



**INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALÚRGICO DE MOA  
“Dr. ANTONIO NÚÑEZ JIMÉNEZ”  
FACULTAD DE GEOLOGÍA Y MINERÍA  
DEPARTAMENTO DE MINERÍA  
MOA – HOLGUIN – CUBA**

Las Coloradas s/n, Moa, Holguín, Cuba. CP 83329. Tel. (53) (24) 60 6502 ext.33  
E-mail: [obelete@ismm.edu.cu](mailto:obelete@ismm.edu.cu)

**TESIS APLICADA EN OPCIÓN AL TÍTULO ACADÉMICO DE  
MASTER EN TOPOGRAFÍA MINERA**

**PROCEDIMIENTO PARA LOS TRABAJOS TOPOGRÁFICOS EN  
ÁREAS EN PROCESO DE REHABILITACIÓN**

**Autora:** Ing. Damaris Ingran Belete

**Tutor:** Dr. C. Orlando Belete Fuentes.

**Moa, 2012**

**“Año 54 de la Revolución”**



## **DEDICATORIA**

A mis familiares y en especial a mi madre.

A la memoria de mi padre.



## **PENSAMIENTO**

Divorciar al hombre de la tierra, es un atentado monstruoso.

Que la enseñanza científica vaya, como la savia en los árboles, de la raíz al tope de la educación pública.

José Martí



## **AGRADECIMIENTOS**

A todos los que de una forma u otra me ayudaron en la realización de este trabajo.

A nuestra Revolución Socialista.

A todo el claustro de profesores.

Al Dr.C Orlando Belete Fuentes.

A Fabián, estudiante extranjero de 5to año de la carrera de Ingeniería en Minas.

A todos **GRACIAS**



## **Resumen**

En la siguiente investigación se presenta un procedimiento para la realización de los trabajos topográficos en áreas en proceso de rehabilitación en la mina Comandante Ernesto Che Guevara de Moa.

El procedimiento elaborado es una herramienta que permite realizar los trabajos topográficos en las áreas en proceso de rehabilitación con mayor precisión y planificación. Con el estudio realizado en las zonas de rehabilitación, se pudo afirmar que el empleo de trincheras anti erosivas favorece en gran medida a la disminución de pérdida de suelo. Además se comprobó que la disminución de la inclinación del talud de las escombreras reduce la erosión del suelo y favorece las condiciones para la rehabilitación, se confirma que la protección de las áreas rehabilitadas contra la erosión y deslizamientos es una de las medidas fundamentales que garantiza el equilibrio ecológico, la tecnología empleada en la realización de los trabajos topográficos es adecuada y moderna y permite el desarrollo de los trabajos de rehabilitación con menor costo y menores afectaciones al medioambiente.

**Palabras claves:** Rehabilitación, erosión, medioambiente, escombreras, topografía minera.



## ÍNDICE

No		Pág.
	<b>Introducción</b>	8
	<b>CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO DE LA INVESTIGACIÓN</b>	11
1.1	Introducción	11
1.2	Análisis de los trabajos precedentes relacionados con la temática en el mundo.	12
1.3	Análisis de los trabajos precedentes relacionados con la temática en Cuba.	13
	<b>CAPITULO II: TRABAJOS TOPOGRÁFICOS EN LA REHABILITACIÓN DE LOS TERRENOS AFECTADOS POR LA MINERÍA</b>	16
2.1	Características de los trabajos geológicos y mineros del yacimiento	16
2.1.1	Breves características geológicas del yacimiento	17
2.1.2	Breves características hidrogeológicas de la zona de estudio	18
2.2	Confección de la base planimetría para el levantamiento	22
2.3	Construcción de poligonales de enlace	26
	<b>CAPITULO III: TRABAJOS TOPOGRÁFICOS MINEROS EN ÁREAS EN PROCESO DE LA REHABILITACIÓN</b>	30
3.1	Necesidad de realizar los trabajos topográficos	30
3.2	Influencia de las pendientes en la rehabilitación de los suelos	31
3.3	Análisis de los factores topográficos que influyen en la rehabilitación	33
3.3.1	Áreas llanas y talúdes suaves	36
3.3.2	Arranque de la capa útil de suelo (capa vegetal) después de realizados los trabajos topográficos	37
3.4	Aplanamiento vertical de las escombreras	38
3.4.1	Fórmulas utilizadas para el cálculo de volumen	41
3.4.2	Formación de terraza	47
3.4.3	Inclinación del talud de los suelos minados	48
3.5	Cálculo de movimiento de tierra	50
3.5.1	Levantamiento topográfico	50
3.5.2	Descripción del proceso de descarga con el software CarlsonXPort	50
3.5.3	Creación del Modelo digital del terreno para el movimiento de tierra mediante los software	54



3.5.4	Metodología para el cálculo de volumen mediante el software Cartomap6	54
3.5.5	Pasos para la importación de los puntos	60
3.5.6	Pasos para la creación del modelo digital del terreno	66
3.5.7	Cubicaciones (Cálculo de volumen)	72
	<b>Conclusiones</b>	73
	<b>Recomendaciones</b>	74
	<b>Bibliografía</b>	75



## INTRODUCCIÓN

Desde que el hombre apareció sobre la faz de la tierra hace unos millones de años comenzó a incidir sobre el medio tan pronto como inició su vida social. Con el uso del fuego y la invención de la agricultura alrededor de 800 años atrás se inició el deterioro del medio ambiente. Las características de la capacidad para modificar su entorno deteriorándolo o protegiéndolo distingue el género humano de las otras **especies**.

Cuba no esta ajena a esta tendencia. Hoy en día una mayor exigencia de la población, que ve la actividad minera como altamente contaminante, aunada a la amenaza por parte de países desarrollados de restricciones comerciales a los productos mineros, amparados en argumentos de carácter ambiental, ha hecho de la preocupación por el medio una realidad **ineludible**.

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 nos presentan en el transcurso de las exploraciones, confección de proyectos y construcción y explotación de las unidades minera.

Los trabajos de Topografía minera tienen mucho en común con los de geodesia. Pero la mayoría de los problemas de la Topografía Minera los resolvemos valiéndonos de los datos de la exploración minera y geológica. Es por eso que la Topografía minera esta estrechamente unida con la Minería y la Geología y el medio ambiente.

En los trabajos topográficos es necesario guiarse por las normas y reglamentos técnicos de la Topografía Minera, aprobadas por los organismos competentes en el país. Para esto la Topografía Minera cumple con las tareas principales en las minas de explotación tales como:

- 1- Efectuar levantamientos en la superficie o bajo mina, así como confeccionar y completar los planos de superficies y de las excavaciones, basándonos en los datos obtenidos.
- 2- Trazar y efectuar trabajos de levantamiento en las superficies relacionados con las distintas construcciones, realizar trabajos en las excavaciones mineras, ejecutar el control periódico sobre los mecanismos de elevación.



3- Estudiar la geometría de la yacencia y calidad del mineral; dibujar y rectificar los gráficos de la geometría minera que dan la idea de la yacencia y calidad del mineral de los distintos lugares.

4- Situar y dar dirección a las excavaciones subterráneas, cuidando que los trabajos de excavación coincidan con la dirección de estas en el plano; ejercer control sobre las dimensiones, hacer orientar los frentes de encuentros; y otras.

5- Llevar a cabo los cálculos de control sobre los cambios operados en las reservas de mineral de la unidad para un periodo dado; calcular la cantidad de mineral extraído y dejado en el subsuelo, a fin de tomar las medidas necesarias encaminadas a una explotación racional

6- Estudiar el desplazamiento y conformación de las rocas, de la superficie del terreno y de las construcciones de la mina de los efectos y de las construcciones de la mina para preservarlos de los efectos dañinos de las explotaciones mineras.

Es evidente que en los yacimientos no existe un procedimiento que permita realizar los trabajos topográficos para guiar los trabajos de rehabilitación minera que permita proyectar una red topográfica de apoyo, disminuir las pendientes de las escombreras para minimizar la erosión, calcular la cantidad de material necesario para crear plataforma para poder llevar a cabo los trabajos de rehabilitación.

Debido a las insuficiencias en el empleo de estos trabajos topográficos se relaciona la topografía con la rehabilitación y realizamos este trabajo con el fin de crear un procedimiento para áreas reales de producción en proceso de rehabilitación, donde el problema es:

**Problema:** La necesidad de elaborar un procedimiento para los trabajos topográficos en las áreas en proceso de rehabilitación.

**Objeto de investigación:** Los procesos de rehabilitación en la minería de la empresa Ernesto Che Guevara.

**Campo de acción:** Los métodos y tecnología topográfica para la rehabilitación de los suelos deteriorados por la actividad minera.



**Objetivo:** Elaborar un procedimiento para realizar los trabajos topográficos de rehabilitación en la mina Che Guevara.

**Hipótesis:** Si se evalúan los métodos y medios topográficos vigentes en la rehabilitación minera, entonces se podrá elaborar procedimiento que permita realizar los trabajos topográficos mineros en las áreas en proceso de rehabilitación, y por tanto, se garantizarán resultados eficientes en los trabajos de rehabilitación.

**Objetivos específicos:**

- Revisar los trabajos topográficos realizados en la rehabilitación.
- Evaluar los métodos y medios topográficos vigentes en la rehabilitación;
- Elaborar un procedimiento para solucionar el problema de rehabilitación de las áreas minadas en la Empresa Ernesto Che Guevara.

**Aportes práctico:** un procedimiento para realizar los trabajos de rehabilitación en la mina Ernesto Che Guevara.

**Aportes teórico:** Estudio de los trabajos topográficos en áreas de rehabilitación.

**Métodos de investigación:**

- Matemático estadístico;
- Teórico-histórico-lógico, análisis y síntesis, inductivo-deductivo;
- Empírico: observación y experimentación;
- Técnica empleada: entrevista.



---

## CAPÍTULO I

### MARCO TEÓRICO DE LA INVESTIGACIÓN

#### 1.1 INTRODUCCIÓN

De acuerdo al progreso científico-técnico que actualmente se produce en las diferentes ramas de la minería, se hace cada vez más necesario el desarrollo de la cantidad y complejidad de grandes cálculos topográficos que se realizan para poder llevar a cabo tareas de rehabilitación en la actividad minera. Aparejado a esto trae consigo nuevas y mayores exigencias de gran rigor con respecto a su alta eficiencia, por tal motivo no se concibe su ejecución sin la aplicación de tecnologías apropiadas como los software para la confección del plano topográfico y llevar a cabo los trabajos mineros de rehabilitación.

Según la evolución y modernización de los software utilizados para el trazado de las redes de apoyo, Los fabricantes lanzan al mercado internacional las más recientes tecnologías, integradas por diferentes aplicaciones internas que posibilitan la rapidez y gran eficiencia para los diferentes cálculos.

En la actualidad con el desarrollo de las nuevas tecnologías de software para realizar cálculo del volumen se hace necesario crear un procedimiento para la realización de los trabajos topográficos mineros en las zonas a rehabilitar, desbrozadas por la minería. Lo expresado anteriormente trae consigo la mejora continua de los resultados de los trabajos de rehabilitación que se llevan a cabo en diferentes minas o canteras.

La empresa de proyectos (CEPRONIQUEL) en los últimos años ha adquirido diferentes softwares para realizar diversos trabajos de topografía para lo cual son empleados los software: AutoCAD civil 3D-2010, Surfer8, Cartomap V 6.0, este último limitado a llaves muy costosas en el mercado internacional. Por eso es objetivo de este trabajo, crear un procedimiento que permita realizar los trabajos topográficos en la rehabilitación minera.



## 1.2 ANÁLISIS DE LOS TRABAJOS PRECEDENTES RELACIONADOS CON LA TEMÁTICA EN EL MUNDO.

Revista geodesia y aerofotolevantamiento (1974): Trata sobre la precisión del visado enlazando con el empleo de los métodos geodésicos de alta precisión y valora el error de colimación a distancia de 100-400m.

Manual de levantamientos a grandes escalas (1977): trata sobre el procedimiento para trazar redes de levantamiento con poligonales.

Ganshin (1974). En base a los cálculos de las poligonales de diferentes formas y distintas relaciones entre la exactitud de las mediciones lineales y angulares, se establece que la presencia solamente de los errores accidentales de las mediciones, la magnitud del error medio cuadrático del acimut en el lugar más débil de la poligonal, después de ajustadas por el método de los mínimos cuadrados en todas las condiciones es aproximadamente igual al error medio cuadrático del ángulo medido, es decir,  $m_{\alpha} = m_{\beta}$ .

Bakanova (1983): Levantamiento a grandes escalas. Plantea como calcular el error medio cuadrático del punto final de la poligonal con ángulos previamente ajustados. La distancia la mide con el telémetro REDTA o con el D-2 para poligonometría de 2da categoría. También calcula el error límite del punto en el lugar más débil de la poligonal después de ajustada.

Bolgov (1984): Trabajos geodésicos en la construcción de grandes obras. Plantea las redes geodésicas de grandes obras y su fijación en el terreno. Trata los tipos de redes analíticas necesarias y su precisión medidas con instrumentos tradicionales (teodolitos y telémetros).

Lébedev (1984): Geodesia aplicada a la ingeniería. Valora la influencia de los errores sistemáticos y accidentales en las poligonales. Calcula la precisión de las líneas y de los ángulos y determina que cuando las distancias se miden con geodímetros, los errores sistemáticos no ejercen influencia y asegura que los



geodímetros pequeños garantizan la precisión necesaria de la medición de la distancia en las poligonales de todas las categorías.

Koskov (1986): Manual para levantamientos de ciudades. Plantea la precisión de las poligonales se deben calcular con los ángulos previamente ajustados, para poligonales quebradas y para poligonales alargadas por separado.

Batrakov (1987), en su libro: Redes geodésicas de densificación. Plantea calcular la exactitud de las poligonales trazadas entre puntos de apoyo y demuestra que el error relativo mayor se encuentra en las poligonales trazadas entre puntos de apoyo (en el medio) y establece que en los levantamientos en superficies abiertas o en terrenos construidos a escala 1:5000, el error límite de posición de los puntos de la base de levantamiento es de 0.1m y comprueba si la poligonal puede ser aceptada como red de levantamiento.

### **1.3 ANÁLISIS DE LOS TRABAJOS PRECEDENTES RELACIONADOS CON LA TEMÁTICA EN CUBA**

Belete, O. (1998), en su tesis doctoral: Vía para el perfeccionamiento del cálculo de volumen de mineral extraído propone una metodología para valorar la exactitud del modelo Digital del Terreno y propone una nueva tecnología, pero no considero la nueva tecnología topográfica.

García (2001), en su trabajo de diploma: Trabajos topográficos en la recultivación de los terrenos degradados por la minería laterítica, realiza una evaluación de los métodos vigentes en la empresa Comandante Ernesto Che Guevara con el fin de proponer los trabajos de rehabilitación, considera la tecnología topográfica antigua, no considera las estaciones totales y los GPS.

Aguilera, I. (2002), realizó un trabajo sobre rehabilitación, pero no llega a conformar un orden de realización de los trabajos topográficos mineros.



Torres (2002), en su trabajo estudio sobre la comparación entre retro/camión y Dragalina /camión en la mina Pedro Soto Alba, hace un análisis profundo sobre el tiempo de ciclo y la valoración económica, pero se queda corto en la comparación técnica entre las variantes analizadas y en la pendiente que deben llevar las escombreras.

Belete, O. (2008), en su libro Topografía, hace un estudio sobre los factores que influyen en el calculo de volumen de mineral extraído y valora los errores topográficos que se cometen en la construcción del Modelo Digital del Terreno y propone la equidistancia y la distancia optima entre piquetes para contornear los frentes de excavadoras y representarlo en el plano a escala 1:1000 con mayor exactitud, pero no trata los trabajos topográficos en la rehabilitación minera.

Belete (2008), en su trabajo Rendimiento de la sincronización de las labores de arranque y carga en la mina Ernesto Che Guevara, plantea la necesidad de realizar una valoración económica efectiva de la variante retro/camión, pero no deja claro las ventajas y desventajas de esas variantes y como aplicarlas en la rehabilitación minera.

Batista, J. (2009), realiza constantemente trabajos topográficos en la rehabilitación minera con las estaciones Totales, sin construir una adecuada red de apoyo topográfica.

Batista, Y. (2009), realizó un trabajo investigativo sobre los trabajos topográficos aplicados en suelos degradados por la minería, pero no considero la pendiente de las escombreras ni la construcción de la plazoleta de trabajo.

Herrera, W. (2010), propuso una metodología de realización de los trabajos topográficos mineros para la rehabilitación minera, pero no considero la construcción de las redes de apoyo construidas con estaciones Totales, por lo que no llega ser un procedimiento.

Reyes (2010), en su trabajo planificación minera, deja claro la necesidad de hacer un estudio de comparación de las variantes retroexcavadora/camión Volvo y



dragalina/camión volvo, pero no considera los trabajos de rehabilitación minera ni la pendiente de los caminos.

Guerra L. (2012), en su trabajo de diploma: Determinación de la influencia de los factores meteorológicos durante las mediciones con estaciones totales para el cálculo de volumen de mineral extraído, plantea cuando se realiza el levantamiento del terreno con Estaciones Totales, es necesario considerar estos factores, pues pueden perjudicar la exactitud de construcción del plano topográfico en la rehabilitación minera.

Téllez, I. (2012), en su tesis de maestría: Construcción de caminos mineros con el software Autocad Civil 3D propone un procedimiento para construir caminos mineros utilizando el software mencionado, pero no propone la secuencia topográfica necesaria para realizar el replanteo de los caminos que conducen hacia la escombrera.

## CAPITULO II

### TRABAJOS TOPOGRÁFICOS EN LA REHABILITACIÓN DE LOS TERRENOS AFECTADOS POR LA MINERÍA

#### 2.1 CARACTERÍSTICAS DE LOS TRABAJOS GEOLÓGICOS Y MINEROS DEL YACIMIENTO

El área de ubicación de la fábrica Comandante Ernesto Che Guevara se encuentra al norte del yacimiento de Punta Gorda, ubicado en la provincia Holguín, en la costa norte, entre los ríos Moa y Yagrumaje, a 4 Km de la Ciudad de Moa y a 2 Km del pueblo de Punta Gorda y forma parte del macizo montañoso de Sagua – Moa - Baracoa (Figura 2.1).



Fig. 2.1 Plano de ubicación de la zona de la concesión minera

**Relieve:** la zona se caracteriza por su inclinación hacia el Norte con rangos de pendientes variables y desmembrado en tres sectores por valles muy profundos, correspondientes a las áreas ínter fluviales Moa – Lirios - Yagrumaje, que se caracterizan por las formas aplanadas con cañadas y valles formados en el período de peniplanización con los desniveles relativos del relieve que oscilan entre 70 y 110 m, siendo las cotas absolutas de 0 - 185 m.

