

TOPOGRAFIA ESPELEOLOGICA

POR ALBERT MARTÍNEZ I RIUS



Foto F. Kuntzel

FEDERACION ESPAÑOLA DE ESPELEOLOGIA



TOPOGRAFIA ESPELEOLOGICA

POR ALBERT MARTÍNEZ I RIUS

FEDERACION ESPAÑOLA DE ESPELEOLOGIA



TITULO ORIGINAL: TOPOGRAFIA ESPELEOLOGICA
TEXTO TRADUCIDO POR: ROSA M.^a ESTANY I MORROS
ILUSTRACIONES: ALBERT MARTINEZ I RIUS

ACTUALIZACION Y MODIFICACIONES REALIZADAS
POR EL PROPIO AUTOR A LA EDICION CATALANA

EDICION TRADUCIDA DEL ORIGINAL EN CATALAN
REALIZADO POR LA FEDERACION CATALANA
D'ESPELEOLOGIA, A LA CUAL AGRADECEMOS
LAS FACILIDADES Y EL MATERIAL GRAFICO
PARA LA PRESENTE EDICION.

© EDICION 08/92
FEDERACION ESPAÑOLA DE ESPELEOLOGIA
QUEDA PROHIBIDA LA REPRODUCCION TOTAL O PARCIAL,
POR CUALQUIER MEDIO, SIN LA AUTORIZACION EXPRESA
DEL EDITOR.

Impressió: IMPRIMEIX, S.Coop. Ltda.
Eduard Maristany 100. Badalona
Fotocomposició: Fotocomposició J. ESCRIBANO
Sugranyes, 10-14, 3.^a, 2.^a

TEXTO HOMOLOGADO
POR LA ESCUELA ESPAÑOLA DE ESPELEOLOGIA

D.L.B: 36219-1992

El presente manual fue escrito en su versión original hace diez años, no por eso ha dejado de estar de actualidad y su contenido es hoy perfectamente válido. El autor, para esta edición lo ha adaptado y corregido en algunos aspectos, así mismo, se han introducido dos anexos, con el fin de su puesta al día.

Albert es de esos espeleólogos legendarios que todavía hoy existen, una vieja raza difícil de extinguir, pese a los avatares del tiempo y la inclemencia de factores ajenos a nosotros mismos. Hace tiempo tuve la ocasión de trabajar con él, en una expedición, es un auténtico profesional de la topografía.

La Federación Española, a través de su Escuela, al editar este manual pone en tus manos una herramienta meditada y pensada para nosotros. Creemos que será de gran validez para todos, los que comienzan por desconocido y los que están en la brecha, que lo repasan, siempre obtendrán un beneficio en su consulta.

Queremos agradecer a todos los que han colaborado de una forma u otra a realizar esta edición y en especial al amigo Albert y a la Federación Catalana por su autorización a la traducción del mismo.

Pau Pérez y De Pedro
Presidente de la F.E.E.

INICIO DE UNA PRESENTACION, QUE NO FUE CONVENIENTE FINALIZAR...

De topografías, todo el mundo hace, eso decimos, pero no es totalmente así. En la gran mayoría de ocasiones, hacemos un mal croquis, y de lo único que nos preocupamos es de que salgan metros y metros. Otros, los más, sólo hacen esquemas, en su mayoría pozos, para que se vean los puntos de anclaje. Y así podríamos comentar, muchísimas topografías que se alargan, dependiendo del interés de los metros que faltan para una cota determinada.

Después viene un equipo en plan de revisión, unos años más tarde, no muchos, generalmente coincide con que pertenecen al grupo contrario y no son, lo decimos, muy amigos de los descubridores y primeros topógrafos. Y maravillas de la naturaleza, «siempre» la cavidad pierde metros, y así continuamos.
Hoy el esfuerzo...

a Cristina

Agradecimientos

Agradezco a Margarida Espona, su colaboración y orientación en los cálculos matemáticos del capítulo de errores. También a Joan Ramon Berengueras por la corrección de la escritura en la edición catalana).

Presentación a la edición catalana (1985).

Una vez más, la Escola Catalana d'Espeleologia os presenta una publicación, en este caso sobre topografía espeleológica, en el intento de poder servir y ayudar a un mejor conocimiento y estudio del mundo subterráneo.

