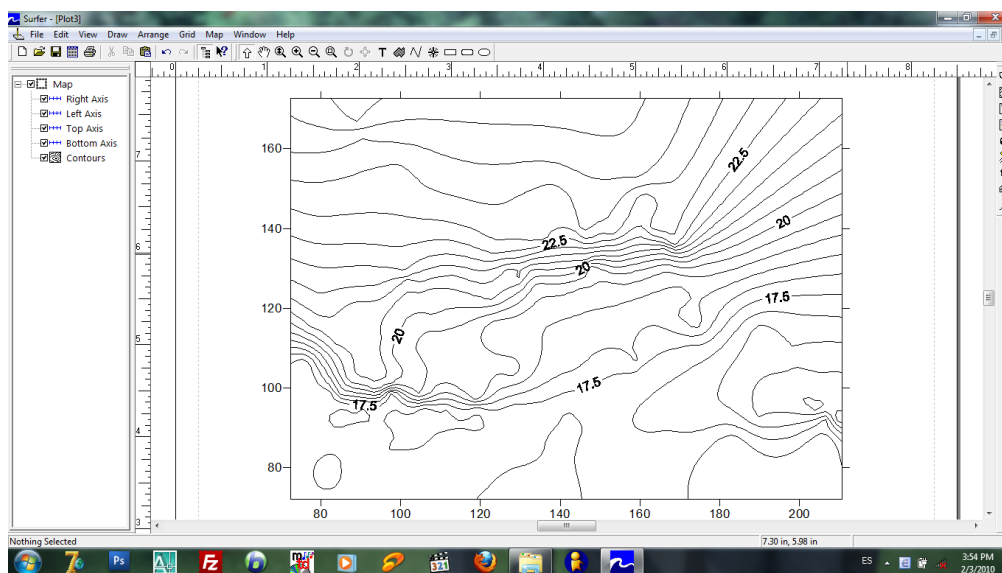


Figura 29: Mapa topográfico en el surfer8 (utilizando los datos exportados desde Topo_Min)

III.6. Orientación Subterránea

Las orientaciones son realizadas a fin de confeccionar los planos de los trabajos mineros en un sistema de coordenadas análogo al adoptado en la superficie, lo cual es



indispensable para asegurar la precisión, la seguridad de los trabajos, así como preservar los objetivos de la superficie de la influencia de las excavaciones mineras.

El objetivo concreto de la orientación es determinar el acimut de un lado trazado en la excavación minera y de las coordenadas de un punto de dicho lado.

III.6.1. Enlace de las plomadas por el método de los triángulos

En la figura 30 se muestra el esquema de enlace por el método de los triángulos. En la superficie se conocen las coordenadas de los puntos C y D y el acimut α_{DC} . La tarea de enlace consiste en determinar el acimut del lado $C_1 D_1$ y las coordenadas del punto C_1 en el subterráneo.

Se supone que la tarea de proyección de las plomadas está resuelta ya, o sea, que las plomadas se mantienen en estado de reposo. El enlace lo realizan simultáneamente dos brigadas, una en la superficie y otra bajo mina. En los puntos C y C_1 se estacionan los teodolitos y se efectúan las siguientes mediciones:

1. Medición de los ángulos horizontales ω y γ en la superficie y también ω_1 y γ_1 bajo mina
2. Medición de las longitudes a, b y c en la superficie y a_1 , b_1 y c_1 bajo mina.

Como resultado de todo esto, en la superficie y bajo mina quedan formados dos triángulos CAB y $C_1 A_1 B_1$, respectivamente.

Cada longitud se debe medir no menos de 5 veces, siempre con la misma tensión de la cinta. La diferencia entre las mediciones independientes de una sola longitud no puede ser mayor de 2 mm.

Los ángulos se deben medirlos no menos de 2 veces cada uno con una precisión de hasta 10".

1. Metodología de cálculo

Se elaboran los resultados en el gabinete; se calculan primero los ángulos α y β del triángulo superior y los ángulos α_1 y β_1 del triángulo inferior, para lo que se utiliza la ley de los senos:



$$\text{sen } \alpha = a * \left(\frac{\text{sen } \gamma}{c}\right)$$

$$\text{sen } \beta = b * \left(\frac{\text{sen } \gamma}{c}\right)$$

$$\text{sen } \alpha_1 = a_1 * \left(\frac{\text{sen } \gamma_1}{c_1}\right)$$

$$\text{sen } \beta_1 = b_1 * \left(\frac{\text{sen } \gamma_1}{c_1}\right)$$

O las fórmulas de las tangentes:

$$\tan \frac{\alpha}{2} = \sqrt{\frac{(p-b) * (p-c)}{p * (p-a)}}$$

$$\tan \frac{\alpha_1}{2} = \sqrt{\frac{(p_1-b_1) * (p_1-c_1)}{p_1 * (p_1-a_1)}}$$

$$\tan \frac{\beta}{2} = \sqrt{\frac{(p-a) * (p-c)}{p * (p-b)}}$$

$$\tan \frac{\beta_1}{2} = \sqrt{\frac{(p_1-a_1) * (p_1-c_1)}{p_1 * (p_1-b_1)}}$$

$$\text{donde: } p = \frac{1}{2} * (a + b + c) \quad \text{y} \quad p_1 = \frac{1}{2} * (a_1 + b_1 + c_1)$$

La ley de los senos se usa para el cálculo de los ángulos de las plomadas en los triángulos de forma alargada, en los cuales los ángulos α_1 o β son menores que 20° y los ángulos α o β_1 son mayores que 160° . En los triángulos de una forma muy alargada con los ángulos α_1 o β menores de 2° y los ángulos α o β_1 mayores que 178° , se puede emplear en lugar de la ley de los senos las expresiones siguientes:

$$\alpha'' = a * \left(\frac{\gamma''}{c}\right)$$

$$\beta'' = b * \left(\frac{\gamma''}{c}\right)$$

$$\alpha_1'' = a_1 * \left(\frac{\gamma_1''}{c_1}\right)$$

$$\beta_1'' = b_1 * \left(\frac{\gamma_1''}{c_1}\right)$$

En los demás casos se utilizan las fórmulas de las tangentes.

A fin de ejecutar el control de la medición de los lados en los triángulos de enlace se calculan las longitudes de los lados c que enlazan las plomadas mediante la fórmula:

$$c^2 = a^2 + b^2 - 2 \cos \gamma$$



Los valores calculados de c los comparan con las longitudes directamente medidas de los lados c y c_1 del triángulo superior e inferior respectivamente. La diferencia entre las longitudes calculadas y medidas no será superior a ± 3 mm en el triángulo superior y ± 5 mm en el triángulo inferior.

Al calcular el triángulo de enlace por la fórmula de las tangentes, se calcula también el ángulo γ , a fin de ejecutar el control, por la fórmula que sigue:

$$\tan \frac{\gamma}{2} = \sqrt{\frac{(p-a)(p-b)}{p(p-c)}}$$

de modo que el ángulo calculado no tenga diferencia con el directamente medido en más de $2'30''$.