**Clima:** es tropical, la temperatura media anual es aproximadamente 27 °C, en el verano de 30 °C a 32 °C y en el invierno de 22 °C a 26 °C. En el año hay dos períodos de lluvia, correspondientes a los meses Mayo - Junio y Octubre - Diciembre; y dos períodos de seca, Febrero - Abril y Julio - Septiembre. La cantidad de precipitaciones oscilan en amplios límites y el promedio es de 1700 - 1800 mm al año. Durante el verano las lluvias se presentan en forma de chaparrones y en el invierno son prolongadas. La red fluvial, está representada por los ríos Moa al Norte, Yagrumaje al Sur y Este, Los Lirios al Oeste y está atravesado por el arroyo La Vaca.

### 2.1.1 Breves características geológicas del yacimiento

La concesión minera de la Empresa Comandante Ernesto Che Guevara está constituida por los siguientes yacimientos, Punta Gorda, Yagrumaje Norte, Yagrumaje Oeste, Yagrumaje Sur, Camarioca Este (Figura 2.2).

## CONCESIÓN MINERA

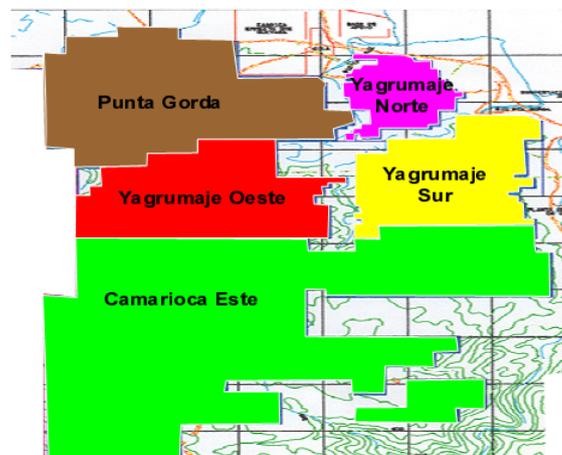


Fig. 2.2 Composición de la concesión minera Empresa Comandante Ernesto Che Guevara

### Yacimiento Yagrumaje norte

Tiene un área general de 2 km<sup>2</sup> con forma bastante regular de dimensiones de 1.8 Km de largo y 1.4 km de ancho, ubicándose en una meseta aplanada al norte del Río Yagrumaje. Este, tiene una inclinación de sur a norte desde las cotas 100 -



110 m hasta 20 – 40 m, la diferencia de las cotas absolutas dentro de los límites del yacimiento explorados es de 88 m variando de 108 - 200 m.

Las menas se relacionan principalmente con las formaciones friables de la corteza de intemperismo in situ y sus productos, excepto en las partes del yacimiento con pendientes abruptas; las intercalaciones de estériles son muy raras en todo el depósito mineral, alcanzando un área de 0.01 km<sup>2</sup>

La potencia promedio de las menas LB + SB es de 9.0 m, variando desde 2.6 m en el bloque 1058 hasta 17.4 m en el bloque 557. En general, la potencia va aumentando desde las partes periféricas hacia las partes centrales del yacimiento.

La profundidad de yacencia de las aguas es de 2.67 m, la potencia del horizonte acuífero varía desde 1.0 - 20.50 m, las corrientes de las aguas subterráneas tienen tres direcciones principales: hacia el río Yagrumaje, hacia la costa y hacia el arroyo Punta Gorda, aprovechando las depresiones del relieve, debido a que el nivel de las mismas queda por encima del nivel de base de erosión de las aguas superficiales. Se encuentra desarrollado totalmente en una red de exploración de 33.33 x 33.33 m, y parcialmente en una red de 23.5 x 23.5 m.

### **2.1.2 Breves características hidrogeológicas de la zona de estudio**

Las condiciones hidrogeológicas de este yacimiento están condicionadas a los períodos de lluvia y seca, presentando complejidades mayores en época de lluvia y en período de sequía moderada, mientras que en época de intensa sequía las condiciones hidrogeológicas son simples, independientemente que el estudio hidrogeológico no fue homogéneo en todo el yacimiento.

En época de lluvia las cotas del nivel del agua subterránea oscilan entre 15 y 90 m y la descarga de éstas se realiza hacia el Norte, el Oeste, el Sureste y Suroeste.

Los gastos específicos para época de lluvia oscilan desde 5 hasta 1000 m<sup>3</sup>/día/m, sin embargo en época de intensa sequía éstos son inferiores a 45 m<sup>3</sup>/día/m. Esto está dado a que la mayor productividad acuífera está asociada a los ocrec inestructurales. En el ocre estructural solo se presentan valores elevados en zonas de falla.

Si se realiza un buen trabajo de canalización previo a la explotación del mineral, la



complejidad se verá reducida significativamente. El sistema de canalización debe realizarse en época de seca, permitiendo de esta forma que cuando lleguen las lluvias se acumulen pequeños volúmenes de ésta en la roca acuífera. El sistema de control de erosión, consiste básicamente en la construcción de pequeñas obras hidráulicas que drenan desde los bordes de las áreas a minar, dando de este modo, algunas soluciones para el drenaje.

### **Flujo tecnológico de la Unidad Básica Minera**

La Unidad Básica Minera esta destinada fundamentalmente a suministrar la materia prima a la fábrica Comandante Ernesto Che Guevara que cuenta con un esquema tecnológico basado en la lixiviación carbonato amoniacal del mineral reducido o proceso Carón. Inició sus operaciones mineras en 1985, con la explotación de los minerales del Yacimiento Punta Gorda, con producciones anuales hasta el año 1996 entre 1.5 a 2.3 millones de toneladas de mineral minado y a partir del año 1997 hasta 2005 se incrementó a 3.0 a 3.8 millones de toneladas. Actualmente las labores mineras se desarrollan en los yacimientos Punta Gorda y Yagrumaje Norte. La superficie de la zona minada es de aproximadamente 2 854 400 m<sup>2</sup>. Para dar cumplimiento a su objeto social desarrolla las actividades que aparecen a continuación:

- **Desarrollo tecnológico:**

Tiene como objetivo fundamental, la evaluación de los recursos minerales, con la finalidad de utilizarlos como materia prima ya sea a corto, medio o largo plazo. En la etapa de desarrollo se determinan los parámetros fundamentales del mineral y del yacimiento, que servirán de base para la planificación de la extracción y su procesamiento industrial. El desarrollo geológico con la perforación y muestreo se desarrolla en:

- Red de 400 x 400 m ó de 300 x 300 m en las áreas con perspectiva de la corteza de intemperismo. Con esta exploración preliminar se determinan las zonas que tienen posibilidades de continuarse.
- Red 100 x 100 m, que da un contorno más preciso al cuerpo mineral, así como una evaluación más exacta del volumen y las características del mineral.
- Red de 33,33 x 33,33 m, (red de explotación): permite hacer la planificación y extracción a corto plazo, ya que aporta los datos necesarios de volumen



y contenido, así como los contactos por el techo y el fondo del cuerpo mineral, el nivel del manto freático, la presencia de intercalaciones y otros datos.

- Red complementaria de 16 x 16 m, se realiza para determinar el contacto por el techo del mineral y en determinados casos para el fondo, actualmente esta red se está sustituyendo por una de 23.5 x 23.5 con la que definen ambos contactos.

Estos trabajos se realizan contratados a las empresas de la Unión Geólogo Minera que están categorizadas para los servicios geológicos.

### **Preparación minera**

Es el conjunto de trabajos mineros a realizar para que la extracción y el transporte se ejecuten con la mejor calidad y eficiencia. A continuación se describen las actividades que se realizan según su orden de ejecución:

**Desbroce:** consiste en la eliminación de la capa de suelo y la vegetación y la modelación del terreno para que puedan entrar al área los equipos para el destape, se ejecuta con buldózer KOMATSU D85E. Esta fase es de gran importancia tanto para los trabajos de destape, como para la preservación del medio ambiente. En su ejecución y planificación hay que tener en cuenta los siguientes aspectos:

- El material desbrozado, tiene que conservarse para cubrir la última capa de las escombreras, debido a su contenido de materia orgánica que servirá como sustento a la vegetación en la rehabilitación minera.
- El terreno debe quedar en las mejores condiciones para el movimiento equipos que realizarán el destape.
- Solamente se desbrozará el área que se va a destapar de inmediato.

**Destape:** es la labor de la Preparación Minera, que requiere de un mayor volumen de trabajo, y consiste en el corte y traslado del horizonte superior (escombro) del cuerpo mineral que por su bajo contenido de níquel y cobalto, no resulta económico enviarlo al proceso. Para realizar el mismo pueden ser utilizados una serie de equipos, que su elección está determinada por las



exigencias de calidad del trabajo, potencia de la capa de escombro, relieve, distancia de transportación, etc. Actualmente los equipos más usados en estos yacimientos son las retroexcavadoras hidráulicas R974, R984, 800-H5, EC-460, excavadoras de arrastre ESH5/45 (dragalinas), camiones articulados A40D. En algunas zonas de los yacimientos se utilizan mototraíllas de brigadas contratadas a empresas de la construcción. A continuación aspectos que determinan calidad en su ejecución:

- Las escombreras deben ubicarse fundamentalmente en los espacios minados o donde no hay mineral y conformarse por tipo de mena y lo más plana posible. Los puntos de unión con el mineral deben ser fáciles de limpiar al extraer el mismo.
- Seguir la línea de contacto entre el escombro y el mineral, para reducir las pérdidas y el empobrecimiento,
- El personal de operación y control debe tener la calificación requerida y que la planificación sea correcta.
- Lograr mantener un adelanto no menor de seis meses, con respecto al los trabajos de la minería.

## **PROPUESTA DEL PROCEDIMIENTO**

1. Establecimiento de la red topográfica de apoyo.
2. Propuesta del método de levantamiento.
3. Propuesta de aplicación del método de retiro de la cubierta vegetal.
4. Aplanamiento vertical de la escombrera.
5. Propuesta de formación de terrazas.
6. Cálculo de movimiento de tierra



---

## 2.2. CONFECCIÓN DE LA BASE PLANIMÉTRICA PARA EL LEVANTAMIENTO

La rehabilitación de los terrenos destruidos como resultado del desarrollo de los trabajos mineros a cielo abierto considera la realización de levantamientos planimétricos y altimétricos. El levantamiento se apoya en los puntos de la red donde se conocen las coordenadas y los acimuts. Los planos se confeccionan en un sistema de coordenadas único. Tanto las redes de apoyo como las de levantamiento en el proceso de realización de los trabajos mineros y la rehabilitación de suelos se complementan, por eso estos trabajos se llevan a cabo sistemáticamente con los cálculos, para que al inicio de realización de los trabajos topográficos necesarios sea creada la red de puntos suficiente. El error medio cuadrático de la posición de los puntos más cercanos de la red de apoyo topográfico no supere  $\pm 0.2\text{m}$  en el terreno. La red de puntos para el levantamiento se puede realizar por diferentes métodos en dependencia de las condiciones del lugar.

**Redes Topográficas de Apoyo:** Consiste en trasladar al plano todo el levantamiento topográfico, con su cota, puntos determinados del terreno, partiendo, en planimetría, de una recta escrupulosamente medida orientada que se denomina la base, y en altimetría, tomando como origen un punto cuya altitud sobre nivel medio del mar sea conocida, o al que se le asigne una cota arbitraria, arrastrando ésta a los demás puntos previo cálculo, de los desniveles parciales de uno a otro.

**Levantamiento topográfico:** Los levantamientos topográficos son tridimensionales y utilizan técnicas de levantamiento geodésico plano y otras especiales para establecer un control tanto vertical como horizontal. La configuración del terreno y de los elementos artificiales o naturales que hay en él se localiza a través de medidas que se representan en una hoja plana para configurar un mapa topográfico.

**Estación Total (ET):** Se denomina estación total a un instrumento electro-óptico utilizado en topografía, cuyo funcionamiento se apoya en la tecnología electrónica. Consiste en la incorporación de un distanciómetro y un microprocesador a un teodolito electrónico. Algunas de las características que



incorpora, y con las cuales no cuentan los teodolitos, son una pantalla alfanumérica de cristal líquido (LCD) de avisos, iluminación independiente de la luz solar, calculadora, distanciómetro, (seguidor de trayectoria) y la posibilidad de guardar información en formato electrónico, lo cual permite utilizarla posteriormente en ordenadores personales. Vienen provistas de diversos programas sencillos que permiten, entre otras capacidades, el cálculo de coordenadas en campo, replanteo de puntos de manera sencilla y eficaz y cálculo de acimutes y distancias.

**Software: Programas de computadoras:** Son las instrucciones responsables de que el hardware (la máquina) realice su tarea. Como concepto general, el software puede dividirse en varias categorías basadas en el tipo de trabajo realizado. Las dos categorías primarias de software son los sistemas operativos (software del sistema), que controlan los trabajos del ordenador o computadora, y el software de aplicación, que dirige las distintas tareas para las que se utilizan las computadoras.

### **Redes analíticas.**

Para el yacimiento de la mina Che Guevara se utilizan los puntos de partida de la red de apoyo (fig. 2.4).

Las mediciones se realizan con estaciones totales. El error de cierre angular debe ser menor de 1 minuto y en triángulos con longitudes menores de 200m – 1.5 minutos.

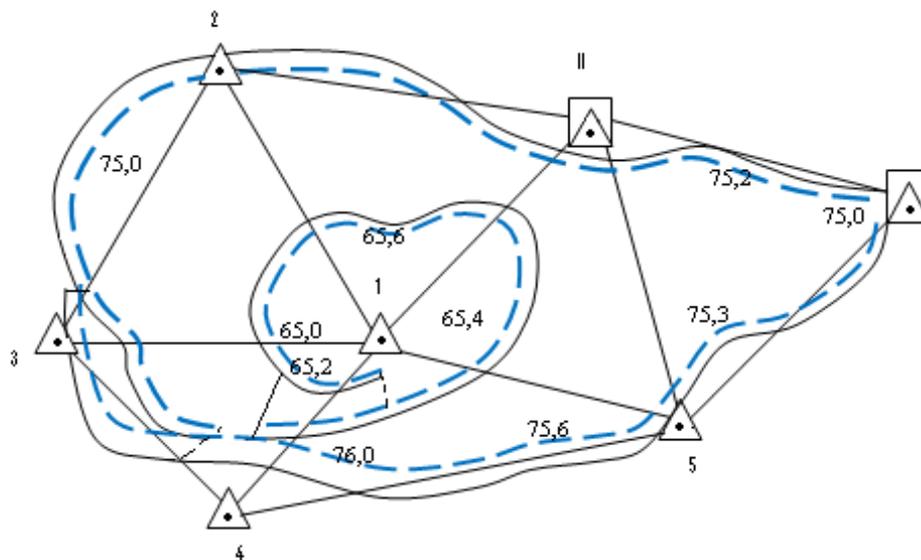


Fig. 2.4 Confección de la base para el levantamiento

Esta red se propone que se construya por los métodos de microtriangulación, intersecciones (directa o inversa) o con poligonales de enlace. Si el error angular en los triángulos es menor que el permisible, este se reparte proporcional a los ángulos medidos y finalmente se calculan las coordenadas de todos los puntos.

Es recomendable que los triángulos formen ángulos mayores de 30 grados y menores de 150 grados.

La base AB debe fijarse fuera de los límites del área a rehabilitar.

La longitud de los lados de los triángulos no debe superar 150m.

#### **Intersecciones directa e inversa.**

Se usan en terrenos muy accidentados, cuando no sea posible medir inmediatamente la distancia desde el punto marcado hasta los puntos de la base de coordenadas conocidas.

En las intersecciones directas se miden dos ángulos entre los lados de la base y las direcciones en el punto determinado. Se determinan las coordenadas dos veces y se toma el valor medio.

La diferencia entre dos determinaciones no debe superar 0.8%.



La distancia medida desde el punto determinado hasta los puntos de la base no debe superar 3Km en levantamiento a escala 1:5000 y 1.2Km en levantamientos a escala 1:2000.

En las intersecciones inversas los ángulos horizontales  $\alpha$  y  $\beta$  se miden desde 3 puntos de la red. No se debe realizar cuando los 4 puntos se encuentran en una misma circunferencia (fig. 2.2). Esto, en la práctica casi no ocurre.

El levantamiento topográfico de los suelos destruidos se realiza con el objetivo de obtener los materiales gráficos de partida para la confección del proyecto de rehabilitación. Se realiza por el principio de lo general a lo particular. Y luego se realiza el levantamiento de los detalles.

El levantamiento se debe realizar de forma tal que incluya el autocontrol, garantizando la ausencia de errores graves. Los objetos del levantamiento de rehabilitación son relieve de la superficie terrestre, contornos de la cantera, contornos naturales y artificiales, desagüe de los acuíferos, taludes de las escombreras y bordes de la cantera, comunicaciones superficiales y soterrados y edificios, canales y otros objetos que se deben considerar en la proyección de los trabajos de rehabilitación.

El levantamiento se realiza en las condiciones de relieve muy accidentado en el lugar de corte y relleno.

La escala del levantamiento se elige en dependencia de las dimensiones del área perteneciente al levantamiento. A veces el levantamiento se realiza a escala 1:1000 – 1:5000.

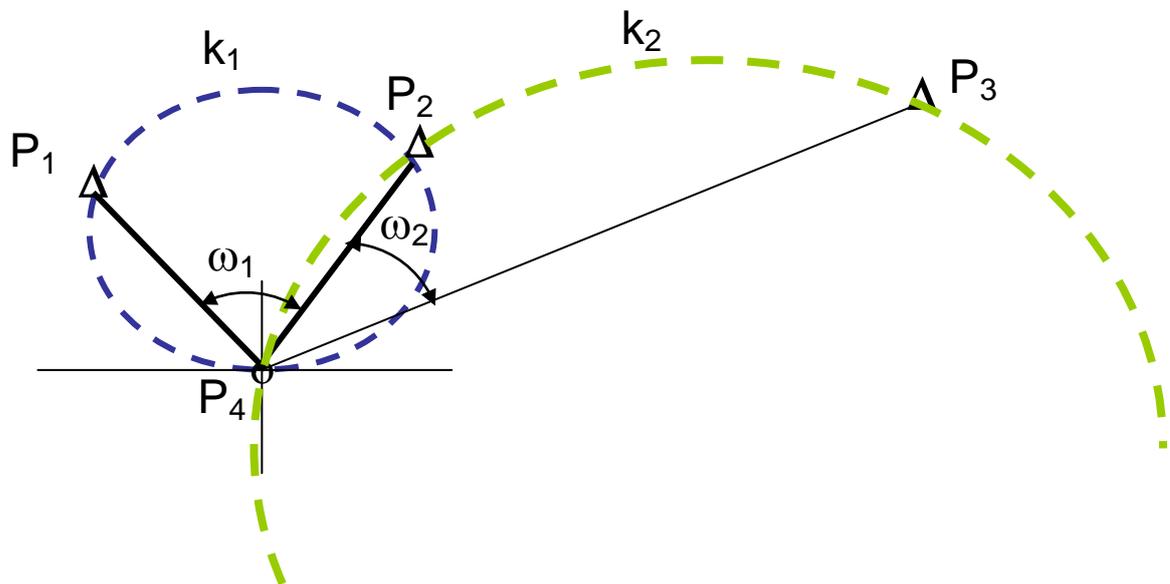


Fig. 2.2 Intersección inversa

### 2.3 CONSTRUCCIÓN DE POLIGONALES DE ENLACE

De acuerdo al tipo de unión con la red de los puntos ya conocidos, se proponen los siguientes tipos de poligonales, según el modo de orientación y enlace:

Poligonales abiertas orientadas en el punto inicial (Figura 2.3). En el punto final no hay control en las anotaciones topográficas dadas (no tiene comprobación). Estas poligonales tienen uso limitado.