La línea que desde hace tiempo inició la E.C.E., como órgano docente de la Federació Catalana d'Espeleologia, de publicar temas monográficos sobre las diferentes ramas de la espeleología, llega con la presente edición a la cuarta temática (antes fueron la introducción a la bioespeleología, la conservación de cavidades y los apuntes de técnica y material), y estamos preparando ahora otros libros y reediciones corregidas y ampliadas de las mencionadas. Además, y como ya sabréis, la E.C.E. ha editado otros libros, como el dedicado al Dr. Español sobre sus trabajos publicados durante cincuenta años sobre bioespeleología. También los manuales de iniciación a la espeleología, de los cuales se han hecho tres ediciones, el voca-

bulario básico de técnica y material,... y en poco tiempo ampliaremos todo este repertorio.

Como podéis observar, las publicaciones son uno de los principales objetivos de la Escola Catalana d'Espeleologia y creemos que es lo que mejor resultados nos da.

Con este libro de topografía espeleológica, que deseamos tenga una buena acogida, hemos conseguido un objetivo más. Agradecemos al amigo Albert Martínez –su autor– el esfuerzo para realizarlo, pero tanto para él como para nosotros, el mejor éxito sería que este libro llegara a ser una buena herramienta de trabajo para nuestras topografías.

Salvador Vives i Jorba
*Presidente de la Federació
Catalana d'Espeleologia*

A	INTRODUCCION	13	a.2.2 Indirectos	32
	PRIMERA PARTE:		1 - Estadia	32
	CONCEPTOS GENERALES		- Estadia de 1ª clase	33
			- Estadia de 2ª clase	33
			- Estadia horizontal o de invar	33
			- Estadia de 3ª clase	33
B	CONCEPTO DE TOPOGRAFIA	17	2 - Telemetría	33
B1	UTILIDAD Y OBJETO DE LA TOPOGRAFIA	17	B6 b) Ángulos	34
B2	GEODESIA	17	b.1. Horizontales	34
B2 a)	Geoide y Elipsoide de referencia ..	17	b.1.1 Concepto	34
B2 b)	Coordenadas geográficas	17	b.1.2 Tipos	34
B2 c)	Redes geodésicas	18	b.1.3 Norte Magnético	34
B3	PRECISION DE LAS TOPOGRAFIAS: ESTUDIO DE LOS ERRORES	19	b.1.4 Declinación magnética	34
B3 a)	Los errores		b.1.5 Acimut	35
a.1.	Errores sistemáticos	19	b.1.6 Instrumentos	37
a.2.	Errores accidentales	19	1 - Goniómetros	37
a.3.	Necesidad de establecer un error medio	19	2 - Brújulas	38
a.4.	Reparto de los errores	19	b.2. Tipos de brújulas	38
B3 b)	Cálculos para conocer la precisión de una cavidad	20	b.2.1 Índice fijo y limbo móvil	38
b.1.	Profundidad	20	1 - Dextrógiras	38
b.2.	Planimetría	20	2 - Levógiras	39
B3 c)	Conclusiones importantes	21	3 - Dextrógira de limbo giratorio ..	39
B3 d)	Compensación de los errores	21	b.2.2 Índice móvil y limbo fijo	40
d.1.	Planimetría	21	b.2.3 Modelos de brújulas	40
d.2.	Altimetría	22	1 - De alidada	40
B4	UNIDADES	23	2 - Prismáticas de alidada	41
B4 a)	De longitud	23	3 - Prismáticas	42
B4 b)	De superficie	23	b.3. Verticales	43
B4 c)	De volumen	23	b.3.1 Concepto	43
B4 d)	Unidades angulares	23	b.3.2 Instrumentos	44
B5	SISTEMAS DE REPRESENTACION	24	1 - Niveles	44
B5 a)	Proyecciones	24	2 - Clinómetros	44
a.1.	Tipos de proyecciones	24	3 - Clisímetros	45
a.1.1.	Central o Cónica	24	4 - Dendómetros	46
a.1.2.	Paralela	24	5 - Barómetros	46
a.2.	Proyecciones cartográficas	25	6 - Aneroides	46
B5 b)	Curvas de nivel	26	B6 c) Instrumentos universales	47
B5 c)	Perfiles	27	c.1. Brújula universal	47
B5 d)	Interpretación de Mapas Topográficos	27	c.2. Aparatos topográficos	48
B6	ELEMENTOS	30	B7 - TEORIA TOPOGRAFICA	51
B6 a)	Distancias: Tipos	30	B7 a) Altimetría	51
a.1.	Escalas	30	a.1. Nivelación por horizontales	51
a.2.	Instrumentos	31	a.2. Nivelación por pendientes	52
a.2.1	Directos	31	a.2.1 Método gráfico	52
1 -	Cadenas de agrimensor	31	a.2.2 Método trigonométrico	52
2 -	Reglas de invar	31	a.3. Buzamiento de los Estratos	53
3 -	Hilos de invar	31	B7 b) Planimetría	54
4 -	Cintas metálicas	31	b.1. Poligonal	54
5 -	Cintas normales	32	b.1.1 Rumbo	54
6 -	Topofil	32	b.1.2 Acimut	55
			b.1.3 Direcciones	55
			b.2. Radiaciones	55
			b.3. Triangulaciones	55
			b.4. Coordenadas rectangulares	56