Después de realizar los cálculos de los ángulos formados por las plomadas se determinan los errores angulares de cierre, deducidos de las fórmulas:

$$\Delta\omega = \alpha + \beta + \gamma - 180^\circ$$

$$\Delta\omega_1 = \alpha_1 + \beta_1 + \gamma_1 - 180^\circ$$

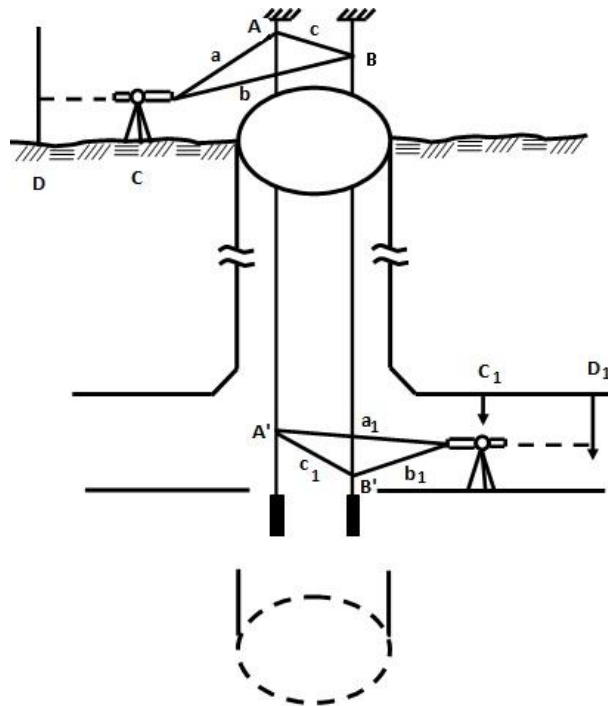


Figura 30: Orientación subterránea por el método de los triángulos.



Los errores obtenidos se distribuyen por igual entre todos los ángulos y se calcula el acimut del lado $C_1 D_1$ (ver figura 31):

$$\begin{aligned}\alpha_{CA} &= \alpha_{DC} + \omega + \gamma \pm 180^0 \\ \alpha_{A_1C_1} &= \alpha_{CA} + \alpha + \alpha_1 \pm 180^0 \\ \alpha_{C_1D_1} &= \alpha_{A_1C_1} + \gamma_1 + \omega_1 \pm 180^0\end{aligned}$$

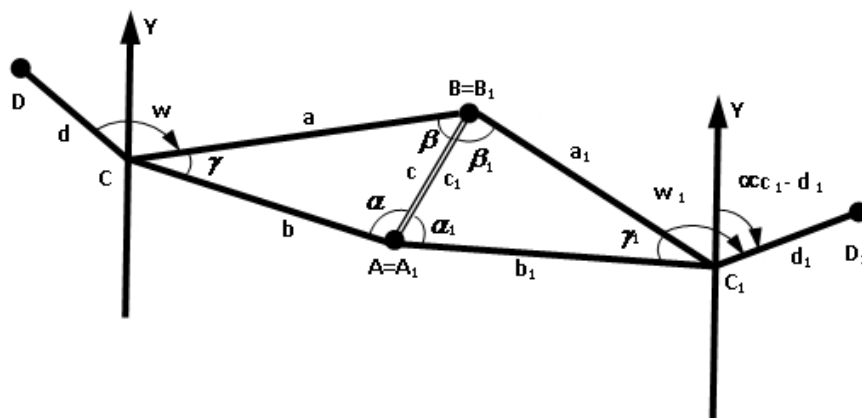


Figura 31: Representación del cálculo del acimut C_1-D_1 ($\alpha_{c_1-d_1}$)

Suponiendo que las poligonales interceptan la plomada A (A_1). A fin de ejecutar el control se calcula una vez más el acimut del lado C_1D_1 , imaginándose que la poligonal atraviesa esta vez la plomada B (B_1):

$$\begin{aligned}\alpha_{CD} &= \alpha_{DC} + \omega \pm 180^0 \\ \alpha_{B_1C_1} &= \alpha_{CB} - (\beta + \beta_1) \pm 180^0 \\ \alpha_{C_1D_1} &= \alpha_{B_1C_1} + \omega_1 \pm 180^0\end{aligned}$$

Ambos valores del acimut $\alpha_{C_1D_1}$ deben ser exactamente iguales.

En base a los acimutes y a las longitudes de los lados se calculan los incrementos de las coordenadas con los cuales se obtendrá finalmente las coordenadas del punto C_1 .

Es recomendable calcular las coordenadas del punto C_1 por dos vías:

$$X_{C_1} = X_C + b \text{sen } \alpha_{CA} + b_1 \text{sen } \alpha_{A_1C_1} \qquad Y_{C_1} = Y_C + b \text{cos } \alpha_{CA} + b_1 \text{cos } \alpha_{A_1C_1}$$

$$X_{C_1} = X_C + a \text{sen } \alpha_{CB} + a_1 \text{sen } \alpha_{B_1C_1} \qquad Y_{C_1} = Y_C + a \text{cos } \alpha_{CB} + a_1 \text{cos } \alpha_{B_1C_1}$$

Con esto termina la tarea de enlace por el método de los triángulos.



2. Método del cálculo con el software

El desarrollo de este método se puede observar con un ejemplo (figura 32).

a) Entre los datos que se deben introducir en este método se encuentran los siguientes:

- ✓ Acimut de DC
- ✓ Los ángulos: γ , ω , γ_1 , ω_1
- ✓ La longitud de los lados: a, b, c, d, a_1 , b_1 , c_1 , d_1
- ✓ Coordenada de punto D.

b) Entre los resultados que se visualizan se pueden mencionar los siguientes:

- Valor de los ángulos γ , ω , α , γ_1 , ω_1 , α_1 de antes y después compensar el error
- El control del error entre valor calculado y valor medido de c
- Acimutes de CB, B_1C_1 , CA, A_1C_1 , C_1D_1
- Coordenadas de puntos C_1 y D_1 en el subterráneo.

Nombre	Grados	Minutos	Segundos
Acimut de DC	6	5	10
Gama	0	25	10
Gama 1	0	37	20
Omega	210	9	30
Omega 1	179	34	10

Nombre	Longitud
a	9.446
b	6.124
c	3.322
d	38.42

Nombre	Longitud
a1	7.159
b1	10.48
c1	3.322
d1	44.32

XD	YD
1000	1500

Nombre	Grados	Minutos	Segundos
Anfa	178	48	26.092
Beta	0	46	23.696
Gama	0	25	10
Suma	179	59	59.788
anfa	178	48	26.163
Beta	0	46	23.767
Gama	0	25	10.071
Suma	180	0	0

Nombre	Grados	Minutos	Segundos
Anfa1	1	20	27.607
Beta1	178	2	12.169
Gama1	0	37	20
Suma	179	59	59.776
anfa1	1	20	27.681
Beta1	178	2	12.244
Gama1	0	37	20.075
Suma	180	0	0

Control	Valor
Cm	3.322467
Cc	3.322

Control	Valor
Cm1	3.322332
Cc1	3.322

Acimut	Grados	Minutos	Segundos
CB	36	14	40
B1C1	37	26	3.989
CA	36	39	50.071
A1C1	36	48	43.914
C1D1	37	0	13.989

Coordenadas C1	Valor
XC1	1014.00976
YC1	1551.506214

Coordenadas D1	Valor
XD1	1040.684602
YD1	1586.899931

Figura 32: Programa para orientación subterránea por triángulo de enlace.



III.6.2. Enlace de las plomadas por el método del cuadrilátero

Este método se usa cuando no haya posibilidades de formar los triángulos de enlace óptimos en el subterráneo.

En la figura 33 está representado un esquema de enlace de las plomadas por medio de un cuadrilátero. A través del pozo se hacen descender las plomadas A y B y en las proximidades de la estación del pozo se materializan los puntos P1 y P2.