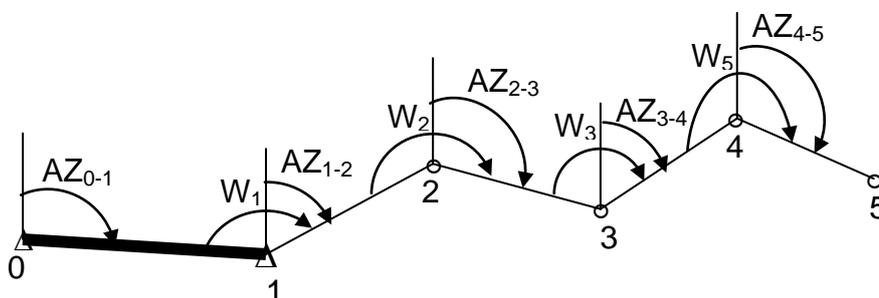


Figura. 2.3 Poligonal abierta.

Poligonales de enlace por dos puntos extremos de dos lados orientados.

Figura 2.4, las cuales se orientan midiendo.

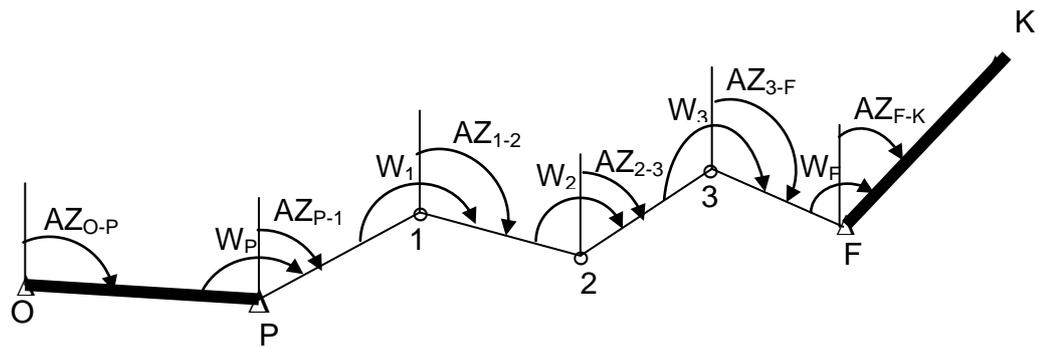


Figura. 2.4 Poligonal de enlace por dos puntos extremos de dos lados orientados.

Poligonales de enlace por dos puntos extremos de un lado orientado (Figura 2.5). Ellas son orientadas midiendo el ángulo en el punto inicial y terminan en un punto conocido determinado por las mediciones efectuadas anteriormente.

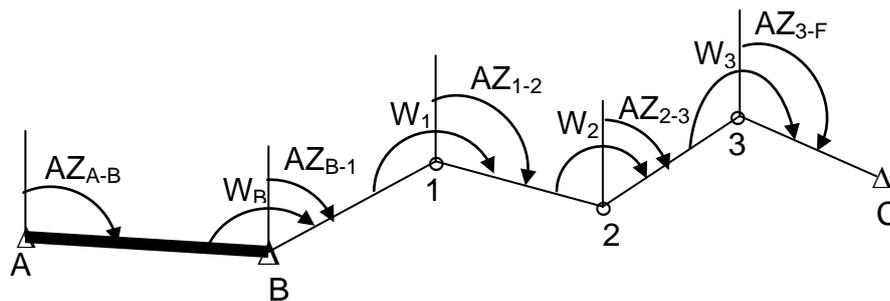


Figura. 2.5 Poligonal de enlace por dos puntos extremos de un lado orientado.

Poligonales de enlace por dos puntos extremos sin orientación (Figura 2.6). Ellas comienzan y terminan en puntos conocidos, sin que se ella medido el ángulo de orientación en los puntos inicial y final. Estas poligonales se orientan indirectamente, mediante cálculo.

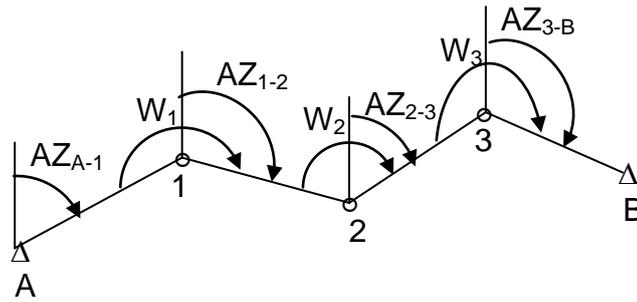


Figura 2.6 Poligonal de enlace por dos puntos extremos.

Poligonales cerradas de rodeo. Comienzan y terminan en el mismo punto (Figura 2.7). La poligonal cerrada de rodeo 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. Como estas poligonales comienzan y terminan en el mismo punto (de coordenadas conocidas) debe cumplirse en ella que:

$$\sum \Delta X = \sum \Delta Y = 0$$

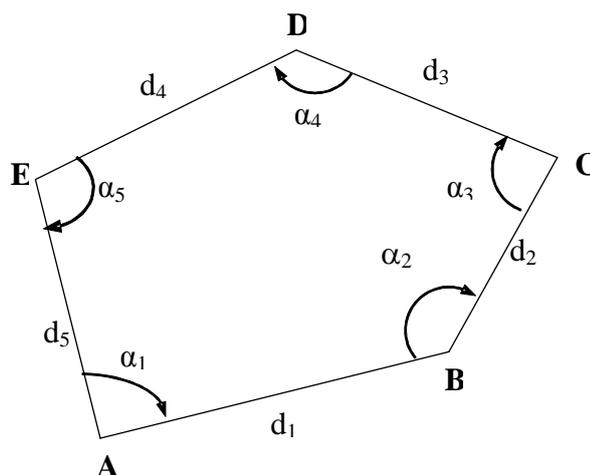


Figura 2.7 Poligonal cerrada de rodeo



## **Conclusiones Parciales**

- Podemos afirmar que con la automatización de la realización de los trabajos de rehabilitación logramos aumentar la calidad de los trabajos, reduciendo errores de cálculo de movimiento de tierra.
- Con la introducción de esta nueva tecnología en la Zona Niquelífera, se logra un gran desarrollo en la planificación, eficiencia con un resultado confiable en los diferentes trabajos de rehabilitación y resultados topográficos.



---

## CAPITULO III

### TRABAJOS TOPOGRÁFICOS MINEROS EN ÁREAS EN PROCESO DE REHABILITACIÓN

#### 3.1 NECESIDAD DE REALIZAR LOS TRABAJOS TOPOGRÁFICOS

El servicio topográfico de las empresas mineras replantea los elementos geométricos del proyecto, realiza el control de la formación de las superficies recultivadas, en la etapa de los trabajos de rehabilitación se lleva a cabo el levantamiento y se confeccionan los planos topográficos. En la Minería a Cielo Abierto la Topografía es uno de los elementos fundamentales de control debido a que es ella la que indica los diferentes estados de la geometría de la explotación minera y es una de las formas de conocer aproximadamente la calidad del material que se extrae y del que aún queda.

La red geodésica del yacimiento Punta Gorda es una red local amarrada al sistema geodésico nacional a partir de puntos de IV orden situados en el yacimiento. Desde los cuales se han efectuado poligonales de enlace para la colocación de los nuevos puntos de 1<sup>ra</sup> y 2<sup>da</sup> categoría que permiten el control de los trabajos mineros de rehabilitación. Con estos puntos se realizan los levantamientos de los fondos mineros, realizando enlaces trigonométricos entre dos o más puntos para determinar las coordenadas x, y, z de los nuevos puntos de poligonal que nos permiten detallar el relieve en la zona prevista a rehabilitar. El levantamiento se realiza a escala 1:500 con piquetes a una distancia de 20 a 25 m tomando detalles de los fondos con diferencias mayores a 30 cm, lo que en ocasiones por irregularidades del fondo es necesario disminuir la distancia de los piquetes para lograr el máximo de precisión en la conformación del relieve.



### 3.2 INFLUENCIA DE LAS PENDIENTES EN LA REHABILITACIÓN DE LOS SUELOS

Para conocer el comportamiento de la erosión, seleccionamos la escombrera OP-50, por ser una de las más representativas, dada su gran inclinación. El cálculo de la pendiente arroja el siguiente resultado:

$$P = \frac{Hb - Ha}{Dab} * 100 \quad (3.1)$$

$$P = \frac{126,97m - 103,16m}{40m} * 100$$

$$P = \frac{23,81m}{40m} * 100 = 59,52\%$$

Donde:

Ha – Altura del punto A;

Hb – Altura del punto B;

Dab – Distancia entre los puntos A y B.

#### 1. Análisis de la pérdida de suelos en el territorio

El análisis se hizo utilizando la ecuación universal de pérdida de suelos (Wischmeier y Smith, 1958). El resultado de la estimación de cada uno de los parámetros que intervienen en la ecuación se presenta a continuación:

$$A = R * K * L * S * C * \quad (3.2)$$

$$A = 0,425 * 0,37 * 9,13 * 1 * 1$$

$$A = 1,43 \text{ Kg /m}^2$$

$$A = 14,79903 \text{ t/ha}$$

Donde:

A – Pérdida de suelo.

R - Índice de erosión pluvial.

K – Índice de erosionabilidad del suelo.

M – Longitud de la pendiente.

S - Pendiente del talud.

C – Cubierta vegetal y uso del suelo.



P- Práctica de conservación del suelo.

## 2. Índice de erosión pluvial (R)

La falta de datos de pluviómetros para la estimación de la intensidad de las precipitaciones obliga a utilizar el índice de torrencialidad calculado por Icona – Intecsa (1988) que establece la correlación entre el índice de erosión pluvial (R) y el índice de agresividad del clima, de Fournier expresada por:

$$\frac{P^2}{p}, \quad (3.3)$$

Donde:

$P$  : Precipitación del mes más lluvioso;

$p$  : Precipitación media anual.

## 3. Índice de erosionabilidad del suelo (K)

Este factor varía entre 0,3 y 0,7 y depende de las propiedades del suelo, especialmente del contenido de materia orgánica, la textura, la estructura y la permeabilidad. Estos suelos son clasificados en seis clases según su tipo:

1. Ferralíticos (0,37)
2. Fersialíticos (0,44)
3. Pantanoso (0,46)
4. Ferrítico (0,50)
5. Aluviales (0,56)
6. Pardo (0,64)

## 4. Longitud (L) y pendiente(S) del talud

Estos dos factores suelen evaluarse conjuntamente como factor topográfico (LS). Ellos afectan la capacidad de la escorrentía para desprender y transportar los materiales de los suelos al aumentar la velocidad, por consiguiente, al potencial erosivo del agua. Estos se calculan por las siguientes fórmulas:

$$L * S = \left( \frac{\lambda}{2.1} \right)^{0.2} * \left( \frac{S}{9} \right)^{1.2}, \text{ Para } S > 9\% \quad (3.4)$$



$$L * S = \left( \frac{\lambda}{22.1} \right)^2 * (0,065 + 0.0454 * S^2), \text{ Para } S < 9\% \quad (3.5)$$

Para este trabajo se escoge la primera fórmula por tener pendientes mayores de  $9^\circ$ .

$$L * S = \left( \frac{97,23}{2.1} \right)^{0.2} * \left( \frac{30^\circ}{9} \right)^{1.2}$$

Para  $S = 9\%$ ,  $L * S = 9,13 \text{ m}$

### Longitud del tramo de pendiente:

$$\lambda = \frac{Lt}{\cos S} ; \lambda = \frac{84.20}{\cos 30} = 97.23$$

S - Pendiente

$\lambda$  - Longitud del tramo de pendiente

Lt - Longitud de la terraza

### 3.3 ANÁLISIS DE LOS FACTORES TOPOGRÁFICOS QUE INFLUYEN EN LA REHABILITACIÓN

La altitud, pendiente, exposición, orientación y formas del relieve son factores topográficos que ejercen una acción modificadora sobre los otros factores ambientales.

#### Los factores topográficos de influencia son:

- Condiciones del relieve: Pueden modificar los regímenes de vientos, precipitaciones, humedad edáfica y las temperaturas: barreras montañosas, valles y depresiones, variaciones altitudinales, etc.
- Exposición: Supone el incremento a la amortiguación de los factores climáticos según que la zona esté más o menos expuesta a ellos.



- Orientación: Es la posición de la zona respecto del norte geográfico. Modifica directamente la radiación y, a partir de ella, el resto de las características climáticas.
- Altitud: Actúa especialmente sobre la temperatura y la precipitación. La altitud provoca una disminución de la temperatura media de cerca de 1° C por cada 180 metros.
- Pendiente: Modifica las condiciones térmicas y de iluminación de la localidad.

El grado de pendiente determina además directamente el tipo de vegetación que va a ser capaz de desarrollarse en cada localidad. Cada especie tiene un límite máximo de pendiente por encima del cual no es capaz de arraigarse.

Otra acción importante de este factor es que el nivel de estabilidad del sustrato depende directamente de él. Los sustratos móviles, como escombreras y laderas muy pedregosas, son primero colonizados por comunidades pioneras, formadas por especies herbáceas especialmente adaptadas a este factor.

Solamente cuando estas comunidades han conseguido estabilizar el sustrato, comienzan a aparecer otras especies más exigentes.

Las grandes pendientes ocasionan fuertes pérdidas de agua por escorrentía que repercuten desfavorablemente en el establecimiento de la cubierta vegetal. Por otro lado, los suelos muy compactados son poco permeables (tienen un índice muy bajo de porosidad) y el agua tiende a escurrir por ellos.

La existencia de vegetación aumenta la capacidad de infiltración del suelo y le protege de los agentes erosivos. Pero las plantas no pueden acceder a todo el volumen de agua que se almacena en el suelo.

Solamente está disponible el agua capilar, que es el agua retenida por capilaridad en poros de pequeño tamaño. La cantidad existente de este tipo de agua depende de la textura, estructura y contenido en materia orgánica del suelo.

La *pendiente* es un factor de influencia local en la formación y desarrollo del suelo. En función de ella se producen cuatro fenómenos:



- En las cumbres y pendientes fuertes se produce un rejuvenecimiento constante del suelo, debido a la erosión, que tiene como consecuencia que el suelo de estas zonas tenga escasa profundidad y un perfil poco desarrollado.
- Se produce una migración constante de elementos solubles y coloidales a favor de la pendiente, con lo que las partes altas se empobrecen nutricionalmente y en las de pie de ladera se producen acumules de nutrientes.
- Tanto el agua de precipitación como el agua edáfica tiende a migrar por gravedad al pie de las laderas, con lo cual las zonas altas y de media ladera son estaciones más secas que las zonas llanas y de pie de ladera.
- En las depresiones se producen estancamientos de agua que son los responsables de la génesis de un tipo particular de suelo, los suelos hidromorfos.

La influencia de los factores topográficos en el clima tiene especial importancia, ya que las condiciones climáticas a que están sometidas las plantas no se corresponden exactamente con las que define el clima regional sino con las del *microclima*, y son los factores topográficos los principales creadores de condiciones microclimáticas particulares.

El microclima de una localidad es el resultado de la modificación más o menos profunda del clima local bajo la influencia de las condiciones ecológicas propias de ese punto.

Aquí se considera aisladamente el papel de la topografía en la definición del microclima, ahora bien, los caracteres microclimáticos dependen de la acción combinada de topografía, suelo y vegetación.

### **Tratamientos especiales de los talúdes en la preparación del terreno**

La topografía final que presenta la superficie después de haberse efectuado la explotación minera influirá en gran manera en el éxito del establecimiento de la vegetación.



Dicha topografía debe cumplir dos objetivos principales que son el integrarse armoniosamente en el paisaje natural circundante y el facilitar el drenaje natural del agua superficial.

Se puede hacer una distinción entre dos tipos de topografía que van a determinar el tratamiento a seguir en cada caso, para preparar un sustrato capaz de soportar la revegetación:

- Áreas llanas y talúdes suaves.
- Talúdes de fuertes pendientes.

### **3.3. 1. Áreas llanas y talúdes suaves**

Aquí están comprendidas todas las superficies llanas y aquellas que poseen pendientes inferiores a 20%.

Como anteriormente se ha dicho, para una correcta evacuación del agua, la pendiente ha de ser superior a 1:10 (5° ó 6°), cuando ésta sea inferior será aconsejable crear lomas o pequeñas colinas con esta inclinación.

En este tipo de topografía las labores de preparación del terreno consistirán en las enunciadas anteriormente: eliminación de elementos gruesos más destacables, refino o escarificado del terreno, cuando este lo necesite y según el tipo de suelo, hasta obtener una superficie fina y nivelada e incorporación de las enmiendas edáficas que sean necesarias. El acceso de la maquinaria a estas topografías no presenta dificultad.

### **Talúdes escarpados o con fuertes pendientes**

Muchas de las escombreras resultantes de la minería y terraplenes de caminos de acceso y, por supuesto, los propios frentes de explotación, presentan talúdes superiores a 20°, que van a dificultar los trabajos de adecuación del terreno para acoger una determinada vegetación.

En este tipo de talúdes puede ser necesario adoptar medidas estructurales de corrección o de protección del talud (antes de proceder a la descompactación, o al aporte de materia orgánica, etc.) para vencer los problemas de erosión o inestabilidad que, normalmente, presentan y que hacen técnicamente inviable la implantación de la vegetación.

### 3.3.2 Arranque de la capa útil de suelo (capa vegetal) después de realizados los trabajos topográficos

Un factor de gran importancia en los resultados de cualquier proceso de rehabilitación de terrenos en las minas a cielo abierto, es el retirar adecuadamente y conservar la capa vegetal de suelo, en terrenos que vaya a ser afectados por la actividad minera (en general por cualquier actividad).

Cuando el área de donde se toma la capa vegetal quede lejos del lugar en donde ella se vaya a utilizar o guardar se emplean traíllas, camiones y otros tipos de transporte. Existen algunos criterios que plantean que las traíllas pueden ser útiles hasta distancias de transportación de 2 Km y los camiones hasta 10 Km.

Después de realizado los trabajos de levantamiento topográfico, en base a los puntos más cercanos al área a rehabilitar, se crea el Modelo Digital del Terreno, donde quedarían creadas las condiciones para el arranque de la capa vegetal.