SEGUNDA PARTE

C TOPOGRAFIA ESPELEOLOGICA 59

C1 TRABAJOS DE CAMPO 59

C1 a) Situación de una cavidad 59

a.1. *Trisección directa* 59

a.2. *Trisección inversa* 59

a.3. *Problema de Pothenot* 60

a.4. *Fotografía aérea* 60

a.5. *Poligonal exterior* 61

C1 b) Coordenadas geográficas 61

C1 c) Topografía de la cavidad 62

c.1. *Concepto* 63

c.2. *Planta: Tipos* 62

c.2.1. *Única* 63

c.2.2. *Superpuestas* 63

c.2.3. *Plantas de pozos* 64

c.3. *Alzado* 65

c.3.1. *Alzado desarrollo* 65

c.3.2. *Alzado proyectado* 65

c.3.3. *Consideraciones generales* 66

c.3.4. *Tipos de alzados* 67

c.3.5. *Alzado de cuevas* 67

c.3.6. *Alzado de cueva sima* 67

1 - *Alzado único* 67

2 - *Alzado cruzado* 67

3 - *Alzado desplazado* 67

c.3.7. *Alzado de simas* 67

c.3.8. *Otros alzados* 68

1 - *Alzados de grietas* 68

2 - *Alzados esquemáticos* 68

c.4. *Secciones* 69

C1 d) Metodología 69

d.1. *Elección de la técnicas* 70

d.2. *Dibujo* 70

d.2.1. *De la Planta* 71

1 - *Línea de contorno* 71

- *Rectas* 71

- *Curvas y lisas* 71

- *Irregulares* 71

2 - *Interior* 72

- *Curvas de nivel* 72

- *Equidistancia* 72

- *Trazado de curvas* 73

- *Formas generales de las galerías* 73

- *Cóncava* 73

- *Convexa* 73

- *Plana* 73

- *Resaltes* 73

- *Formas en las salas* 74

d.2.2. *Del Alzado* 74

1 - *Techo* 74

- *Rectos* 74

- *Curvados* 74

2 - *El suelo* 75

3 - *Grueso de las líneas* 75

d.2.3. *De las secciones* 75

d.3. *Libreta topográfica* 76

d.4. *Signos convencionales* 77

d.5. *El equipo* 77

d.6. *La elección de los puntos* 77

d.7. *Sentido de avance* 79

d.7.1. *Ángulos horizontales* 79

d.7.2. *Ángulos verticales* 79

d.8. *Altura del aparato* 80

d.9. *Anchura de la galería* 81

d.10. *Ejemplo práctico: Topografía de una cavidad imaginaria* 82

d.10.1. *Bifurcaciones, resaltes, concreciones, plantas superpuestas, poligonales* 82

d.10.2. *Caos de bloques, grietas de desorendimiento, plantas desplazadas, medidas para verticales y horizontales* 83

d.10.3. *Bifurcación, alzado superpuesto, nivelación constante* 83

d.10.4. *Galería inundada, bóveda sifonante* 84

d.10.5. *Sala grande, radiación, altura del techo, puntos inaccesibles* 84

d.10.6. *Red de galerías: poligonal cerrada* 85

d.10.7. *Triangulación* 85

d.10.8. *Yacimiento arqueológico: coordenadas cartesianas* 85

d.10.9. *Sima con pozos enlazados: poligonal, medidas verticales, alzados desplazados* 86