La tarea plantea determinar las coordenadas de los puntos P1 y P2 y el acimut del lado P1P2. Suponiendo que la tarea de proyección esté resuelta, para resolver la tarea de enlace por el método del cuadrilátero, se miden por medio de tres repeticiones los ángulos β_1 , β_2 , β_3 y β_4 . Para relacionar los trabajos de enlace con los puntos de las poligonales subterráneas medidos el ángulos β_0 . Además, se miden las distancias entre las plomadas A y B y entre los puntos P1 y P2.

1. Metodología de cálculo

La resolución de la tarea se puede realizar por varios de los métodos geodésicos conocidos. Se analizará el método del acimut condicional:

El punto P1 se toma como origen de las coordenadas y se hace coincidir la dirección P1P2 con el eje de las ordenadas. Empleando el método de la intersección directa se calcula las coordenadas condicionales de las plomadas A y B y el acimut condicional α'_{A-B} de la línea que une a las plomadas.

En base a la diferencia del acimut α_{A-B} determinado en la superficie y del acimut condicional de esta dirección, se determinará el acimut P1-P2 en el sistema de coordenadas que existen en la superficie.

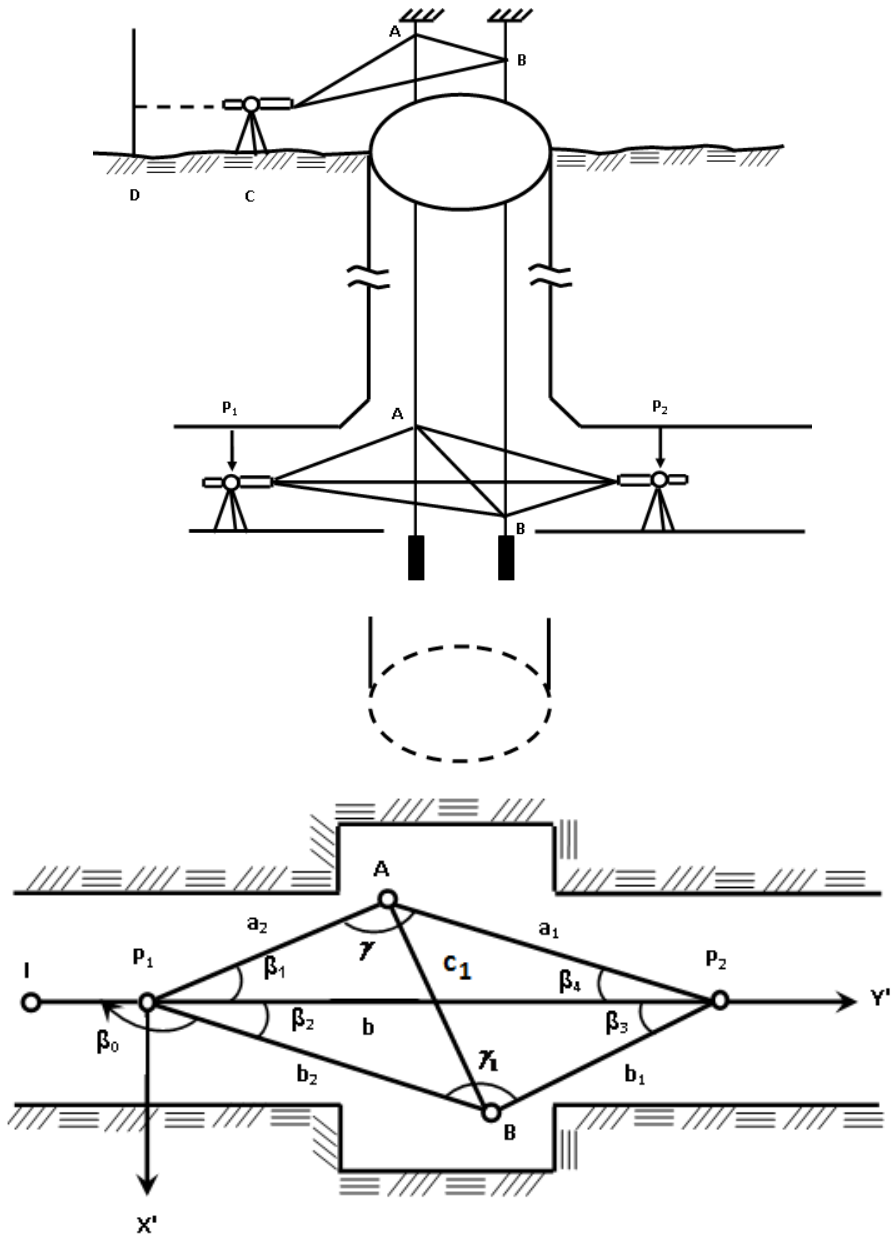


Figura 33: Método del Cuadrilátero.

El trabajo de gabinete de los datos iniciales consta de los siguientes pasos:

a) Cálculo de las coordenadas de las plomadas en el sistema condicional

Del triángulo P1AP2 por el teorema de los senos es posible calcular las longitudes de los lados a1 y a2:

$$a_1 = \frac{\text{sen}\beta_1 \cdot b}{\text{sen}\gamma}$$

$$a_2 = \frac{\text{sen}\beta_2 \cdot b}{\text{sen}\gamma_1}$$



$$a_2 = \text{sen}\beta_4 \frac{b}{\text{sen}\gamma}$$

$$b_2 = \text{sen}\beta_3 \frac{b}{\text{sen}\gamma_1}$$

donde:

$$\gamma = 180^\circ - (\beta_1 + \beta_4)$$

$$\gamma_1 = 180^\circ - (\beta_2 + \beta_3)$$

Determinar el acimut de los lados a_1 , a_2 :

$$\alpha'_{P_1A} = \alpha'_{P_2P_1} - \beta_1 \pm 180^\circ = -\beta_1 + 360^\circ$$

$$\alpha'_{P_2A} = \alpha'_{P_1P_2} + \beta_4 \pm 180^\circ = \alpha'_{P_2P_1} + \beta_4 \pm 180^\circ = 180^\circ + \beta_4$$

$$\alpha'_{P_1B} = \alpha'_{P_2P_1} + \beta_2 \pm 180^\circ = \alpha'_{P_1P_2} + \beta_2 = \beta_2$$

$$\alpha'_{P_2B} = \alpha'_{P_1P_2} - \beta_3 \pm 180^\circ = \alpha'_{P_2P_1} - \beta_3 = 180^\circ - \beta_3$$

Cálculo de las coordenadas condicionales de la plomada A:

$$P_1 (0;0)$$

$$P_2(0;b)$$

$$X'_A = X'_P_1 + a_2 \text{sen}(360^\circ - \beta_1) = a_1 \text{sen}(180^\circ + \beta_4)$$

$$Y'_A = Y'_P_1 + a_2 \text{cos}(360^\circ - \beta_1) = Y'P_2 + a_1 \text{cos}(180^\circ + \beta_4)$$