Como ejemplo de lo planteado se analizan dos situaciones:

**Primer caso:** se retira la capa de suelo útil en sectores inclinados del frente (ver figura3.1).

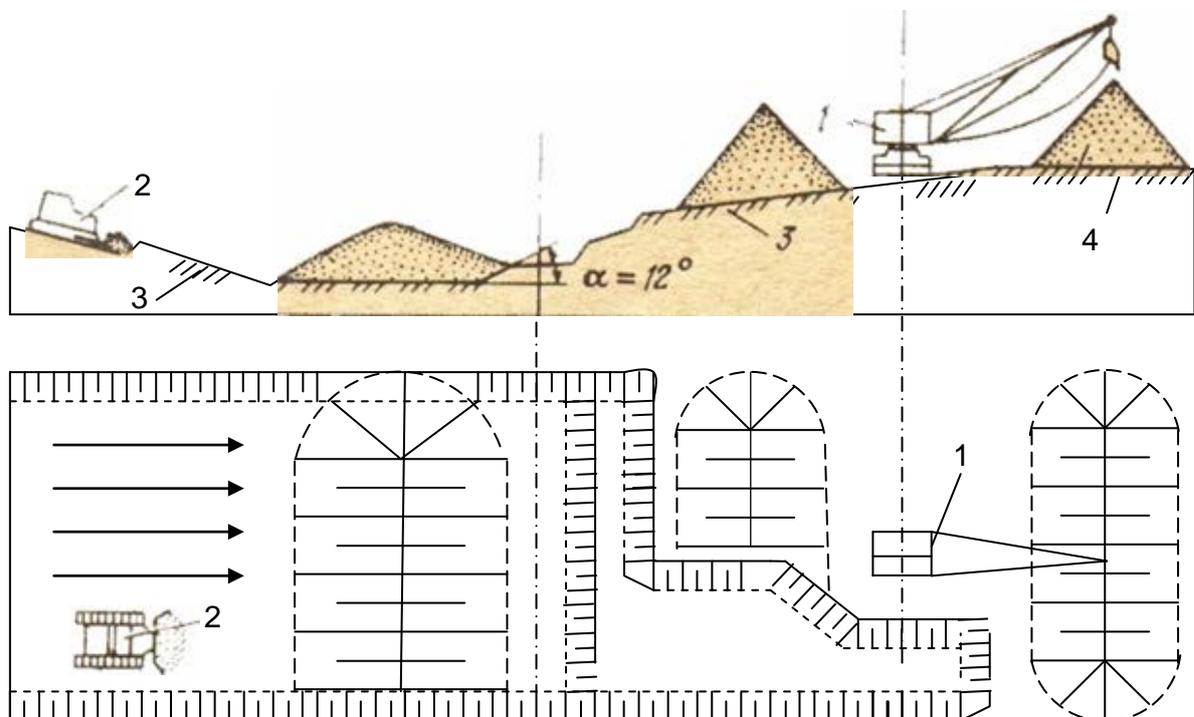


Fig. 3.1 Propuesta de método de retiro de la cubierta vegetal con el empleo de dragalina y buldócer en superficie inclinada.

1. Dragalina; 2. Buldócer; 3. Capa vegetal; 4. Depósitos de suelo



Como se ve en la figura con el buldózer se va a arrancando la capa útil del terreno (indicada con el número 3 en la figura) y se va entongando, para su posterior colocación con el empleo de una dragalina (excavadora) en el depósito. Aquí se debe ir trabajando paralelamente en el frente de minas.

**Segundo caso:** en muchos casos para la carga (total o parcial) de la capa útil de terreno se recomienda el equipamiento básico que se utiliza en la mina para los trabajos de acarreo y carga con la posible combinación con algún mecanismo auxiliar.

### 3.4 APLANAMIENTO VERTICAL DE LAS ESCOMBRERAS

La exactitud del proyecto de aplanamiento vertical depende de la exactitud de la representación del relieve.

La proyección del aplanamiento vertical de superficies complejas debe realizarse por el método de los perfiles.

La proyección del aplanamiento vertical de las escombreras se realiza de la siguiente manera:

- Cada 25 - 30 m se realizan perfiles transversales en los límites de área de aplanamiento en las cuales se muestran las particularidades del relieve;
- Realizar de 3-4 perfiles longitudinales perpendiculares a los perfiles transversales. Realizar el amarre de la superficie proyectada y determinar las pendientes en dirección perpendicular a los perfiles transversales.
- En los perfiles transversales se hacen las primeras marcas de la superficie proyectada, trazando a lápiz líneas donde se indiquen las pendientes permisibles y el balance cero del movimiento de tierra, tanto en corte como en relleno;
- En los perfiles longitudinales desde los puntos transversales se marcan los datos de proyecto.
- Se unen consecutivamente los puntos marcados por una recta, se obtiene el perfil del proyecto por el buzamiento.



- Si en el perfil existieran áreas con ángulos de inclinación grandes de la futura superficie del fondo, entonces se hacen las correspondientes correcciones en los puntos transversales y luego se vuelve de nuevo al perfil longitudinal.

Los resultados finales de la proyección se fijan en los perfiles (longitudinal y transversal) con tinta negra, las cotas de proyecto de los perfiles se representan en el plano y se construye la superficie de proyecto en forma de MDT.

Cuando se planifican grandes áreas, para el aplanamiento y el cálculo de volumen se debe realizar el diagrama de masa de movimiento de tierra (fig. 3.3).

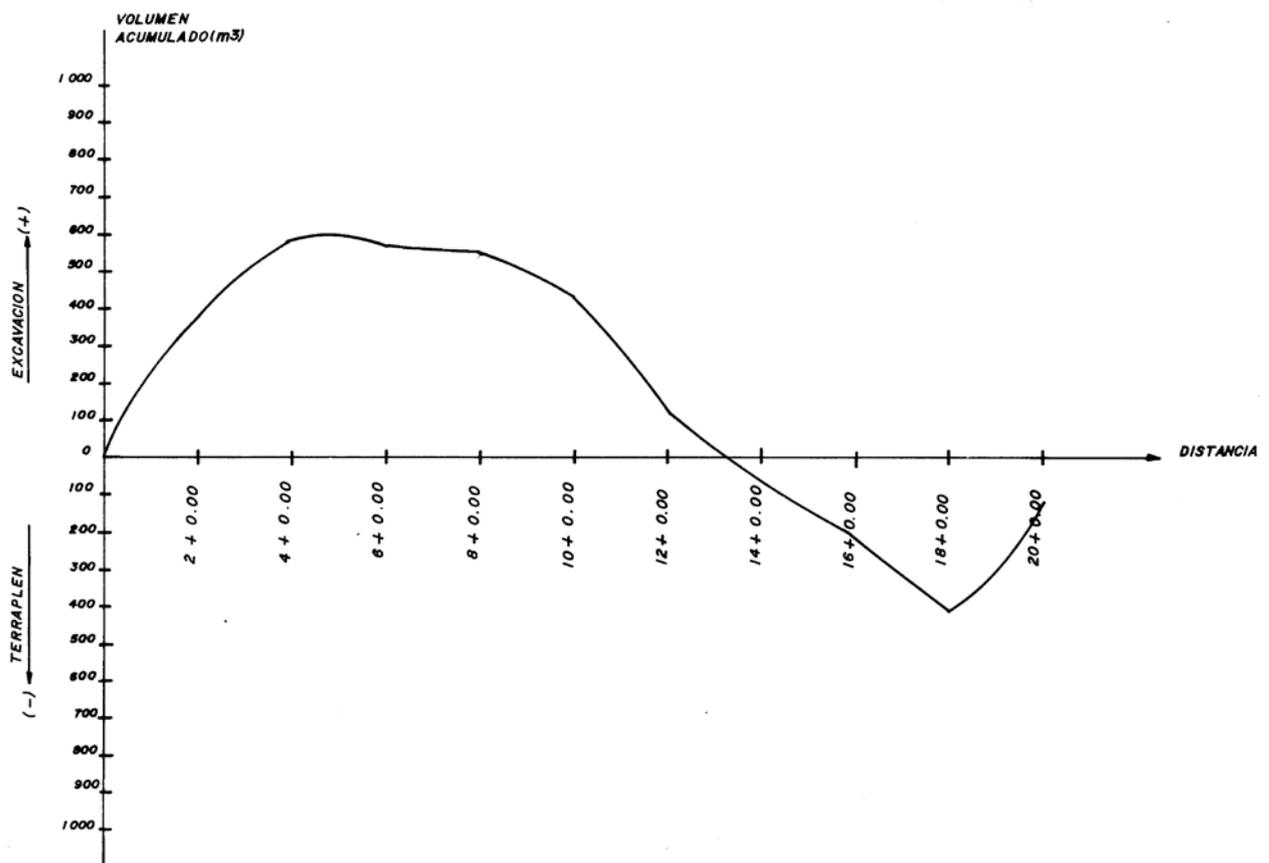


Fig. 3.3 Diagrama de masa

En el diagrama de masa se lleva a cabo el cálculo de volumen donde se señala el volumen de corte y relleno. Al final se pone la suma total de volumen de corte y de relleno multiplicado por el coeficiente de esponjamiento de las rocas mineras. Se compara el volumen total de corte y de relleno. Cuando el volumen de corte y de



relleno supera el 5-10%, se carga la roca en camiones al sector inferior o se disminuye el nivel de la superficie de proyecto por el eje de la plazoleta o por separado del sector de trabajo a una magnitud  $\Delta h'$

$$\Delta h' = \frac{\sum V_C - \sum V_R}{S} = \frac{1344 - 1025}{40} = 7.97 \quad (3.7)$$

Donde:

$V_C$  y  $V_R$  - volumen de corte y de relleno,  $m^3$

$S$  – área total,  $m^2$

Igualmente se calcula el coeficiente de aplanamiento del terreno, es decir, el volumen de movimiento de tierra:

$$K_P = \frac{V}{S_P} = \frac{2369}{3500} = 0.68 \quad (3.8)$$

Donde:

$V$ - volumen de tierra,  $m^3$

$S_P$  – área del sector a rehabilitar,  $m^2$

Si  $K_P < 1$ , el movimiento de tierra, como regla se debe realizar con buldócer.

Si  $K_P > 1$ , el movimiento de tierra, se debe realizar con excavadora.

Como  $K_P < 1$ , el movimiento de tierra, se propone que se realice con buldócer.

Durante la rehabilitación de terrenos alargados, realizados por el método de los perfiles, el movimiento de tierra se calcula por el método de las secciones verticales. Las escalas horizontal y vertical deben ser iguales, para poder simplificar los cálculos.

En el caso de que los perfiles tengan diferentes escalas, entonces el área se recalcula por la siguiente fórmula:

$$S = fM_h M_v \quad (3.9)$$

Donde:

$S$  – área real,  $m^2$



$f$  – área medida en el perfil transversal,  $m^2$

$M_h$  y  $M_v$  – denominador de las escalas horizontal y vertical.

### 3.4.1 Fórmulas utilizadas para el cálculo de volumen por el método manual:

- **Método de la media de las áreas extremas.**

Este método conocido también como fórmula estándar del movimiento de tierras, calcula el volumen del prismoide multiplicando el área de la sección media de las áreas extremas por la distancia que existe entre ellas.

$$V = \left(\frac{A_1 + A_2}{2}\right).d \quad \dots(2) \quad (3.10)$$

Donde:

$A_1$  y  $A_2$ : Áreas de las secciones transversales extremas; ( $m^2$ )

$d$  : Distancia entre las dos secciones transversales extremas;(m)

$V$  : Volumen de tierras entre las dos secciones transversales extremas;(m<sup>3</sup>)

La limitación que presenta este método es que ambas secciones transversales extremas deben estar en desmonte o terraplén.

- **Método del prismoide**

Un prismoide es un sólido cuya superficies extremas son paralelas y los lados son superficies planas o alabeadas.

El volumen del prismoide viene dado por la expresión:

$$V = \left(\frac{A_1 + 4A_m + A_2}{6}\right).d \quad (3.11)$$

Donde:

$A_1$  y  $A_2$ : Áreas de las secciones transversales extremas;  $m^2$ .

$d$ : Distancia entre las secciones transversales extremas; m.

$A_m$ : Sección media entre las secciones transversales extremas;  $m^2$ .

La sección  $A_m$  no es la media aritmética entre  $A_1$  y  $A_2$ , sino que es una sección a media distancia entre las dos bases extremas y paralela a ellas; por lo tanto, es necesario medirla para conocer su magnitud lo cual representa una desventaja, ya que aumenta el número de secciones transversales a determinar.

Al igual que el método anterior, para poder utilizar este método es necesario que  $A_1$ ,  $A_2$  y  $A_m$  estén en excavación o terraplén.

- **Método de volúmenes mixtos**

Este método permite resolver cualquier tipo de situación, independientemente de la forma que adopten las secciones transversales, por lo que debe ser el de mayor utilización.

Para su comprensión mostramos la figura 3.4 donde se representa en isométrico dos secciones transversales continuas una en terraplén y la otra en excavación y a partir de esa figura se determinan las expresiones que permiten calcular los volúmenes de terraplén y excavación.

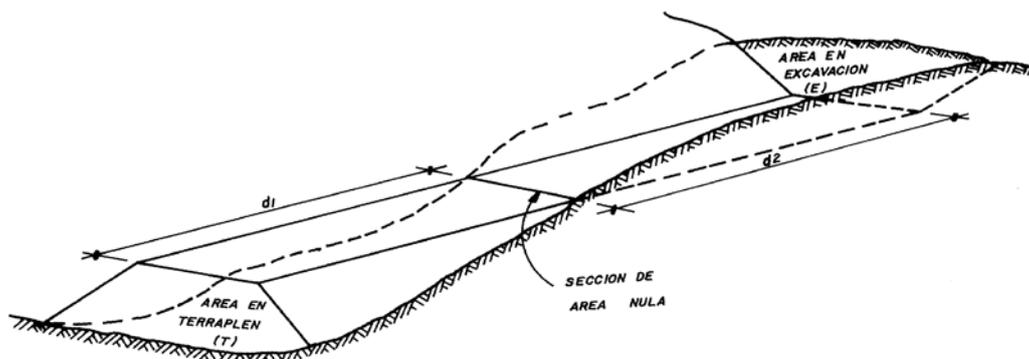


Fig. 3.4 Secciones transversales continuas en terraplén y en excavación

Si se realiza una representación esquemática de la figura 3.4 obtenemos la (figura 3.5).

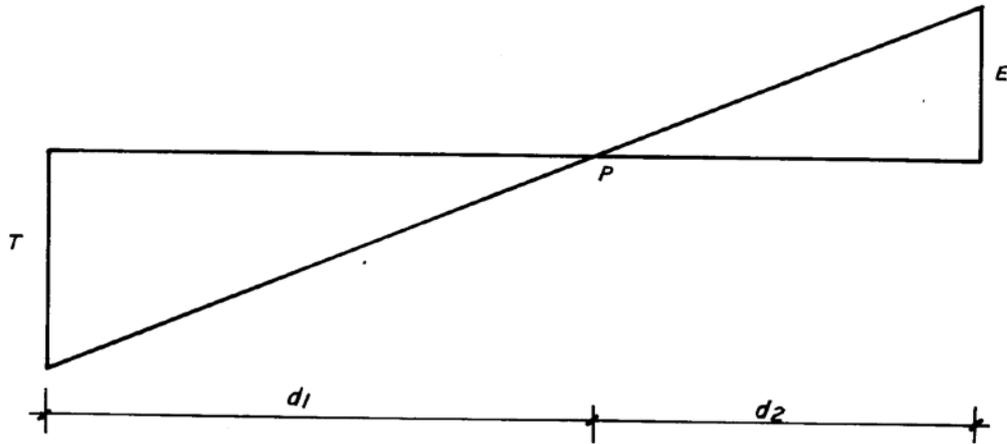


Fig. 3.5 representación esquemática de la figura 3.4

Donde:

$d_1$  y  $d_2$ : Distancias parciales desde las secciones extremas a la sección de área nula; m.

T y E: Áreas en terraplén y excavación respectivamente;  $m^2$ .

Por lo que podemos plantear que:

$$\frac{d_1}{d_2} = \frac{T}{E}$$

$$d_1 = \frac{T}{E} \cdot d_2 \dots (3.12)$$

pero:

$$d_1 + d_2 = d$$

por lo que:

$$d_2 = d - d_1 \dots (3.13)$$

Sustituyendo 7.13 en 7.12 y despejando  $d_1$  tenemos:

$$d_1 = \left( \frac{T}{E} \right) (d - d_1)$$

$$d_1 = \left( \frac{d.T}{E} \right) - \left( \frac{d_1.T}{E} \right)$$



$$d_1 = \frac{\frac{dT}{E}}{\left(1 + \frac{T}{E}\right)}$$

$$d_1 = \left(\frac{T}{T + E}\right) \cdot d \dots\dots\dots(3.14)$$

de forma análoga:

$$d_2 = \left(\frac{E}{E + T}\right) \cdot d \dots\dots\dots(3.15)$$

Por medio de las expresiones (3.14) y (3,15) se pueden calcular las distancias  $d_1$  y  $d_2$  a la sección de área nula sin necesidad de medirlas sobre el terreno, lo que representa una ventaja del método.

Aplicando la fórmula de la media de las áreas extremas entre las secciones en excavación y terraplén y la sección de área nula se obtiene.

$$VT = \left(\frac{T + 0}{2}\right) \cdot d_1$$

$$VT = \left(\frac{T}{2}\right) \cdot d_1 \dots\dots\dots(3.16)$$

y

$$VE = \left(\frac{E + 0}{2}\right) \cdot d_2$$

$$VE = \left(\frac{E}{2}\right) \cdot d_2 \dots\dots\dots(7.17)$$

Si se sustituye en las expresiones (3.16) y (3.17),  $d_1$  y  $d_2$  por su valor tenemos:

$$VT = \left(\frac{T^2}{T + E}\right) \cdot \frac{d}{2} \dots\dots\dots (7.18)$$

$$VE = \left(\frac{E^2}{E + T}\right) \cdot \frac{d}{2} \dots\dots\dots(7.19)$$



Con las expresiones (3.18) y (3.19) se puede resolver cualquier caso que se presente entre secciones transversales consecutivas.

Por ejemplo para hallar el volumen de excavación y el volumen de terraplén entre las secciones transversales mostradas en la figura 3.6 se procede como sigue:

- 1- Se trazan rectas paralelas al eje de la vía, en todos los puntos de la sección transversal donde la vía intercepte al terreno.
- 2- Se determinan las áreas en excavación y terraplén, o ambas, entre dichas rectas.
- 3- Se aplica la fórmula de la media de las áreas extremas si ambas áreas correspondientes están en excavación o en terraplén; y la expresión de volúmenes mixtos si las áreas son distintas, es decir si una esta en terraplén y la otra en excavación o viceversa.