C1 a) *Topografía subacuática* 87

C2 TRABAJOS DE GABINETE 88

C2 a) Transposición de los datos 88

a.1. *Método gráfico* 88

a.1.1. *Elaboración del alzado* 88

a.1.2. *Elaboración de la Planta* 89

a.1.3. *Dibujo final: Planta, Alzado, y Secciones, Curvas, de nivel* 90

a.2. *Método trigonométrico* 91

a.2.1. *Nociones de trigonometría* 91

1 - *Razones trigonométricas* 91

2 - *Tablas trigonométricas* 91

a.2.2. *Método mixto* 91

1 - *Planta* 92

2 - *Alzado* 92

a.2.3. *Método numérico: Coordenadas* 93

1 - *Tipos de coordenadas* 93

- *Rectangulares* 93

- *Polares* 93

2 - *Cambio de coordenadas* 93

a.2.4. *Dibujo de la planta* 94

a.2.5. *Dibujo del alzado* 95

a.2.6. *Conclusiones* 96

a.3. *Alzados proyectados* 96

a.4. *Instrumentos de cálculo* 96

a.4.1. *Calculadoras* 96

C2 b) Dimensiones de la cavidad 97

b.1. *Recorrido* 97

b.2. *Desnivel* 97

C2 c) Dibujo final 97

c.1. *Consideraciones generales* 97

c.2. *Datos imprescindibles* 98

c.3.	<i>Utensilios de dibujo</i>	98	F - BIBLIOGRAFIA	119
c.4.	<i>Rotulación</i>	98		
c.5.	<i>Tamaños de grosor de las líneas</i>	98	APENDICE I: Aplicación de la informática a la Espeleo-Topografía por Juanjo Ruiz de Almirón Casaus	120
c.6.	<i>Técnicas especiales: Dibujo tridimensional</i>	98		
c.6.1.	<i>Ángulos</i>	102	APENDICE II: Comisión de Topografía	123
c.6.2.	<i>Construcciones de los ejes</i>	102		
c.6.3.	<i>Realización</i>	103	Escala de valoración de la precisión de los planos de cavidades	123
C2 d)	<i>Archivo</i>	104	SIGNOS CONVENCIONALES PARA REPRESENTACIONES GRAFICAS	124
d.1.	<i>Enrollados</i>	104		
d.2.	<i>Armarios</i>	105		
d.2.1.	<i>Verticales</i>	105		
d.2.2.	<i>Horizontales</i>	105		
D	- CARTOGRAFIAS LOCALES	106		
E	- EJEMPLOS DE TOPOGRAFIAS	109		

A. INTRODUCCION

Con esta publicación, se pretende divulgar, de la forma más completa posible, la utilización de la topografía en espeleología. Para muchos eruditos y licenciados en ciencias relacionadas con la espeleología, la topografía no merece ningún interés particular, sin darse cuenta que sus conocimientos dependen en gran parte de la topografía de la cavidad, aunque sólo sea por su descripción.

Realmente la topografía espeleológica, no es nada más que una simplificación de la topografía exterior. Decimos simplificación por que la topografía exterior, o de profesionales, ha llegado a una complejidad de medios y técnicas, que no son accesibles a las condiciones naturales de las cavidades, y menos a los presupuestos de los grupos de espeleología. Por tanto, podemos decir, que es una transformación de la topografía convencional, a otra adaptada a dificultades que en el exterior, como pueden ser galerías estrechas, el barro, agua, frío, pozos, y sobre todo el cansancio debido a la exploración.

Antes de entrar con las explicaciones técnicas, debemos resaltar un concepto que es importante: La topografía y muy especialmente la espeleológica, debe hacerse **en función** de una serie de condicionamientos. Esto significa que cada vez que se efectúa una topografía, deben tenerse en cuenta una serie de variables, como son: la **importancia de la cavidad**, las **dificultades**, etc. y entonces, en función de esto, utilizar unas **técnicas determinadas** y unos **aparatos adecuados**. Por ejemplo, si se topografía un abrigo cualquiera, es desmesurado utilizar un teodolito, pero si en este abrigo se han hecho unas excavaciones arqueológicas, deberemos realizar un trabajo extremadamente preciso (como veremos más adelante).

Hasta ahora, la mayoría de trabajos que se han hecho no destacan por su exactitud, antes al contrario. El problema no está en aplicar unas técnicas u otras en función de las variables, sino en que solo se sabían hacer las cosas de una forma, fuesen cavidades importantes o no. Que esta publicación sea una llamada a todos los topógrafos-espeleólogos, para intentar aumentar el rigor de exactitud y evitar errores demasiado groseros. Como podemos ver en el capítulo de errores, trabajando con una cierta exactitud se consiguen resultados bastante aceptables.