Del triángulo P_1P_2B se calculan las coordenadas de la plomada B:

$$X'_B = X'_P_1 + b_2 \text{sen}\beta_2 = X'_P_2 + b_1 \text{sen}(180^\circ - \beta_3)$$

$$Y'_B = Y'_P_1 + b_2 \text{cos}\beta_2 = Y'_P_2 + b_1 \text{cos}(180^\circ - \beta_3)$$

b) Por las coordenadas condicionales se calcula el acimut de la línea de las plomadas y la longitud entre ambas

$$\tan \alpha'_{A-B} = \frac{X'_B - X'_A}{Y'_B - Y'_A}$$

$$\alpha'_{AB} = \tan^{-1} \frac{X'_B - X'_A}{Y'_B - Y'_A}$$

$$Cc = \frac{X'_B - X'_A}{\text{sen}\alpha'_{AB}} = \frac{Y'_B - Y'_A}{\text{cos}\alpha'_{AB}}$$

La distancia calculada entre las plomadas (Cc) se compara con la distancia medida directamente en la mina C_1 entre las plomadas. Se tendrá entonces:



$$\Delta C = C_c - C_1 \leq 3 \text{ mm}$$

c) Cálculo del acimut y de las coordenadas de los puntos P_1 y P_2 en el sistema coordenadas adoptado en la superficie

El acimut se calcula de la siguiente forma:

$$\alpha_{P_1-P_2} = \alpha_{A-B} - \alpha'_{A-B}$$

$$\alpha_{P_1-A} = \alpha_{P_1-P_2} - \beta_1$$

$$\alpha_{P_1-B} = \alpha_{P_1-P_2} + \beta_2$$

$$\alpha_{P_2-A} = \alpha_{P_1-P_2} + \beta_4 \pm 180^0$$

$$\alpha_{P_2-B} = \alpha_{P_1-P_2} - \beta_3 \pm 180^0$$

donde:

$\alpha_{A-B} \rightarrow$ acimut de la línea de las plomadas en el sistema de coordenadas adoptado en la superficie.

Las coordenadas de los puntos P_1 y P_2 se calculan por las fórmulas:

$$X_{P_1} = X_A + a_2 \text{ sen } \alpha_{A-P_1} = X_B + b_2 \text{ sen } \alpha_{B-P_1}$$

$$Y_{P_1} = Y_A + a_2 \text{ cos } \alpha_{A-P_1} = Y_B + b_2 \text{ cos } \alpha_{B-P_1}$$

$$X_{P_2} = X_A + a_1 \text{ sen } \alpha_{A-P_2} = X_B + b_1 \text{ sen } \alpha_{B-P_2}$$

$$Y_{P_2} = Y_A + a_1 \text{ cos } \alpha_{A-P_2} = Y_B + b_1 \text{ cos } \alpha_{B-P_2}$$

Con el cálculo de las coordenadas de los puntos P_1 y P_2 concluye el método de enlace del cuadrilátero.

2. Método del cálculo con el software

El desarrollo de este método se puede observar con un ejemplo (figura 34).

a) Entre los datos que se deben introducir en este método se encuentran los siguientes:

- ✓ Ángulo $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4$
- ✓ Longitud b, c_1
- ✓ Acimut de AB en la superficie



✓ Coordenadas del punto A en la superficie (X_A ; Y_A).

b) Entre los resultados que se visualizan se pueden mencionar los siguientes:

✓ Longitud de los lados a_1, a_2, b_1, b_2

✓ α'_{P_1A} (acimut condicionado del punto $P_1 - A$)

✓ α'_{P_2A} (acimut condicionado del punto $P_2 - A$)

✓ α'_{P_1B} (acimut condicionado del punto $P_1 - B$)

✓ α'_{P_2B} (acimut condicionado del punto $P_2 - B$)

✓ X'_A (coordenada condicionada X del punto A)

✓ Y'_A (coordenada condicionada Y del punto A)

✓ X'_B (coordenada condicionada X del punto B)

✓ Y'_B (coordenada condicionada Y del punto B)

✓ α'_{AB} (acimut condicionado del punto A - B)

✓ $\alpha_{P_1-P_2}$ (acimut condicionado del punto $P_1 - P_2$)

✓ α_{P_1-A} (acimut condicionado del punto $P_1 - A$)

✓ α_{P_2-A} (acimut condicionado del punto $P_2 - A$)

✓ coordenadas del punto P_1 ($XP_1; YP_1$)

✓ coordenadas del punto P_2 ($XP_2; YP_2$).

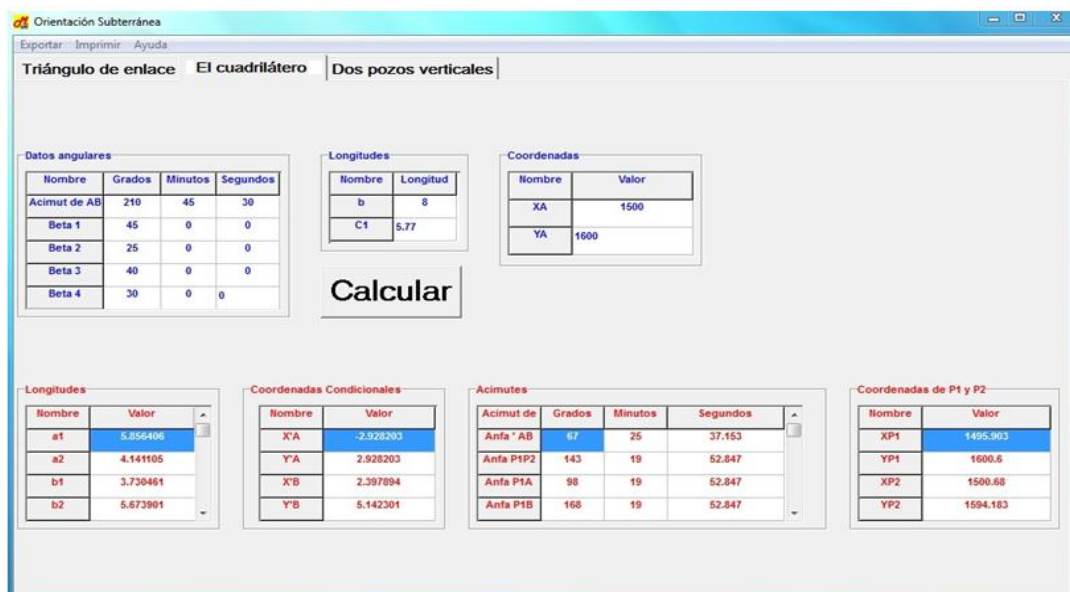


Figura 34: Programa para orientación subterránea por el cuadrilátero.

III.6.3. Orientación por dos pozos verticales

Cuando se da el caso de dos pozos en una mina, enlazados por una, la orientación se efectúa haciendo descender por cada pozo una sola plomada excavación (figura 35). Del punto de acceso de la superficie M a cada plomada se traza una poligonal, que en el caso tiene el recorrido M - I - A hacia la plomada A en la cual se miden los ángulos horizontales β'_M y β_I las longitudes l_I y l_A . Al hacer el recorrido M - II - III - B hacia la plomada B se medirán los ángulos horizontales β''_M , β_{II} , β_{III} y las longitudes l_{II} , l_{III} y l_B .

Dichas mediciones son suficientes para, valiéndose de las coordenadas conocidas de los puntos M y N, calcular las coordenadas de las plomadas A y B. En la mina también trazamos entre las plomadas A y B la poligonal A-1-2-3-4-5-B, en la cual se miden los ángulos β_1 , β_2 , β_3 , β_4 , β_5 y las longitudes l_1 , l_2 , l_3 , l_4 , l_5 , l_6 . Las mediciones de los ángulos y las longitudes en la superficie y en la mina se efectúan de acuerdo con las normas establecidas para las poligonales precisas.