De la figura anterior tenemos que:

$$E_g = E_b + E_c$$

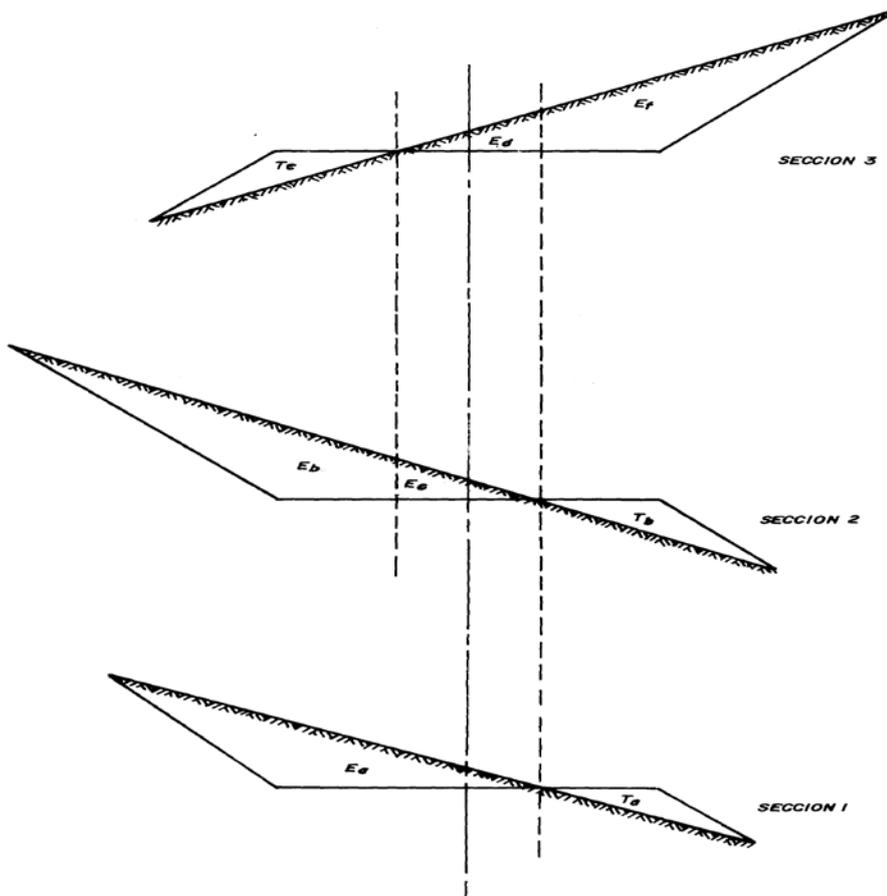


Fig. 3.6 Secciones transversales en corte y relleno de una escombrera

Por lo que:

$$VE_{(1-2)} = \left( \frac{E_a + E_g}{2} \right) \cdot d$$

y:

$$VT_{(1-2)} = \left( \frac{T_a + T_b}{2} \right) \cdot d$$

Que son los volúmenes de excavación y terraplén entre la sección 1 y la sección 2.

Y

$$VE_{(2-3)} = \left( \frac{E_b^2}{E_b + T_c} \right) \cdot \frac{d}{2} + \left( \frac{E_c + E_d}{2} \right) d + \left( \frac{E_f^2}{E_f + T_b} \right) \frac{d}{2}$$



$$VT_{(2-3)} = \left( \frac{T_c^2}{E_c + T_b} \right) \frac{d}{2} + \left( \frac{T_b}{E_f + T_b} \right) \frac{d}{2}$$

Que son los volúmenes de excavación y terraplén entre la sección 2 y la sección 3.

### 3.4.2 Formación de terraza

La terraza se forma en una plataforma horizontal o inclinada hasta  $30^\circ$ .

Los parámetros del talud terracedo los forman: ángulo de lavado, área y altura de la terraza y distancia entre terraza.

El proyecto de la terraza se realiza a escala 1:1000 con inclinación del talud hasta  $30^\circ$  y 1:500 cuando la inclinación del talud supere los  $30^\circ$ .

En el proceso de proyección se determina la altura de la terraza (distancia vertical entre terrazas), número y ancho de la plataforma de la terraza, lugar de desagüe, los caminos que garantizarán el transporte entre terrazas y otras obras necesarias para realizar la rehabilitación.

La plataforma de la terraza se proyecta en el plano horizontal. La distancia vertical entre plataformas de las terrazas se escoge en relación al cierre y se calcula:

$$h = (l_1 - 2a) \tan \gamma = (10 - 3) 0.57 = 3.99 \text{ m} \quad (3.20)$$

Donde:

$h$  – distancia vertical entre terrazas, m;

$l_1 = 10 - 12 \text{ m}$  – distancia entre árboles que garantizan la analogía de su corona;

$\gamma$  - ángulo de estabilidad del talud, grados.

$a = 1.5 \text{ m}$  – distancia del vivero desde el borde superior al inferior.

La cantidad de escalones durante el terraceo se calcula:

$$n = \frac{H}{h} = \frac{16.35}{4} = 4 \quad (3.21)$$

Donde:

$H$ - altura de la escombrera, m;



$h$ - altura del escalón del terracedo, m.

$n$  debe dar un número redondo.

Conociendo los valores de  $H$ ,  $h$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ , el ancho de la terraza  $b = L + 2a$ , se puede, por el método gráfico, determinar el ángulo resultante del talud conformado  $\alpha$  que incluye  $n-1$  terrazas. Entonces  $B = H \cot \alpha$

A veces se conoce el ángulo de proyecto  $\alpha$ . Este ángulo debe satisfacer la condición de estabilidad del talud (tanto de la terraza como del talud de la escombrera) y además, debe corresponder a las exigencias de las pendientes de rehabilitación. Con este ángulo se puede calcular el ancho medio de la terraza por la pendiente:

$$b = \frac{[B - (l_1 - 2a)n]}{(n-1)} = \frac{44.5 - (10 - 3)4}{3} = \frac{16.5}{3} = 5.5m$$

(3.22)

En correspondencia con los parámetros obtenidos se puede construir el perfil del proyecto.

Durante la construcción del perfil del proyecto se debe considerar que la prevención de la erosión de la terraza se debe tener una inclinación transversal de  $1-2^\circ$  hacia el lado de conformación de la terraza (hacia el lado de la escombrera).

El replanteo de la altura de la plataforma de la terraza se debe realizar con Estaciones Totales. El replanteo consiste en llevar al terreno los bordes superior e inferior. Para esto, en la plataforma superior nivelada de la escombrera se crea una red de levantamiento y se hacen los primeros replanteos.

Después de construida la plataforma horizontal de la primera terraza, se traza sobre ella una poligonal cerrada.

### 3.4.3 Inclinación del talud de los suelos minados.

Se propone la disminución de la inclinación del talud de las escombreras para poder crear las condiciones necesarias para el crecimiento de las plantas y minimizar la erosión del talud. La disminución de la inclinación del talud de las escombreras puede realizarse por dos métodos: De arriba hacia abajo (calderilla) y de abajo hacia arriba (realce) (Fig. 3.7).

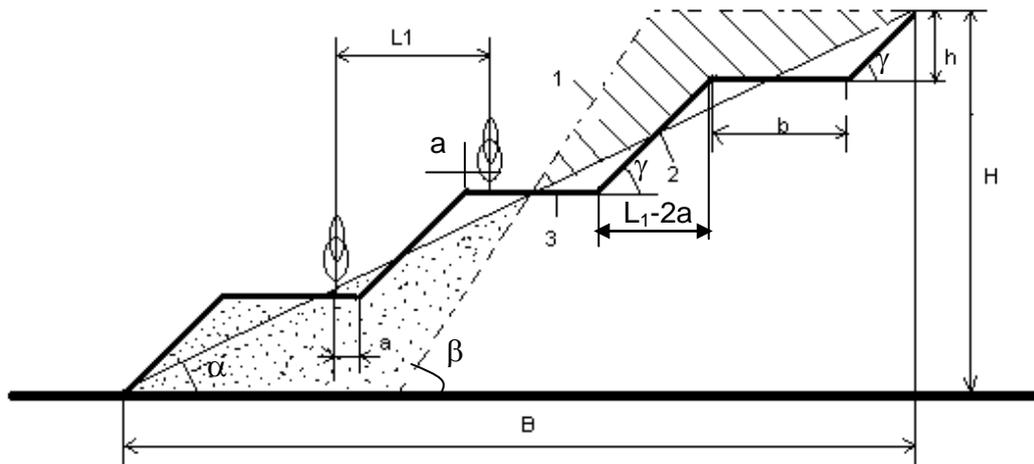


Figura 3.7 Esquema de disminución de la inclinación del talud de las escombreras: 1- talud de la escombrera, 2- talud de la escombrera terrazada, 3- plataforma de la terraza.

La figura 3.7 muestra el esquema de disminución de la inclinación del talud de las escombreras con los elementos fundamentales siguientes:

1. Talud de la escombrera.
2. Talud de la terraza.
3. Plataforma de la terraza.
4.  $h$ - Distancia vertical entre las terrazas.
5.  $L_1$ - Distancia entre los árboles.
6.  $b$ - Ancho de la terraza.
7.  $\alpha$ -Ángulo del talud disminuido.
9.  $\delta$ - ángulo de estabilidad del talud de la terraza.

En los anexos 1 y 2 se presenta una foto antes y después de los trabajos de rehabilitación, utilizando el esquema de disminución de la inclinación del talud propuesto ( $10-20^\circ$  más pequeño que el ángulo de reposo natural).



---

## 3.5 CÁLCULO AUTOMATIZADO DE MOVIMIENTO DE TIERRA

### 3.5.1 Levantamiento topográfico

Una vez determinadas las coordenadas de los puntos de apoyo, se realizó el levantamiento topográfico a escala 1:500 con el objetivo de representar el plano de las escombreras y determinar el movimiento de tierra. Las mediciones topográficas se realizaron por la empresa de proyectos (CEPRONIQUEL) el último día del mes, a la solicitud de la empresa Ernesto Che Guevara, confeccionada la tarea técnica en conjunto con el cliente y el centro de proyectos se orientó por parte del departamento de topografía realizar los levantamientos de los contornos planímetros y altimétricos existentes en la escombrera en el que se reflejaron todos los cortes de pala, talud, vaguadas, cambio de relieve, etc. Las mediciones se realizaron entre 10 y 15 metros.

### Instrumentos empleados

Los instrumentos utilizados en el levantamiento topográfico a escala 1:500, fueron:

- Estación total sokkia Set 3010 # 25249
- Bastones de dos metros
- Reflectantes de constante 0,30
- Trípode de madera
- Cinta de cinco metros
- 3 Radios de comunicación portátil (Kenwood)

### Importación de la base de datos

Una vez realizada las mediciones topográficas en el terreno la comisión topográfica realiza en el trabajo de gabinete la importación de las mediciones vía cable mediante el software CarlsonXPort.

### 3.5.2 Descripción del proceso de descarga con el software CarlsonXPort

Este programa lee o crea un archivo bruto (.RW5) que contiene líneas de datos (registros) que podrían compararse con el cuaderno de campo de un topógrafo. Puede especificar coordenadas de puntos, información del trabajo y notas, así como los ángulos y distancias que forman los registros de trazados



poligonales o proyecciones laterales. Una vez creados o leídos los datos brutos, pueden procesarse o reducirse a las coordenadas que se almacenan en el archivo de coordenadas activo (archivo CRD).

## 1. Transferencia de datos

En el menú de herramientas hacemos clic en la barra transferencia de datos y seleccionamos el tipo de estación total del que realizaremos la transferencia de los datos. (Ver fig. 3.8)

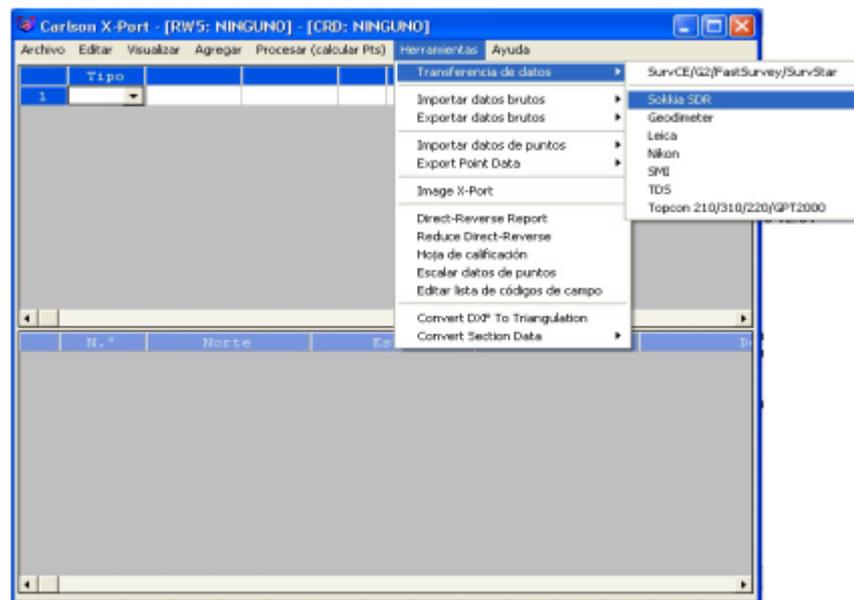


Fig. 3.8 Ventana de software Carlson X Port

Este comando se aplica al Sokkia SDR-20, SDR-22, SDR-31 y SDR-33, así como a otros colectores que emplean el formato de transferencia SDR, tales como Trimble y C & G.

Una vez que entramos en Colectores de datos, verificamos que el puerto COM y la velocidad de transmisión son los correctos. Hacemos clic en el botón Descargar (Ver fig. 3.9) al cabo de 10 segundos, volvemos al SDR y pulsamos OK. Debería iniciarse la transferencia del archivo.

El formato SDR contiene tanto coordenadas como datos brutos. Los datos de coordenadas se convierten a un archivo CRD, mientras que los datos brutos se convierten a un archivo RW5. El archivo SDR original transferido se almacena en el ordenador como un archivo SDR. Al acabar la transferencia, el

programa pide el archivo de coordenadas, a menos que se haya indicado un nombre de archivo en el cuadro de diálogo.



Fig. 3.9 Ventana de colección de datos

## 2. Importar datos de puntos

Archivo de texto/ASCII: La ventana Importar datos de puntos permite convertir datos de puntos de un archivo de texto ASCII al archivo de coordenadas activo (.CRD).

Todas las líneas del archivo de texto pueden contener cualquier combinación de número de punto, valor al norte, valor al este, elevación y descripción. Toda la información de un punto debe estar en una misma línea, con los valores separados por una coma, un espacio u otro delimitador.

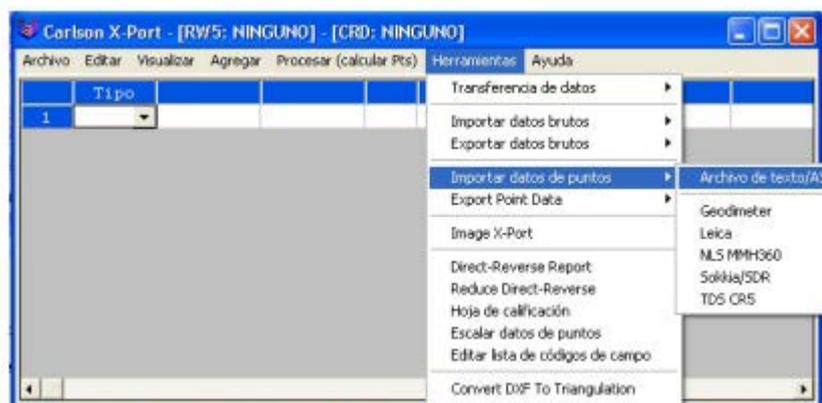


Fig. 3.10 Ventana de acceso a la importación de datos

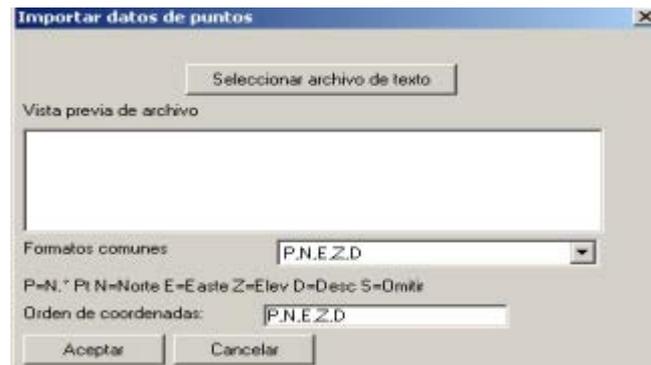


Fig. 3.11 Ventana de importación de puntos

Seleccionar archivo de texto: Se seleccionó un archivo de texto para leer como archivo de coordenadas. El archivo seleccionado se muestra en la ventana de Vista previa para ayudar a rellenar el Orden de coordenadas.

Formatos comunes: Se trata de una lista de formatos comunes. Se escoge el formato que se ajuste al archivo ASCII que está importando.

Orden de coordenadas: El formato del archivo de texto se indica aquí en el campo Orden de coordenadas, donde los identificadores de valores se enumeran separados por delimitadores adecuados.

Pulsamos Aceptar para iniciar el proceso de importación. (Ver fig. 3.11)

### 3. Exportar datos de puntos

Texto/ASCII: La ventana Exportar archivo de texto/ASCII permite convertir datos de puntos del archivo de coordenadas activo a un archivo de texto ASCII. (Ver fig.3.12).

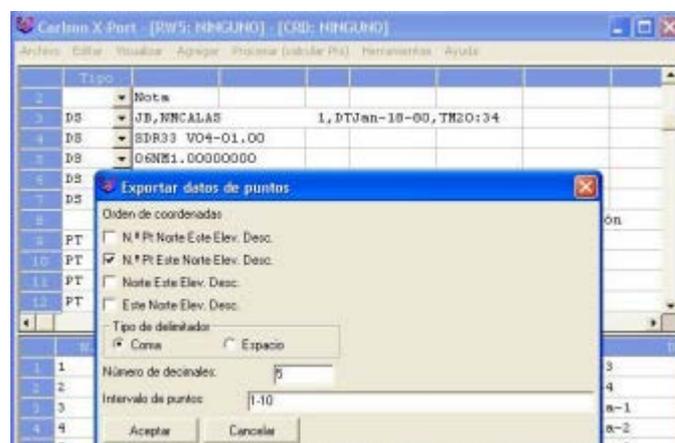


Fig. 3.12 Ventana de importación de puntos



Orden de coordenadas: se seleccionó el tipo de archivo que desea grabar. Podemos escoger entre diversas variaciones de número de punto, valor al norte, valor al este, elevación y descripciones.

Tipo de delimitador: Se escoge el tipo de delimitador, coma o espacio.

Número de decimales: Indicamos la precisión de las coordenadas exportadas.

Intervalo de puntos: Indicamos el intervalo de números de punto que desea exportar.

Una vez introducidos los parámetros, pulsamos Aceptar, y obtenemos un cuadro de diálogo de archivo estándar donde debe indicar el nombre del archivo exportado. (Ver fig.3.13)



Fig. 3.13 Ventana de confirmación

### 3.5.3 Creación del Modelo digital del terreno para el movimiento de tierra mediante los softwares

Para el cálculo de volumen primero debemos determinar el modelo digital del terreno, para esto se revisaron anteriormente que la base de datos topográficos del que se va a realizar la importación de puntos esté bien organizada en filas y en columnas antes de realizar la importación. Esto nos facilita que al realizar la importación del fichero al software no emita errores.

### 3.5.4 Metodología para el cálculo de volumen mediante el software Cartomap6

#### Creación de un proyecto

Se entiende por proyecto el conjunto de diseños, planos y cálculos, plantas, alzados, perspectivas, etc., que determinan todo lo necesario para la ejecución de una obra.

En CARTOMAP se agrupó todos los datos relativos a un proyecto en un único archivo a partir del cual podemos obtener cualquier salida gráfica o listado que necesitemos y en diferentes formatos.

La procedencia de los datos de partida de un proyecto puede ser muy variada por lo que CARTOMAP admite datos de distintos orígenes; un trabajo puede apoyarse en datos procedentes de una única fuente o bien combinar datos de distintas procedencias en un único archivo. Así, por ejemplo, se puede trabajar a partir de datos procedentes de topografía clásica o bien combinar estos con otros procedentes de restitución fotogramétrica.

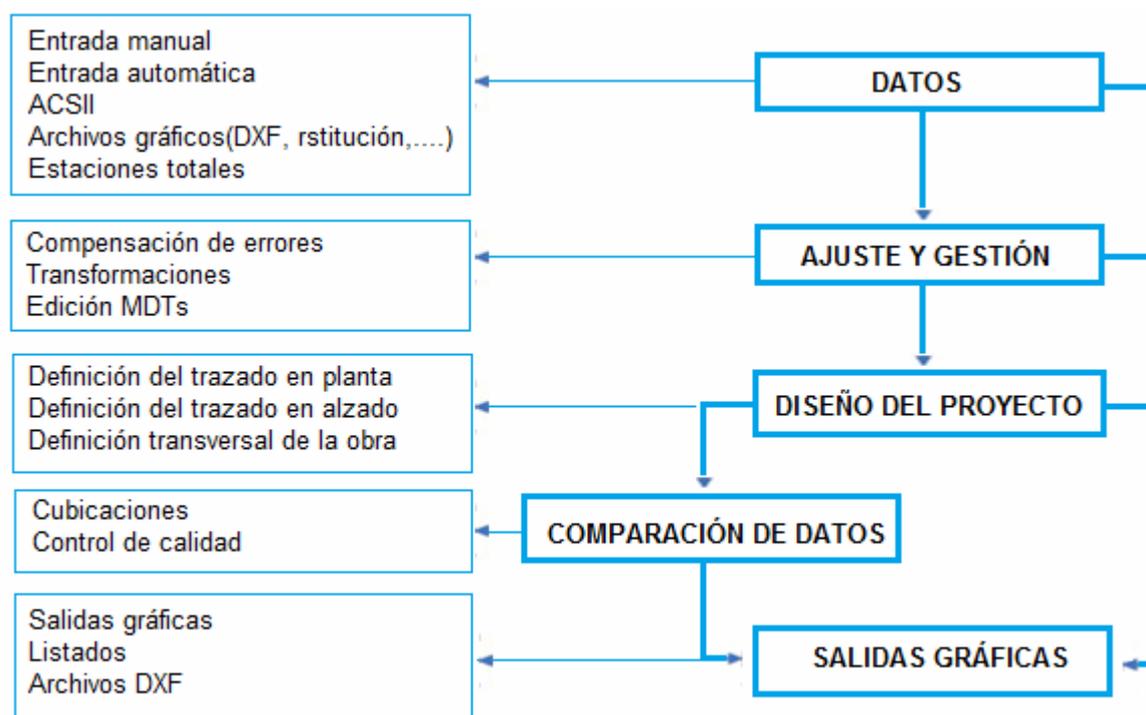


Fig.3.14 Proceso del trabajo con el Cartomap

### Pasos para la creación del proyecto

Edición- Proyecto:

Esta opción nos permite introducir en cada archivo de CARTOMAP una breve descripción de su contenido, la fecha de creación y el autor. Asimismo, a lo largo del trabajo podemos ir introduciendo comentarios de los procesos realizados, firmados por cada uno de sus creadores.

Al seleccionar esta opción, se abre la ventana Cabecera de proyecto, (Ver fig. 2.18)

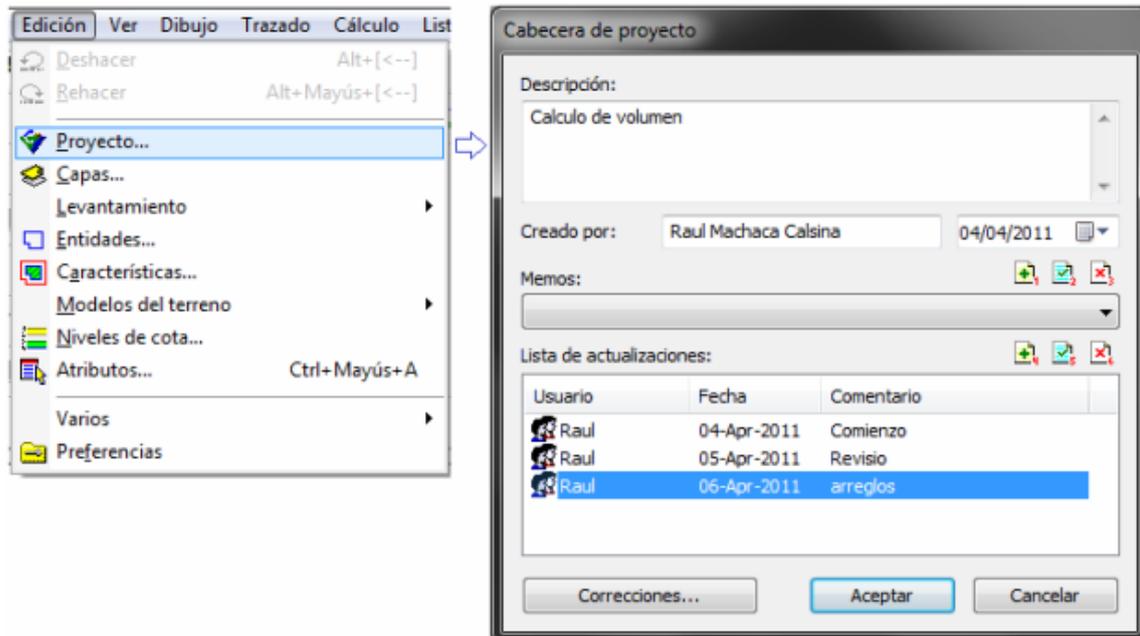


Fig. 3.15 Ventana cabecera de proyecto

**Descripción:** Nos permite introducir un texto explicativo de la descripción del proyecto.

**Creado por:** Nos permite introducir nombre del creador, del proyecto y la fecha de creación del mismo.

**Memos:** Nos permite introducir, modificar o eliminar una o varias memos asociadas al proyecto.

**Lista de actualizaciones:** Nos permite introducir varios comentarios acerca del proyecto.

**Correcciones:** CARTOMAP nos permite aplicar todas o cualquiera de las siguientes correcciones a los datos tomados en campo: Atmosférica, Esfericidad y refracción, Reducción al horizonte, Reducción al nivel del mar, Reducción al elipsoide, Factor de escala (Anamorfosis). Para activar cualquiera de estas correcciones, pulsamos el botón Editar, situado junto a cada una de las opciones.

**Aceptar:** Sale de la ventana guardando los comentarios realizados.

**Cancelar:** Cierra la ventana.

### Creación de capas

Las capas se utilizan para agrupar información de un dibujo según sea su función y para reforzar los tipos de línea, el color y otros parámetros. Las capas

son equivalentes a las hojas transparentes que se utilizan en el diseño sobre papel. Las capas son la herramienta organizativa principal empleada en el dibujo. Las capas se utilizan para agrupar información por función y para imponer el tipo de línea, el color y otras normas.

## Pasos para la creación de capas

### 1. Edición-Capas:

Al activar esta opción se abre la ventana Edición general de capas, en ella aparece una lista con todas las capas existentes en el archivo. Desde ella podemos definir, modificar y consultar datos de capas de información (Ver fig. 3.16).

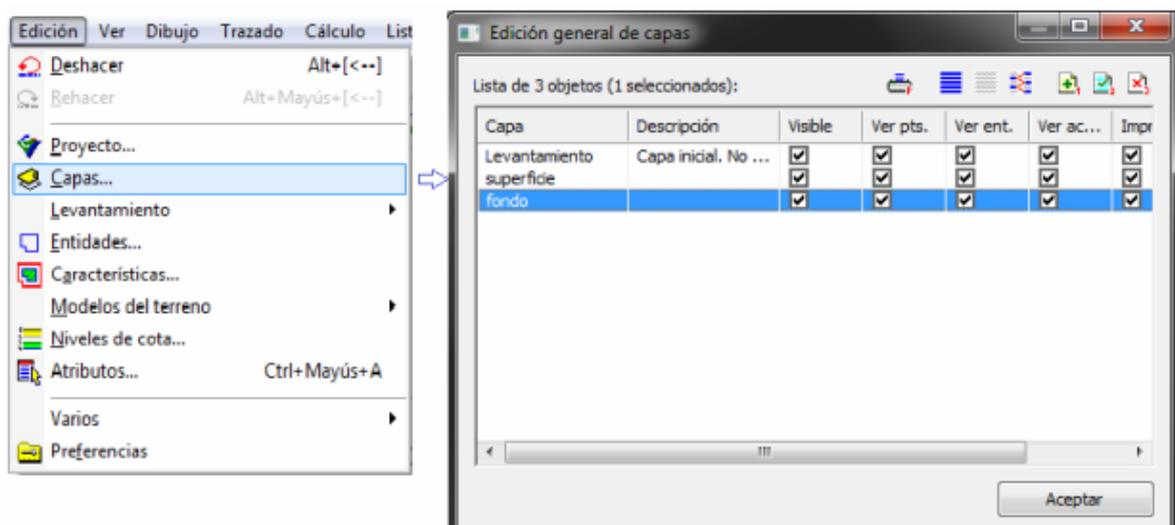


Fig. 3.16 Ventana edición general de capas

En la ventana de listas de objetos, las capas se añaden, modifican y/o eliminan mediante los botones situados en la parte superior izquierda de esta ventana.

Al acceder a esta ventana aparece seleccionada la capa actual, aquella en la que se almacenarán

La capa levantamiento se crea automáticamente al abrir un archivo nuevo. Esta capa se puede renombrar pero no borrar.

2. En la ventana Edición general de capas, pulsamos en el botón agregar capa y nos muestra la ventana Edición de capa, especificamos el nombre y las características de la capa y pulsamos aceptar. (Ver fig.3.17) Para el cálculo de volumen se crearon dos capas, una capa denominada fondo y la otra superficie.

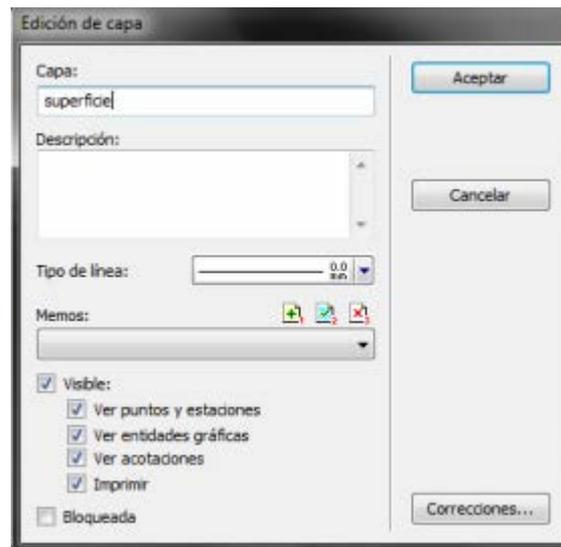


Fig. 3.17 Ventana de Edición de capa

### Entrada de datos

Al ejecutar CARTOMAP aparece una ventana en blanco, ya está listo para recibir información. En primer lugar, e independientemente del método usado para introducir datos en la aplicación, debemos de seleccionar de forma adecuada las unidades de trabajo.

Para ello accedemos a través del menú Edición-Preferencias, a la ventana Preferencias de uso de CARTOMAP y en ella marcar la ficha Unidades. Los valores seleccionados por defecto son los que se utilizan normalmente en el ámbito de la topografía. (Ver fig. 3.18)

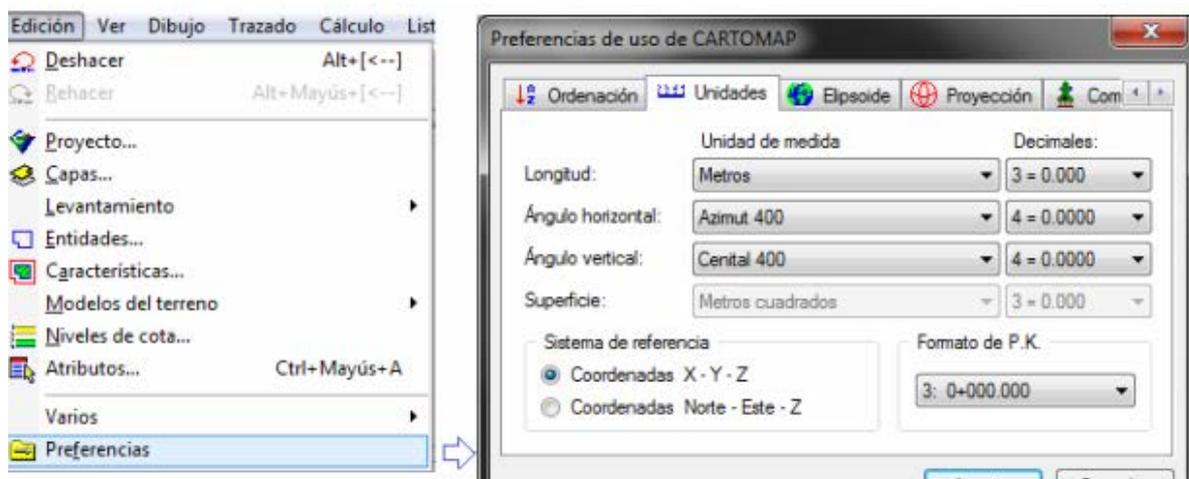


Fig. 3.18 Ventana preferencias de uso de Cartomap



## **Entrada de datos Manual**

Aunque este no es el método más usual, conviene conocer el modo de introducir datos manualmente en la aplicación con el fin de poder verificar o modificar los introducidos por otro medio. El levantamiento topográfico consta de distintas estaciones (o bases), en los que situamos el aparato topográfico y a partir de los que se obtienen coordenadas de otros puntos que van a definir la forma del terreno. Evidentemente, cada vez que se coloca el aparato sobre uno de estos puntos se crea un estacionamiento distinto ya que la altura y posición del 0 variará en cada caso. A partir de los datos tomados desde cada estacionamiento se obtuvieron, además de las coordenadas de los puntos que definen la topografía del terreno, las de otras bases o estaciones en las que posteriormente se colocará el aparato, así como los datos que permitirán orientar espacialmente todo el conjunto.

## **Entrada de datos directa**

CARTOMAP, instalado en un Tablet PC, es capaz de controlar directamente una estación total, GPS o distanciómetro. De este modo es posible trabajar con la misma aplicación en campo y en gabinete, ya que los datos tomados quedan guardados en formato de \*.ctm, es decir, el formato propio de la aplicación, lo que nos simplifica considerablemente el trabajo.

## **Entrada de datos automática**

Mediante este tipo de entrada se pueden transferir a CARTOMAP datos de diversas procedencias. Toda la gestión se realiza desde la ventana Centro de Comunicaciones, en ella se encuentran tres grandes grupos, (Ver fig. 3.22)

ANEBA, archivos generados por CARTOMAP, permite aprovechar todos o parte de los datos contenidos en otros archivos creados por CARTOMAP tales como puntos, entidades, símbolos, secciones tipo,... lo que simplifica considerablemente el trabajo.

Archivos: Agrupados en este nodo se encuentran dos grandes grupos de datos:

Los procedentes de archivos de texto (ASCII): Contienen datos de coordenadas o definiciones de elementos de trazado (planta, rasante, ...).

Los procedentes de archivos gráficos: Aquellos que, además de contener datos de



puntos y estaciones, contienen otros elementos gráficos como líneas, polilíneas, textos, etc., por ejemplo, el formato DXF o los procedentes de restitución fotogramétrica (BC3, DIGI,...).

Estación total o libreta electrónica: Archivos de texto grabados en el formato propio de los distintos fabricantes de estaciones totales o volcados directamente desde éstas.

La importación de datos de estaciones totales se puede hacer directamente, vía cable, o desde un archivo creado por la propia estación total. Al seleccionar la marca comercial del aparato

### **3.5.5 Pasos para la importación de los puntos:**

1. Archivo-Centro de comunicaciones, esta opción también se activa mediante el acelerador de teclado Control +Y o pulsando el botón de la barra de herramientas Acceso rápido: (Ver fig. 3.19)

Al activar esta opción se abre la ventana Centro de comunicaciones desde la que llevaremos a cabo la transferencia bidireccional de datos entre CARTOMAP y la base de datos.

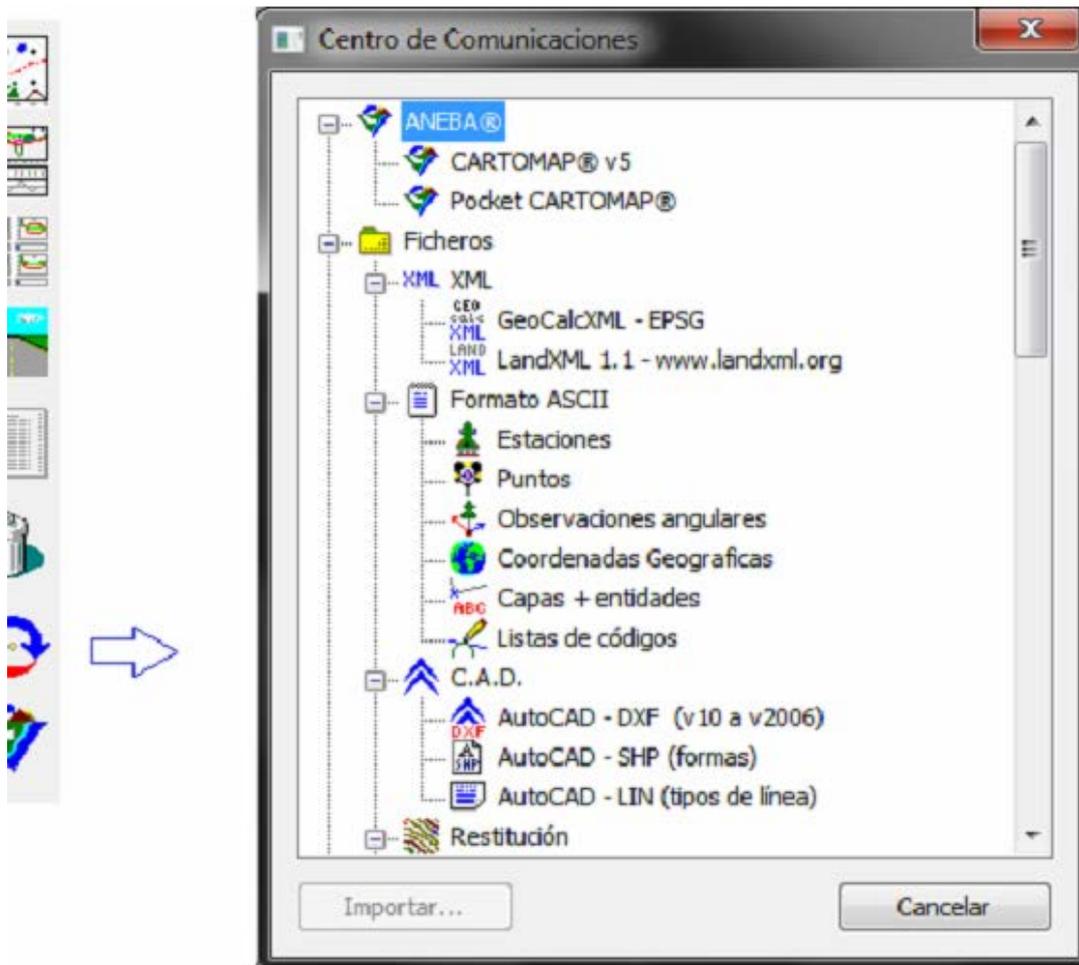


Fig. 3.19 Centro de comunicaciones

2. Seleccionamos Archivos: Agrupados en este nodo se encuentran dos grandes grupos de datos:

Los procedentes de archivos de texto (ASCII) y archivos gráficos.