Al realizar la orientación a través de dos pozos verticales se resuelve el problema de la proyección debido a la gran distancia entre las plomadas, lo que origina que no se requiera gran exactitud en esta tarea como en los casos de orientación por un pozo.

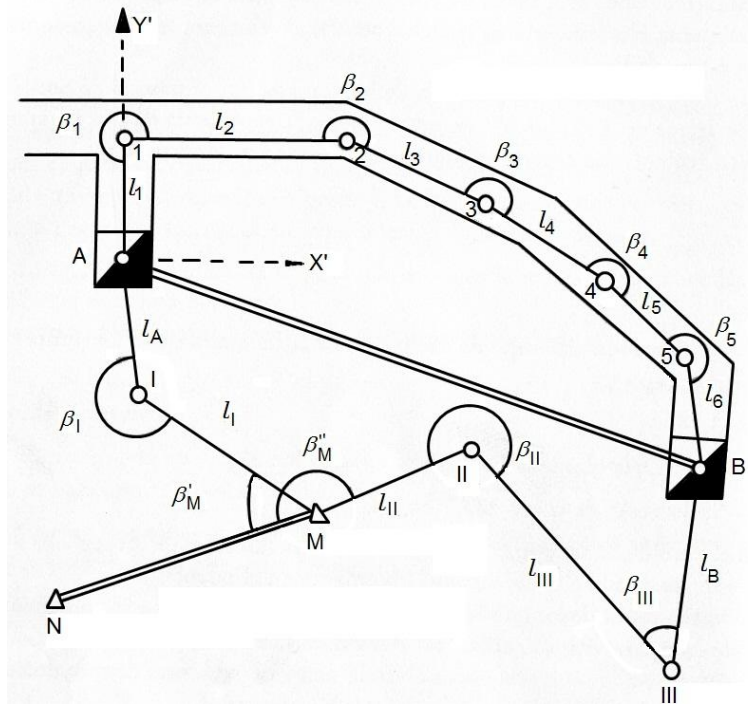


Figura 35: Orientación subterránea por dos pozos verticales.

1. Metodología de cálculo

El orden del trabajo en la orientación por dos pozos es el siguiente:

1. Elaborar los ángulos y las longitudes de los poligonales medidas en la superficie y en la mina.
2. De las poligonales trazadas en la superficie calcular en el sistema nacional las coordenadas de las plomadas A y B usando las formulas:

$$X_A = X_M + l_I \cdot \text{sen } \alpha_{M-I} + l_A \cdot \text{sen } \alpha_{I-A}$$

$$Y_A = Y_M + l_I \cdot \text{cos } \alpha_{M-I} + l_A \cdot \text{cos } \alpha_{I-A}$$

$$X_B = X_M + l_{II} \cdot \text{sen } \alpha_{M-II} + l_{III} \cdot \text{sen } \alpha_{II-III} + l_B \cdot \text{sen } \alpha_{III-B}$$

$$Y_B = Y_M + l_{II} \cdot \text{cos } \alpha_{M-II} + l_{III} \cdot \text{cos } \alpha_{II-III} + l_B \cdot \text{cos } \alpha_{III-B}$$

3. De las coordenadas de los puntos A y B calcular el acimut y el largo de la línea AB en la superficie valiéndose de las fórmulas:

$$\tan \alpha_{A-B} = \frac{X_B - X_A}{Y_B - Y_A}$$



$$L_{A-B} = \frac{Y_B - Y_A}{\cos \alpha_{A-B}} = \frac{X_B - X_A}{\text{sen } \alpha_{A-B}}$$

4. Adoptando un sistema condicional de coordenadas con origen en el punto A ($X'_A = 0$ y $Y'_A = 0$) y el eje Y' coincidiendo con la línea A-1, o sea que $\alpha'_{A-1} = 0$.

A continuación proceder al cálculo de los acimutes en el sistema condicional:

$$\alpha'_{A-1} = 0.$$

$$\alpha'_{3-4} = \alpha'_{2-3} + \beta_3 \pm 180^\circ$$

$$\alpha'_{1-2} = \alpha'_{A-1} + \beta_1 \pm 180^\circ$$

$$\alpha'_{4-5} = \alpha'_{3-4} + \beta_4 \pm 180^\circ$$

$$\alpha'_{2-3} = \alpha'_{1-2} + \beta_2 \pm 180^\circ$$

$$\alpha'_{5-B} = \alpha'_{4-5} + \beta_5 \pm 180^\circ$$

Las coordenadas de la ploma B en el sistema condicional de coordenadas se obtienen de las fórmulas:

$$X'_B = l_1 * \text{sen } \alpha'_{A-1} + l_2 * \text{sen } \alpha'_{1-2} + l_3 * \text{sen } \alpha'_{2-3} + l_4 * \text{sen } \alpha'_{3-4} + l_5 * \text{sen } \alpha'_{4-5} + l_6 * \text{sen } \alpha'_{5-B}$$

$$Y'_B = l_1 * \cos \alpha'_{A-1} + l_2 * \cos \alpha'_{1-2} + l_3 * \cos \alpha'_{2-3} + l_4 * \cos \alpha'_{3-4} + l_5 * \cos \alpha'_{4-5} + l_6 * \cos \alpha'_{5-B}$$

5. De las coordenadas condicionales de las plomadas calcular el acimut condicional y el largo del lado AB en la mina:

$$\tan \alpha'_{A-B} = \frac{X'_B}{Y'_B}$$

$$L_{A-B} = \frac{Y'_B}{\cos \alpha'_{A-B}} = \frac{X'_B}{\text{sen } \alpha'_{A-B}}$$



6. Se determinará la diferencia entre las longitudes L y L' (distancia entre plomadas), las cuales se han determinado sobre la base de las condiciones tomadas en la superficie y las tomadas en el sistema condicional.

$$E_S = L'_{A-B} - L_{A-B}$$

La diferencia no deberá ser mayor del valor:

$$E_{s.a} = \frac{1}{5000} * P \text{ cuando } P \leq 1 \text{ km}$$

$$E_{s.a} = \frac{1}{3000} * P \text{ cuando } P > 1 \text{ km}$$

donde:

P – suma de las longitudes de todas las poligonales medidas en la superficie y en la mina.

7. Calcular en acimut α_{A-1} del primer lado $A - 1$ de la poligonal subterránea, haciendo dichos cálculos en el sistema nacional de coordenadas adoptado en la superficie:

$$\alpha_{A-1} = \alpha_{A-B} - \alpha'_{A-B} (+360^\circ)$$

Si la diferencia es negativa la suma 360° .

α_{A-B} - acimut de la línea AB en el sistema nacional.

α'_{A-B} - acimut de la línea AB en el sistema condicional de coordenadas.

8. Calcular los acimuts de los lados restantes de la poligonal subterránea en el sistema nacional de coordenadas.

Las fórmulas usadas son:

$$\alpha_{1-2} = \alpha_{A-1} + \beta_1 \pm 180^\circ$$

$$\alpha_{2-3} = \alpha_{1-2} + \beta_2 \pm 180^\circ$$



$$\alpha_{3-4} = \alpha_{2-3} + \beta_3 \pm 180^\circ$$

$$\alpha_{5-B} = \alpha_{4-5} + \beta_5 \pm 180^\circ$$

$$\alpha_{4-5} = \alpha_{3-4} + \beta_4 \pm 180^\circ$$

Los cálculos de los acimuts pueden ser controlado por fórmulas:

$$\alpha_i = \alpha'_i + \Delta\alpha$$

$$\Delta\alpha = \alpha_{A-B} - \alpha'_{A-B}$$

9. De las fórmulas conocidas calcular los incrementos de las coordenadas de la poligonal subterránea en el sistema nacional de coordenadas.