3. Seleccionamos Formato ASCII, es posible leer y grabar los datos del levantamiento almacenados en coordenadas cartesianas, geográficas o ángulos y distancias. El archivo ASCII que contenga datos en coordenadas deberá estar organizado por columnas, cuyos separadores podrán ser espacios, tabulaciones o comas.

4. Seguidamente seleccionamos en puntos y pulsamos el botón Importar puntos. Se abrirá la ventana Lectura de puntos en formato ASCII. (Ver

fig.3.19) Para intercambiar datos entre CARTOMAP y otras aplicaciones debemos seleccionar en esta ventana el origen o destino de los datos y pulsar Importar.

5. Una vez seleccionada la base de datos pulsamos en Abrir, los elementos seleccionados se copiarán en el archivo activo (Ver fig.3.20).

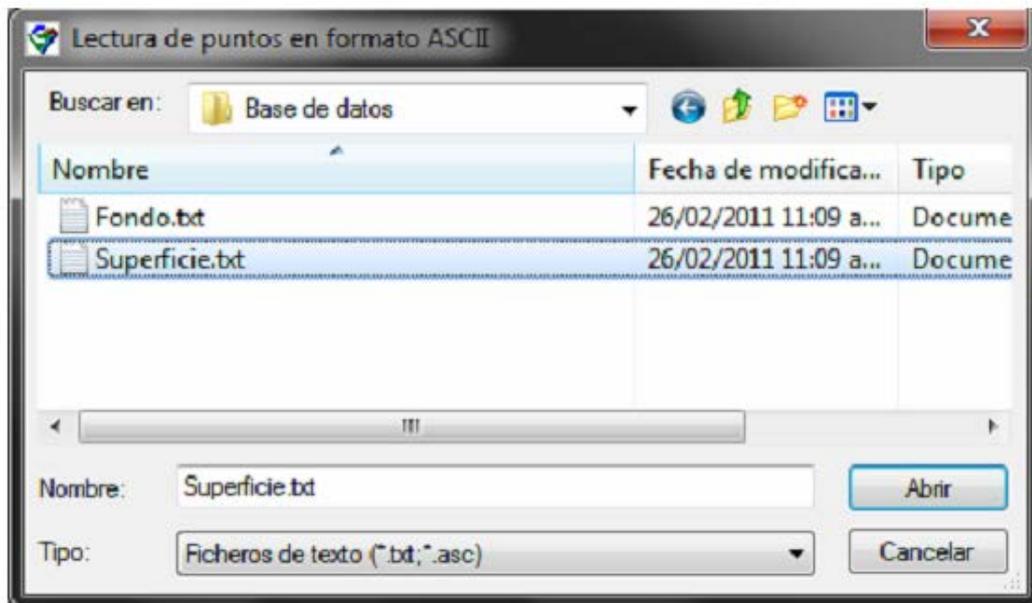


Fig. 3.23 ventana Lectura de puntos en formato ASCII

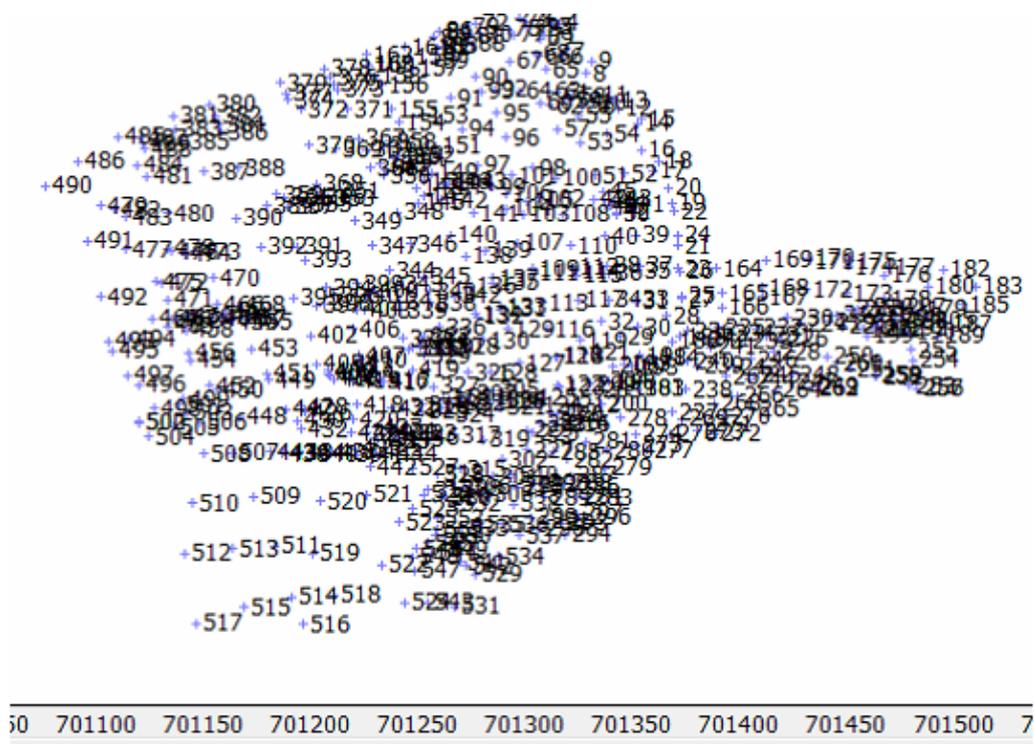


Fig. 3.20 Presentación de los puntos importados

### Presentación de puntos y estaciones

La presentación de puntos y estaciones del levantamiento en la vista 2D se realiza a partir de Indicaciones de estaciones y puntos. Estas indicaciones se asignan a una o varias capas y permiten seleccionar de qué forma y con qué datos se van a representar los puntos y estaciones de unas determinadas capas.

#### Orden de ejecución:

##### 1. Menú Ver-Puntos y estaciones:

Tras seleccionar esta opción, se abrirá la ventana Presentaciones de estaciones y puntos, (Ver fig.3.21) para generar una nueva indicación o asociar una existente a un grupo de capas diferente:

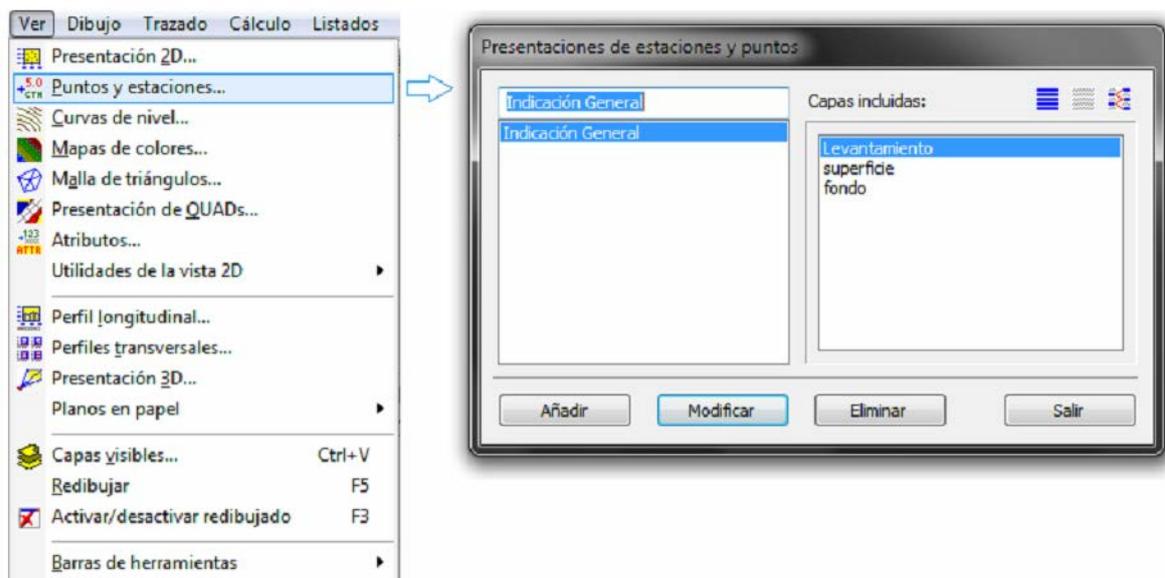


Fig. 3.21 ventana Presentación de estaciones y puntos

Esta ventana contiene dos listas, en la situada en la zona izquierda aparecen las Presentaciones de estaciones y puntos definidas en la ventana activa. En la situada en la zona derecha, aparece un listado con las capas del archivo. Al seleccionar una Presentación de estaciones y puntos en la lista izquierda, se activan (resaltan en azul) las capas a las que se ha asignado. Para facilitar la

selección de las capas asignadas a una indicación de puntos se muestran 3 botones:

Selecciona todas las capas para la indicación.

No selecciona ninguna capa para la indicación.

Intercambia las capas seleccionadas por las no seleccionadas.

Añadir: permite añadir una nueva Presentación de estaciones y puntos. Para ello se ha de introducir el nombre de la misma en el único campo editable de esta ventana Modificar: Permite modificar los parámetros de una Presentación de estaciones y puntos o bien cambiar la asignación de la misma.

Eliminar: Elimina la Presentación de estaciones y puntos seleccionada.

2. En la lista izquierda seleccionamos la capa que se va a asignar y pulsamos el botón Modificar. Se abrirá la ventana Presentación de datos del levantamiento para modificar los atributos de la indicación (Ver fig. 3.22)

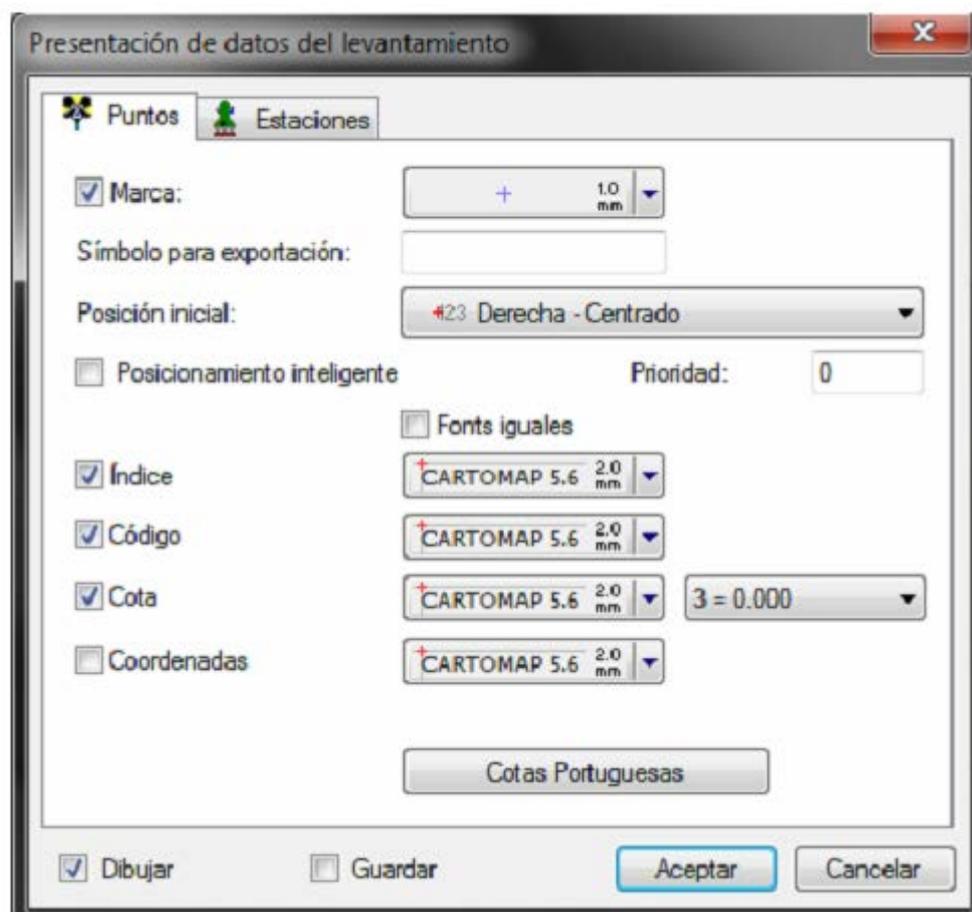


Fig. 3.22 Ventana de Presentación de datos de levantamiento

En esta ventana aparecen dos pestañas, Puntos y Estaciones. Como su nombre indica, desde cada una de ellas se configuran los parámetros que afectan a la



presentación en la vista 2D de estos elementos. Independientemente de la pestaña seleccionada, las opciones que aparecen son las siguientes:

Ver marca: Activa la presentación de los puntos o estaciones mediante la marca seleccionada en el control de marca adjunto.

Posición inicial: Permite seleccionar la posición inicial del punto de anclaje de todos los textos asociados al punto o estación.

Posicionamiento inteligente: Activada esta opción, se evitará el solape entre los datos asociados a los puntos o estaciones, y entre éstos y otros elementos de dibujo de acuerdo a la Prioridad de no solape indicada en el campo adjunto.

Índice, Código, Cota, Coordenadas: Activada cualquiera de estas opciones, se representará junto al punto, y en la posición establecida mediante el punto de anclaje, el dato indicado.

Cotas portuguesas: Si se pulsa este botón, el carácter decimal de la cota será la marca del punto, el resto de parámetros (índice, código o coordenadas) se ocultarán automáticamente.

Si el indicador Fonts iguales está activado, al modificar el tipo de letra de uno de los datos, se modificará automáticamente el de los otros tres.

3. Una vez seleccionado todo lo deseado pulsamos en aceptar en la ventana presentaciones de datos de levantamiento, se aplicarán las modificaciones hechas y en la ventana Presentación de puntos y estaciones pulsamos salir

### **Modelo digital del terreno**

El modelo digital del terreno (MDT) permite que el sistema conozca la cota del terreno, no sólo en los puntos del levantamiento, sino en cualquier posición dentro del mismo.

Es imprescindible para generar perfiles, curvados, cubicaciones,... en general, siempre que se desee conocer la cota del terreno dentro del levantamiento (Ver fig. 3.23).

CARTOMAP contempla distintos tipos de modelos digitales del terreno (en adelante, MDT) permitiendo la coexistencia de varios de ellos en un mismo archivo, estos son:

Malla rectangular: método utilizado para la representación de grandes superficies de las que sólo se dispone una serie de cotas dispuestas uniformemente en una malla rectangular.

Curvado y Dibujo 3D: la cota del terreno se obtiene a partir de elementos gráficos como líneas o polilíneas que tienen cotas válidas.

Malla irregular de triángulos: modelo digital formado por una red de triángulos cuyos vértices se apoyan en los puntos del levantamiento.

### 3.5.6 Pasos para la creación del modelo digital del terreno.

Los pasos a seguir para obtener un MDT a partir de este tipo de datos son los expuestos a continuación:

1. Menú Edición-Modelos del terreno-Edición alfanumérica, (Ver fig. 3.23)

Se abrirá la ventana Edición general de modelos del terreno, en la que aparece una lista de objetos con todos los MDTs del archivo (Ver fig.3.24)

2. En la ventana Edición general de modelos del terreno pulsamos el botón añadir, se abrirá la ventana Edición del modelo del terreno. (Ver fig 3.24)

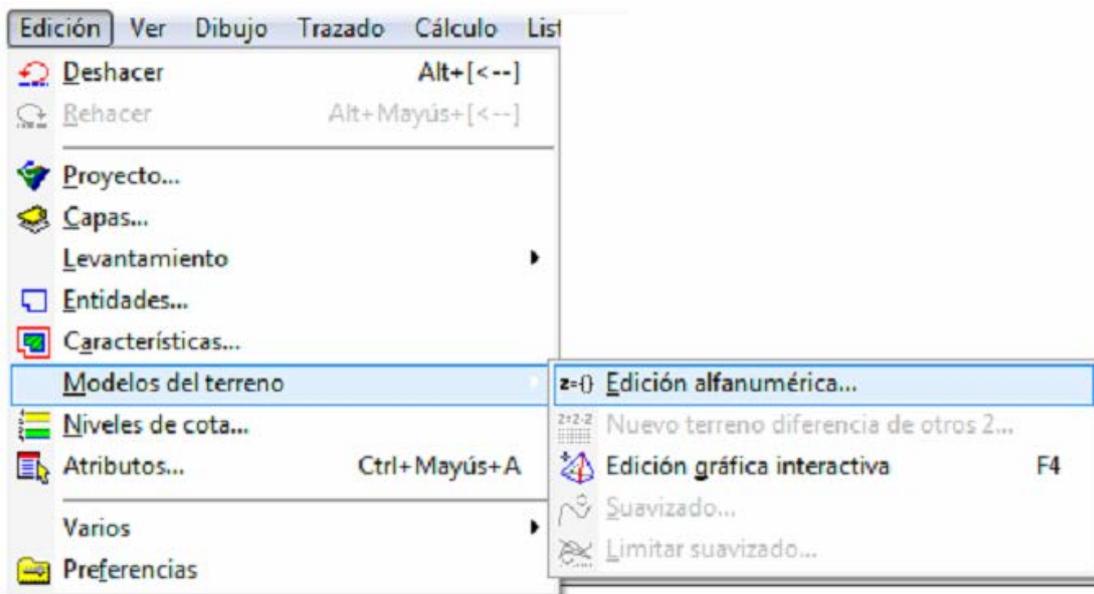


Fig. 3.23 Opciones del menú Edición

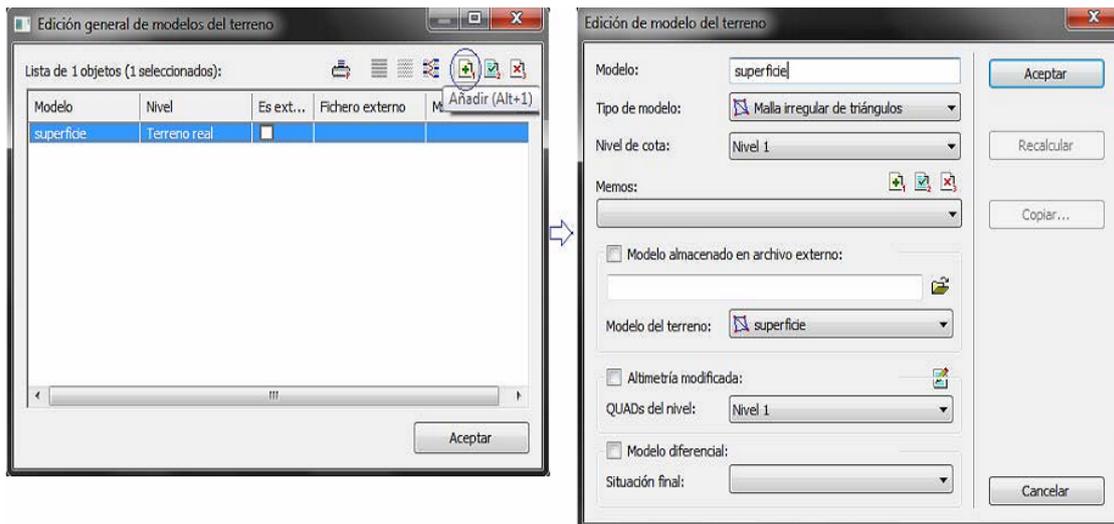


Fig. 3.24 Ventana de Edición general de modelos de terreno y Edición de Modelo Digital del Terreno

Introducimos el nombre con el que se identificará este MDT en el campo Modelo, en este caso, superficie.

3. Una vez seleccionadas las opciones pertinentes en la ventana Edición de modelo del terreno, pulsamos el botón Aceptar, se abrirá la ventana Cálculo de la red de triángulos, donde será posible seleccionar los elementos que se han de tener en cuenta en el cálculo. (Ver fig. 3.25)

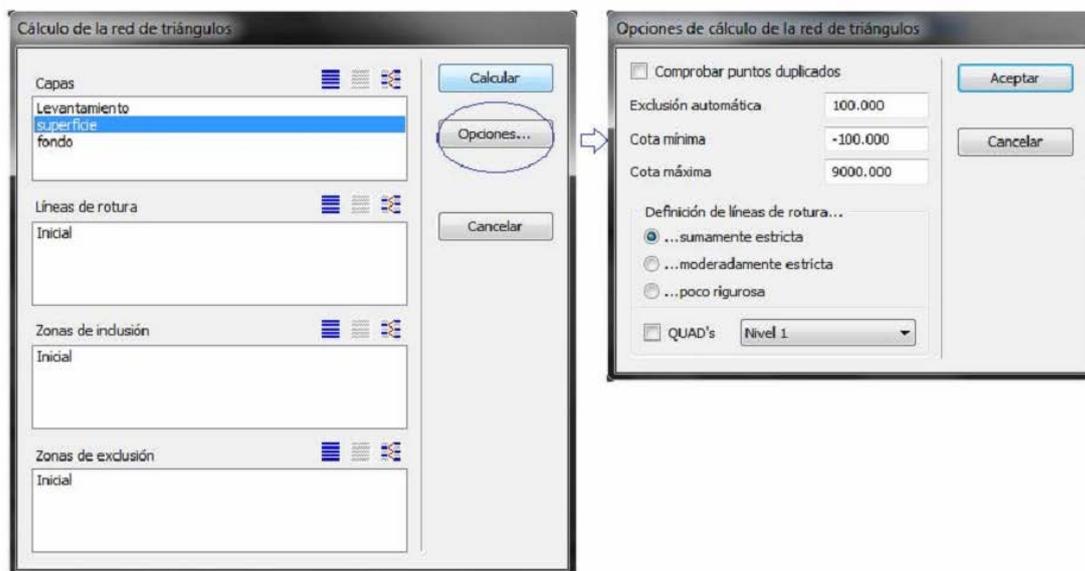


Fig. 3.25 Ventana de Cálculo de la red de triángulos

4. Seleccionamos el nombre de la capa, Superficie y pulsamos en el botón Opciones, se abrirá la ventana Opciones de cálculo de red de triángulos,



definimos las líneas de rotura, seleccionamos, Sumamente estricta y pulsamos el botón Aceptar.

6. En la ventana Cálculo de red de triángulos pulsamos en Calcular y luego Aceptar.

Los campos que aparecen en la ventana Edición general del terreno hacen referencia a lo siguiente:

Modelo: Campo en el que se ha de introducir un nombre para el nuevo MDT a calcular.

Tipo de modelo: Lista de selección para escoger el tipo de MDT a calcular, este varía en función de datos disponibles. Nivel de cota: Permite seleccionar el nivel de cota en al que quedará asociado el MDT.

Para el primer MDT este es siempre el nivel Terreno real, se ha de tener cuidado de no seleccionar un nivel que ya esté ocupado por otro MDT o tramo de sección tipo ya que esto podría dar lugar a conflictos en los cálculos posteriores.

Memos: Opciones para asignar memos de texto, imágenes, audio o video al MDT.

Modelo almacenado en archivo externo: Permite leer un MDT de otro archivo de CARTOMAP. Para ello, se ha de pulsar sobre el botón Abrir archivo y seleccionar el archivo que lo contiene; al hacerlo, la opción se activará automáticamente mostrando la ruta de acceso al mismo.

Altimetría modificada: Si esta opción se encuentra activada, se calculará automáticamente la topografía modificada teniendo en cuenta los QUADs del nivel seleccionado en la lista, permite seleccionar las entidades cuyos QUADs se van a considerar para este cálculo.

Modelo diferencial: Esta opción permite modificar el MDT seleccionado de tal forma que la cota en cada punto de la superficie del mismo pasa a ser la diferencia de cotas entre la del MDT inicial y la del MDT seleccionado mediante la lista Situación final. El resultado final será el movimiento de tierras entre ambos.

## **Curvas de nivel**

El curvado muestra una representación del terreno mucho más intuitiva que la ofrecida por los triángulos. Las curvas de nivel que lo definen son el resultado de unir sobre el plano los puntos de igual cota.

CARTOMAP nos permite representar curvas de nivel con 5 equidistancias diferentes, para cada una de ellas podemos elegir el tipo de línea y color con el

que quedará definida. Además, podemos etiquetar las curvas según nuestro criterio.

Creado el MDT, el siguiente paso lógico es visualizar el curvado. En este caso, se

definirán dos tipos de curvas de nivel: las maestras, con una equidistancia de 5 m y el resto con una equidistancia de 1 m.

### Orden de realización:

1. Ver-Curvas de nivel:

Se abre la ventana Presentación de curvas de nivel, (Ver fig. 3.26) desde donde configuramos la visualización de las curvas de nivel de cada uno de los MDTs calculados en el proyecto, así como activarla o desactivarla.

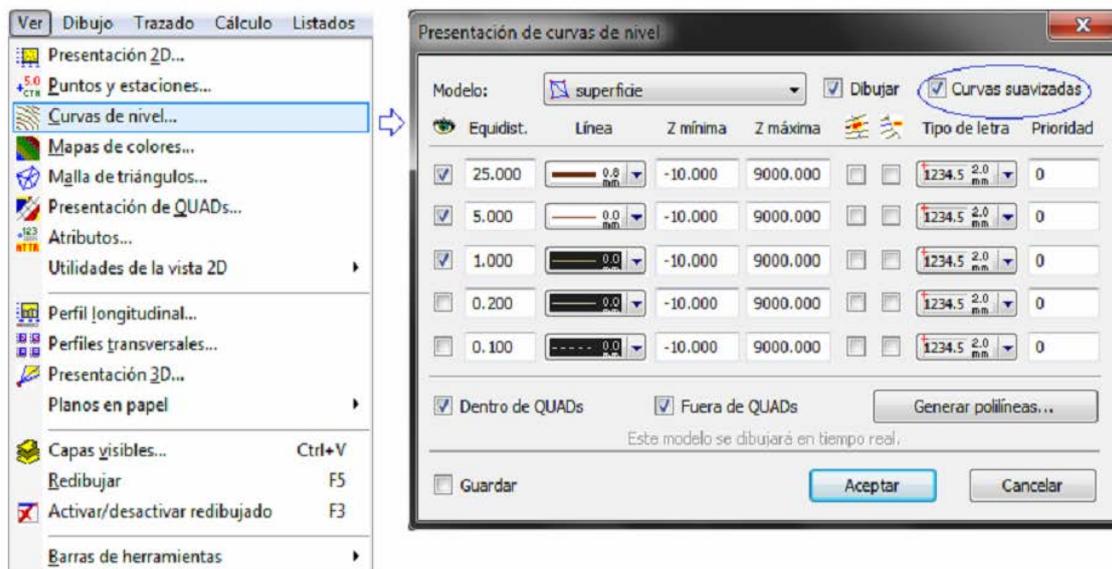


Fig.3.26 Ventana de Presentación de curvas de nivel



1. Seleccionar en el campo el Modelo el MDT para el cual se va a definir el curvado, en este caso, Superficie.
2. Activamos la opción de Dibujar. Activar la visualización de las equidistancias de 5 m y 1 m.
3. Seleccionamos el control de línea de la equidistancia 5 m eligiendo para su representación una línea continua de color marrón.
4. Seleccionamos el control de línea de la equidistancia 1 m eligiendo para su representación una línea continua de color marrón claro.
5. Seleccionamos líneas suavizadas.
6. Pulsamos el botón Aceptar. El terreno aparecerá representado por el curvado (Ver fig. 3.27)

Los campos que aparecen en la ventana Presentación de curvas de nivel hacen referencia a lo siguiente:

Modelo: Lista desplegable para seleccionar el MDT del cual se desea visualizar el curvado. Dibujar: Activa la representación de los curvados en la vista 2D de ventana activa. Si esta opción no está activada, no se visualizará ningún curvado.

Curvas suavizadas: Activada esta opción, el sistema aplica un algoritmo de suavizado a las curvas de nivel.

El resto de opciones se agrupan en columnas. Cada una de las cabeceras de las columnas representa lo siguiente:

Activa o desactiva la visualización de las curvas de nivel correspondientes a la equidistancia indicada en el campo situado a su derecha.

Equidist.: Campo para introducir cada una de las equidistancias. Se deben ordenar las equidistancias empezando por las de mayor valor.

Línea: Control de línea para seleccionar el tipo de línea con el que se dibujarán las curvas de nivel de esa misma equidistancia.

Z mínima: Campo para introducir la cota mínima a partir de la cual, las curvas de nivel de la equidistancia especificada en la misma fila, empezarán a dibujarse.

Z máxima: Campo para introducir la cota máxima hasta la cual se dibujarán las curvas de nivel definidas por la equidistancia especificada en la misma fila.

Esta casilla activada permite la numeración de las curvas de nivel, definidas por la equidistancia especificada en la misma fila, a partir de líneas de numeración.

Esta casilla activada permite la numeración de las curvas de nivel, definidas por la equidistancia especificada en la misma fila, en los extremos de las mismas.

Tipo de letra: Control de texto para seleccionar el tipo de letra con el que se dibujará la numeración de las curvas de nivel.

Prioridad: Campo para establecer la prioridad de dibujo de las curvas de nivel de una equidistancia, sobre zonas de no dibujo.

Genera polilíneas: Permite generar polilíneas del curvado actual en la entidad actual del proyecto, que debe ser del tipo Polilíneas de curvado. Las polilíneas se generarán de las curvas de nivel Dentro de QUADs o Fuera de QUADs, dependiendo de la selección de dichas opciones.

Guardar: Permite guardar la configuración definida en esta ventana para todos los archivos de CARTOMAP que se realicen a posterior.

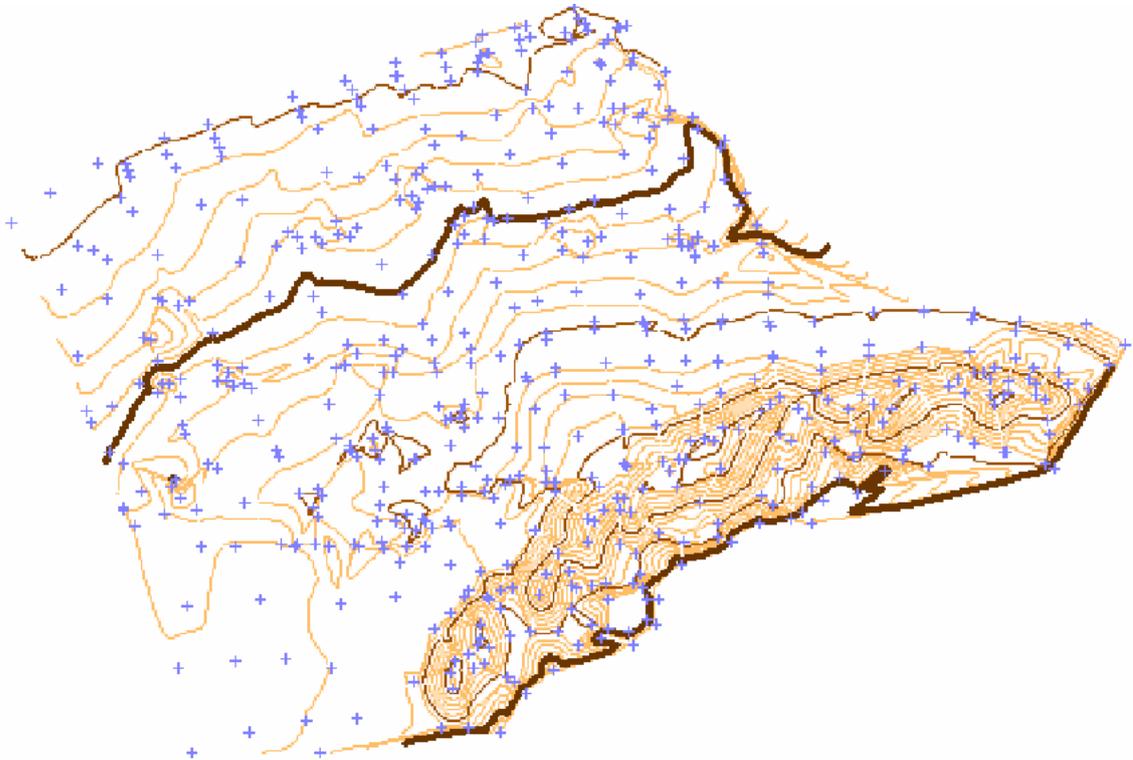


Fig. 3.27 Presentación de Curvas de nivel



### **3.5.7 Cubicaciones (Cálculo de volumen)**

Existen dos opciones para obtener diferencias de volúmenes: cubicación por malla y cubicación por perfiles, variando la precisión, no en función del método empleado, sino de los parámetros utilizados en él.

La cubicación siempre se realiza entre distintos niveles de los 32 disponibles en la aplicación. Cada uno de estos niveles puede estar ocupado por un modelo digital del terreno o por distintos tramos de sección tipo. Los volúmenes de cubicación siempre han de ser de desmonte o terraplén. Si la diferencia de cotas entre el primer nivel a cubicar y el segundo es positiva, se considera volumen en desmonte; por el contrario, si es negativa, se considera terraplén.



## **CONCLUSIONES**

- El procedimiento elaborado es una herramienta que permite realizar los trabajos topográficos en las áreas en proceso de rehabilitación con mayor precisión y planificación;
- Con el estudio topográfico realizado en las zonas de rehabilitación, se pudo afirmar que el empleo de trincheras antierosivas favorece en gran medida a la disminución de pérdida de suelo.
- La disminución de la inclinación del talud de las escombreras reduce la erosión del suelo y favorece las condiciones para la rehabilitación.
- Se comprueba que la tecnología empleada en la realización de los trabajos topográficos permite el desarrollo de los trabajos de rehabilitación con menor costo y menores afectaciones al medioambiente.



## RECOMENDACIONES

- Aplicar este procedimiento a las demás zonas mineras del yacimiento.
- Completar el stock de instrumentos topográficos para poder realizar los trabajos mineros.
- Realizar un estudio comparativo antes y después de aplicar la nueva tecnología para conocer el costo.



## BIBLIOGRAFÍA

1. Batista, J; Carcassés, J. Metodología de los trabajos topográficos. De la Fé Lora, E. Protección de las escombreras de la mina Ernesto Che Guevara. Trabajo de diploma. (ISMM Facultad de Minería-Geología). 1996.
2. Batrakov Y.G. Redes geodésicas de densificación. Nedra. Moscú. 1987. 256p.
3. Beleete Fuentes Orlando. Vías para el perfeccionamiento del cálculo de volumen de mineral extraído en los yacimientos lateríticos cubanos.
4. Ferrer Burgos, R. Topografía Minera I. La Habana, Editorial Pueblo y Educación, Dic 1984. Tomo I.
5. Ganshin, Ganshin, V. N, et. al. Manual para los levantamientos a grandes escalas. Editorial Nedra, Moscú. 1977. P. 248.
6. García A. E. Trabajos topográficos en la recultivación de los terrenos dañados por la minería laterítica. Yunier. TD. 2001. ISMM. Moa.
7. <http://www.larioja.org/ma/publicaciones/monograf.htm>. tomado el día 14 de febrero del 2012.
8. Hylsky, H. Origen y formación de las cárcavas. I. En: erosión en Cárcavas. La Habana, 1973, 15p.
9. Instrucciones técnicas. ICGC. 1987.
10. Lebedev N. N. Geodesia aplicada a la ingeniería. Nedra. Moscú. 1984. 376p.
11. Levchuk G.P.; Novok V.E; Konosov V.G. Geodesia aplicada. Nedra, Moscú. 1981. 44 p.
12. Leyca (Suiza). Geo Basic User Manual Reference. Versión 2.20 English. Leyca (Suiza) Manual de empleo. Versión 2.2 Español.
13. Machaca R. Cálculo de volumen de mineral automatizado. Trabajo de diploma, ISMM, 2011.
14. Nemkin, A. F; Popov, I. I; Trabajos Topográficos en la recultivación de tierra en las Empresas Mineras. Nedra. Moscú, 1984. 184 p.



15. Pérez Domínguez, C. Erosión de suelo, causa, efectos y control.  
Proyecto de rehabilitación 2001. Moa, Empresa Ernesto Che Guevara.  
Subdirección de Minas, 2001.
16. Pérez Rodríguez, J. Geología Ambiental. Texto Básico para el Diplomado:  
Evaluación de Impacto Ambiental. La Habana, ISPJAE, 1998. 142p.
17. Redes ingeniero-geodésicas. Revista Geodesia y aerofotolevantamiento.  
Tomo 9, Editorial Nedra, Moscú. 1974. P.30.

## ANEXOS

Anexo 1. Trabajos topográficos realizados en la escombrera antes de la rehabilitación





Anexo 2. Trabajos topográficos realizados en la escombrera después de la rehabilitación