10. Calcular las diferencias entre los incrementos de las coordenadas según las fórmulas:

$$E_Y = \sum \Delta Y_i - (Y_B - Y_A)$$

$$E_X = \sum \Delta X_i - (X_B - X_A)$$

donde:

$\sum \Delta Y_i$ y $\sum \Delta X_i$ - suma de los incrementos de las coordenadas de la poligonal subterránea.

(X_A, Y_A) , (X_B, Y_B) - coordenadas de los plomadas A y B obtenidas por medio de los cálculos de la poligonal en la superficie.

Calcular el error lineal general E_s por la fórmula:

$$E_s = \pm \sqrt{E_X^2 + E_Y^2}$$

El error lineal obtenido debe ser igual al error E_s obtenido en el inciso 6



11. Los errores E_X y E_Y se distribuirán proporcionalmente entre todos los incrementos de acuerdo con las longitudes de los lados, o sea:

$$\Delta X_{i,c} = \Delta X_i + C_{Xi}$$

$$\Delta Y_{i,c} = \Delta Y_i + C_{Yi}$$

$\Delta X_{i,c}$ y $\Delta Y_{i,c}$ - incrementos rectificados de las coordenadas de un lado de la poligonal subterránea.

ΔX_i y ΔY_i - incrementos de las coordenadas calculados conforme a lo expuesto en el inciso 9

C_{Xi} y C_{Yi} - correcciones de los incrementos calculados por las fórmulas:

$$C_{Xi} = -\frac{E_X}{P_M} * l_i$$

$$C_{Yi} = -\frac{E_Y}{P_M} * l_i$$

P_M - perímetro de la poligonal subterránea.

l_i - longitud del lado.

12. Sobre la base de los incrementos de las coordenadas calcular las coordenadas de todos los puntos de la poligonal subterránea, tomando la plomada A como el punto de partida. Finalmente se calculan las coordenadas de la plomada B que deben coincidir con las coordenadas de esta, obtenidas en base a la poligonal de la superficie (el inciso 2), siendo dicha operación el control sobre los cálculos realizados.

Todos los cálculos se llevar a cabo en hojas de cálculo idénticas a las usadas en poligonometría.



A fin de ejercer un control sobre todo el conjunto de mediciones en la superficie y en la mina hay que calcular el acimut del lado 1-2, rehaciendo estas. La diferencia máxima de las acimut de este lado obtenidas en ambas orientaciones no debe exceder de 3'.

Al efectuar la orientación por dos pozos verticales hay que procurar que las poligonales en la superficie y en la mina tengan la cantidad mínima posible de puntos y que sus formas se aproximen a los poligonales alargadas.

2. Método del cálculo con el software

El desarrollo de este método se puede observar con un ejemplo (figura 36).

a) Entre los datos que se deben introducir en este método se encuentran los siguientes:

- ✓ Número de tramos desde M hasta A, desde M hasta B, desde A hasta B
- ✓ Ángulos entre los lados y la longitud de los lados que aparecen en las tablas
- ✓ Coordenadas de puntos N, M en la superficie.

b) Entre los resultados que se visualizan se pueden mencionar los siguientes:

- Coordenadas de todos los puntos en subterráneo desde A hasta B.

Ángulos M - A			
Ángulo Entre:	(°)	(')	(")
NM y MP1	135	55	0
MP1 y P1A	194	20	0

Tramos M - A	
Tramo	Valor
MP1	30
P1A	35

Ángulos M - B			
Ángulo Entre:	(°)	(')	(")
NM y MQ1	224	50	0
MQ1 y Q1Q2	210	10	0
Q1Q2 y Q2B	112	5	0

Tramos M - B	
Tramo	Valor
MQ1	35
Q1Q2	30
Q2B	35

Ángulos A - B			
Ángulo Entre:	(°)	(')	(")
AC1 y C1C2	259	15	0
C1C2 y C2C3	193	5	0
C2C3 y C3C4	211	30	0
C3C4 y C4B	217	50	0

Tramos A - B	
Tramo	Valor
AC1	31
C1C2	30
C2C3	35
C3C4	30
C4B	25

Coordenadas de N y M	
XN	YN
20	90
XM	YM
50	90

Las Coordenadas resultadas		
Vértice	Coordenadas en X	Coordenadas en Y
A	101.53652	128.238694
C1	132.240728	134.767983
C2	143.931785	107.427076
C3	149.920634	72.629022
C4	138.853817	44.733758
B	117.31807	32.029635

Figura 36: Programa para la orientación por dos pozos verticales.



III.7. Conclusiones

- ✓ El software Topo_Minh resuelve los cálculos topográficos que se generan durante el trabajo de levantamiento de terreno y la orientación subterránea
- ✓ El software tiene la ayuda efectiva, la visualización clara y la facilidad de uso
- ✓ El software que tiene las aplicaciones de Topo6, TOPCION y la orientación subterránea
- ✓ Se crea una base de datos en cada programa correspondiente del software para conservar datos y resultados de su trabajo o para otro destino como dibujar el mapa topográfico en otros softwares
- ✓ Se puede abrir el software en cualquier tipo de Windows sin necesidad de instalarlo
- ✓ El software sólo tiene el tamaño de 920KB, por lo tanto se ocupa casi nada el espacio de disco duro de la computadora y es fácil de enviarlo por correo electrónico.



Conclusiones

- ✓ Mediante los algoritmos de lenguaje de programación Delphi, se crea el software Topo_Minh que permite automatizar los cálculos topográficos mineros con rapidez, exactitud y facilidad de manejar
- ✓ El software sirve como herramienta para la enseñanza de pregrado como de postgrado en la carrera Ingeniería de Minas dentro de la disciplina Geomecánica
- ✓ El software facilita el posible trabajo en red de actividades de informatización en la disciplina Geomecánica.



Recomendaciones

- Sustituir el software Topo6, TOPCION, TopoMin por este software Topo_Min en la producción
- Introducir este Software como una herramienta informática en el proceso de enseñanza – aprendizaje de las asignaturas Topografía General y Topografía Minera.



Bibliografía

DOMINGUEZ GARCIA-TEJERO, Francisco. *Topografía General y Aplicada*. Sexta edición. Madrid: Editorial DOSSAT, S.A.Madrid, 1974. págs. 77 - 477. ISBN.

Ing. BENÍTEZ, Raúl. *Topografía Para Ingenieros Civiles*. Tomo I. La Habana: Editorial Pueblo y Educación, 1977. SNLC.

Ing. BENÍTEZ, Raúl. *Topografía Para Ingenieros Civiles*. Tomo II. La Habana: Editorial Pueblo y Educación, 1978. SNLC.

Ing. FERRER BURGOS, Rubén. *Topografía Minera I*. La Habana : Editorial Pueblo y Educación, 1987. SNLC.

Ing. FERRER BURGOS, Rubén. *Topografía Minera II*. La Habana : Editorial Pueblo y Educación, 1984. SNLC.

BELETE FUENTES, Orlando. *Topografía [Libro Digital]*. Texto en Publicación.

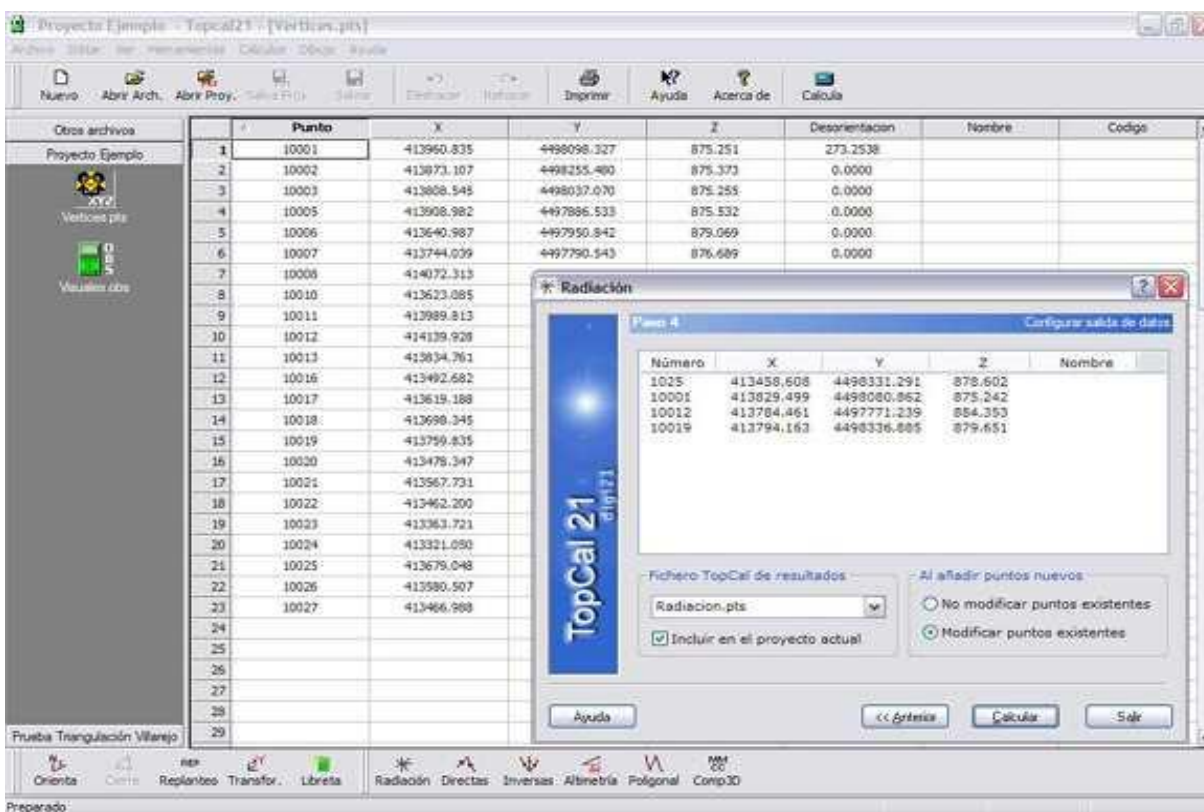
SÁNCHEZ MONTERO, Hector y ROMERO CUENCA, Yoenni. *Orientación de excavaciones subterráneas asistida por MATLAB*. . Idania Acela Aguilera Fernández y Luis Delfín Rojas Purón (tutores). Tesis de Grado. Instituto Superior Minero Metalúrgico, 2006. 100 h.



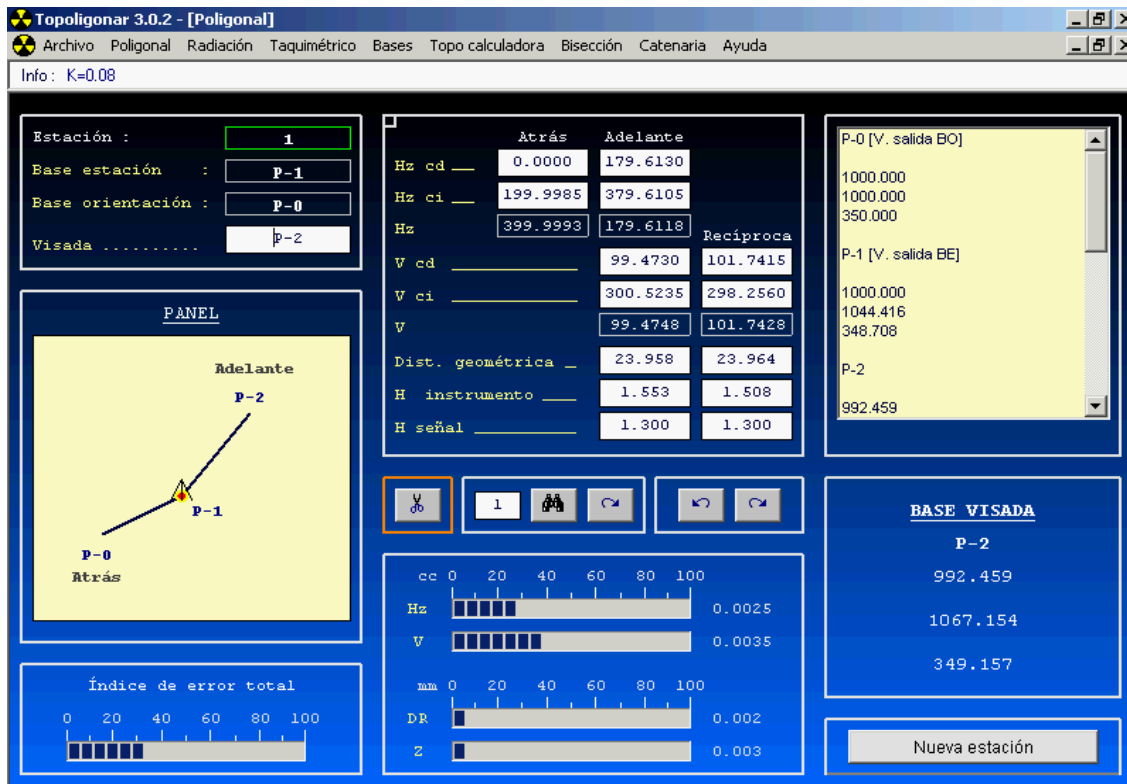
Anexos



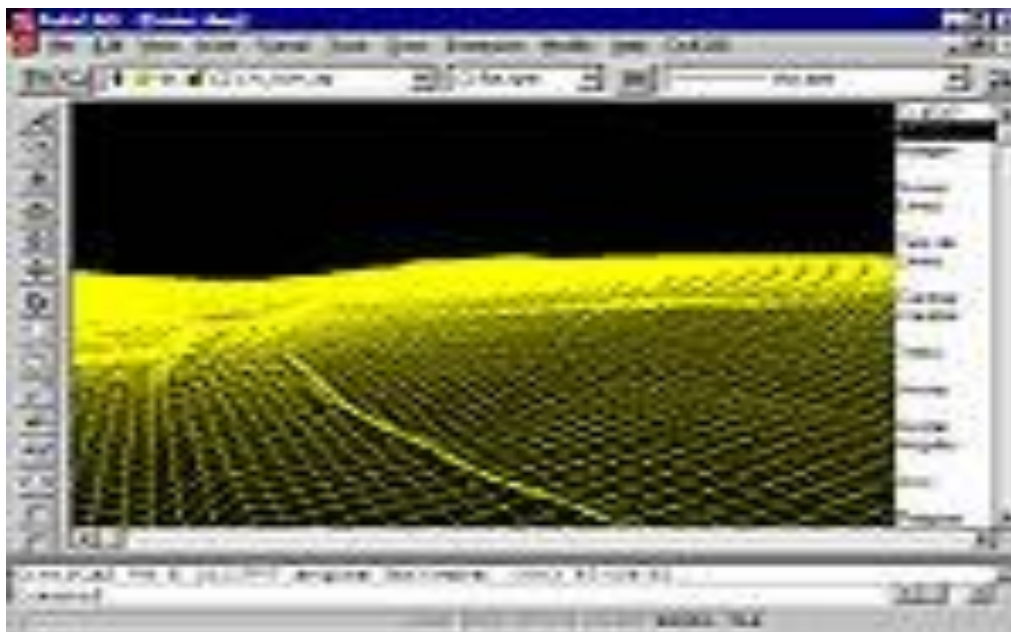
Anexo #1: Software CARTOMAP 5.



Anexo #2: Software TopCal21.



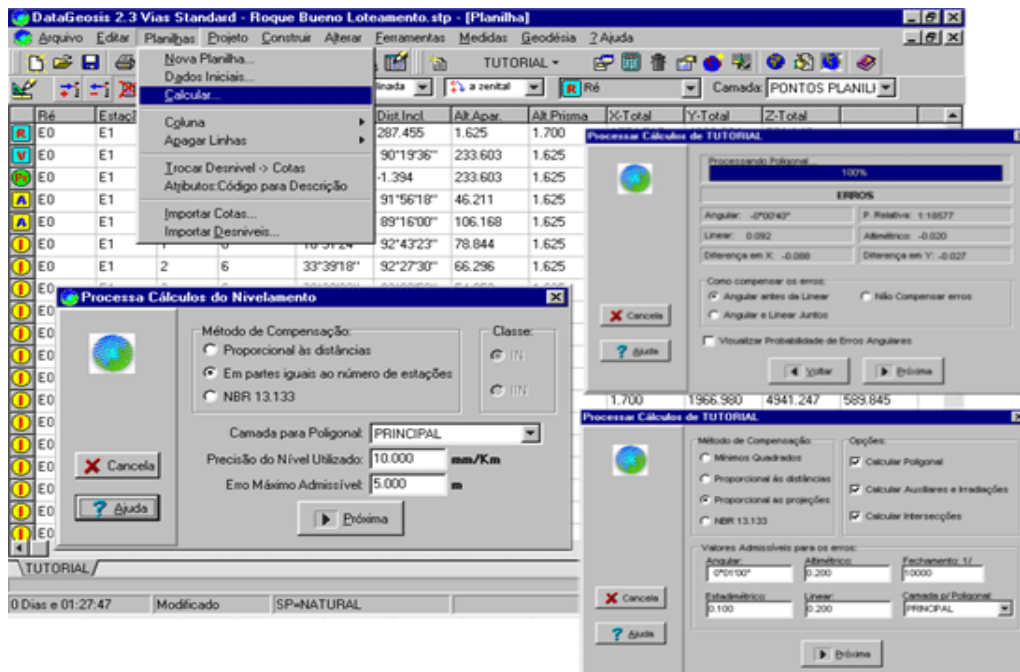
Anexo #3: Software Topologonar versión 3.0.



Anexo # 4: Software CivilCAD.



Anexo # 5: Software Protopo.



Anexo # 6: Software Datageosis en la Versión STANDARD para el cálculo de Poligonales.



Actividad	Tipo	Título	Horas
1	C1	Topografía minera en la explotación a cielo abierto.	2
2	C 2	Redes. Microtriangulación. Intersecciones.	2
3	TP 1	Caminos mineros. Cálculo de volumen.	4
4	C 4	Elementos de Fotogrametría en canteras.	2
5	L 1	Montaje de fotomosaico. Procesamiento analítico de un par de fotogramas.	2
6	L 2	Construcción de un perfil en el Estereocomparador.	2
7	TP 2	Intersección de planos con regiones topográfica (Plazoletas, vías).	4
8	TP 3	Intersección de planos con una región topográfica (Taludes).	4
9	C 4	Levantamiento subterráneo con teodolito.	2
10	C 5	Orientación subterránea. Método de los Triángulos.	2
11	P 3	Orientación por un pozo vertical. Método de los triángulos.	4
12	L 6	Método de los Triángulos. Aplicación de software.	2
13	C 6	Orientación subterránea. Método del Cuadrilátero.	2
14	P 4	Orientación por un pozo vertical. Método del Cuadrilátero.	2



15	L 7	Método del Cuadrilátero. Aplicación de software.	2
16	C 7	Orientación subterránea por dos pozos verticales. Métodos especiales. Orientación magnética.	2
17	P 5	Solución de la orientación por dos pozos verticales.	4
18	L 8	Orientación por dos pozos verticales. Aplicación de software.	2
19	TP 4	Nivelación geométrica en excavaciones subterráneas.	4
20	TP 5	Movimiento de tierra en galerías de transporte.	4
21	P 6	Desarrollo de excavaciones por frentes de encuentro.	4
22	P 7	Desarrollo de curvaturas en las excavaciones.	2

C: Conferencia L: Laboratorio en computadora

P: Clase práctica TP: Clase teórico práctica

Anexo # 7: P-1 propuesto para la nueva estructura de la asignatura Topografía Minera.



Actividad	Tipo	Título	Horas
1	C1	Elementos Básicos de topografía.	2
2	C2	Breve noción sobre cartografía.	2
3	C3	Planificación geodésica de Cuba.	2
4	C4	Orientación. Tarea topográfica directa e inversa.	2
5	C5	Elementos de la teoría de los errores en las mediciones.	2
6	C6	El teodolito. El taquímetro. Medición de distancia.	2
7	Cp1	Cálculo de acimut y rumbo. Tarea topográfica.	2
8	L1	Cálculo de acimut y rumbo y Tarea topográfica con el Topo_Minh.	2
9	Cp2	Trabajo con escalas.	2
10	Cp3	Interpolación de curvas de nivel.	2
11	L2	Interpolación de curvas de nivel con el Surfer 8.0.	2
12	Cp4	Mapas y planos topográficos. Pendiente. Angulo.	4
13	C7	Redes geodésicas. Redes para levantamientos.	2
14	L3	El teodolito. Medición de ángulo.	2
15	L4	Medición de distancia por el método paraláctico	4
16	L5	Estudio del GPS y Estaciones totales.	2



17	C8	Método planimétrico. Poligonometría.	2
18	C10	Método altimétrico. Nivelación geométrica.	2
19	L6	Trazado de una poligonal.	4
20	Cp5	Cálculo y compensación de una poligonal.	4
21	L6	Cálculo de una poligonal con el Topo_Minh.	2
22	L7	Levantamiento taquimétrico.	2
23	L8	Cálculos taquimétricos con el Topo_Minh.	2
24	L9	Trazado de un circuito de nivelación geométrica.	2
25	Cp6	Cálculo y compensación de un circuito de nivelación.	2
26	L9	Cálculo de un circuito de nivelación con el Topo_Minh.	2
27	TP1	La topografía en los trabajos de ingeniería. Área.	4
28	TP2	La topografía en los trabajos de ingeniería. Volumen.	4
29	Cp7	Cálculo de área y volumen con el Surfer 8.0.	2

C: Conferencia L: Laboratorio en computadora

P: Clase práctica TP: Clase teórico práctica

Anexo # 8: P-1 propuesto para la nueva estructura de la asignatura Topografía General.