Para entender bien la estructura de esta publicación debemos observar detenidamente el índice. Existen dos grandes apartados: el primero, **Conceptos de Topografía**, consta de una serie de capítulos que empiezan explicando a grandes rasgos que es la topografía en general, y en qué fundamentos se basa. En el capítulo de

Sistemas de Representación se explican los principios de los mapas topográficos (curvas de nivel, perfil, etc.) que muchos ya conocerán, pero que es interesante repasar.

También se ha incluido un capítulo de **errores**, ya que es fundamental saber con qué grado de precisión se trabaja, y qué debemos tener en cuenta para evitar los numerosos errores que se realizan en espeleología.

Sigue el capítulo de los **Elementos**, en donde se explica cómo se efectúa la medición, utilizando unidades lineales y angulares, así como los aparatos principales.

Para terminar este primer apartado, en la **Teoría Topográfica**, vemos qué métodos existen para topografiar, utilizando los elementos vistos anteriormente.

El segundo apartado está dedicado exclusivamente a la aplicación de lo que hemos visto en general en la **topografía espeleológica**. A grandes rasgos se ha dividido en dos partes. La primera trata de las operaciones a realizar en el campo, en la cavidad (**Trabajo de campo**), y la segunda, al hecho de pasar la topografía en limpio y calcular los datos en casa (**Trabajos de gabinete**).

En los Trabajos de campo se empieza por explicar cómo se sitúa la cavidad en el mapa topográfico, para seguir con los conceptos básicos de Planta, Alzado y Secciones. Aquí, se intentan explicar diferentes casos y problemas dando posibles soluciones. Evidentemente, no es exhaustivo, pero puede proporcionar buenas pistas para solucionar numerosos problemas con los que puede encontrarse el espeleólogo. Para terminar esta parte se ha realizado una topografía de una cavidad imaginaria, donde se hallan diversas cuestiones y su solución (**Ejemplo práctico**).

En el capítulo de Trabajos de gabinete se dan diversos métodos para calcular los datos tomados en la cavidad, ya sea gráficamente o numéricamente. Se han explicado de manera resumida los principios básicos de la trigonometría y su aplicación en la topografía.

Al final se dan unas orientaciones sobre el pasado a tinta del original (**Dibujo final**).

Como Anexo, se incluyen diez ejemplos de topografías realizadas por diferentes autores. Debemos remarcar la necesidad básica, para el principiante, de observar numerosas topografías publicadas en las revistas, con objeto de hallar el estilo y la técnica de elaboración propia.

PRIMERA PARTE

CONCEPTOS GENERALES

B. CONCEPTO DE TOPOGRAFIA

B1. UTILIDAD Y OBJETO DE LA TOPOGRAFIA

Topografía etimológicamente proviene del griego y significa: «lugar representado gráficamente», o sea, es la representación de la corteza terrestre.

La topografía no sólo es imprescindible para poder conocer el relieve y la forma de nuestra geografía, sino también para realizar todo tipo de trabajos de ingeniería, ya sea en el trazado de carreteras, vías de tren, etc., y sobre todo como base para sobreponer cualquier tipo de representación, como en el caso de la geología, hidrología, economía, forestales, etc. para poder programar una verdadera ordenación razonada del territorio según sus recursos naturales. En el caso de la espeleología, los mapas exteriores sirven para orientarnos, poder situar las cavidades, y en grandes sistemas, disponer de una base topográfica más amplia con cotas referidas al nivel del mar.

El caso concreto de la topografía espeleológica, es la forma más **exacta, clara y objetiva** (dentro de unos márgenes más o menos aceptables), de representación gráfica de las cavidades, con la que se consigue dar unos parámetros y acotaciones (profundidad, recorrido, volumen, etc.) para poder hablar **cuantitativamente**. No se trata de decir que «es una cueva profundísima», sino de decir «esta cavidad tiene 210 metros de profundidad, y de momento es la más profunda de Cataluña». Aparte de la acotación puramente métrica, la topografía nos señala el tipo de dificultades, el material que necesitamos, las formas, la litología, etc., una serie de datos que no solo ayudarán a los siguientes exploradores, sino también como base de estudios geológicos, hidrológicos, biológicos, arqueológicos y hasta fotográficos. Por tanto, resumiendo, el objeto de la topografía espeleológica, es poder representar gráficamente y acotar, con la mayor exactitud posible, las cavidades subterráneas.

genes más o menos aceptables), de representación gráfica de las cavidades, con la que se consigue dar unos parámetros y acotaciones (profundidad, recorrido, volumen, etc.) para poder hablar **cuantitativamente**. No se trata de decir que «es una cueva profundísima», sino de decir «esta cavidad tiene 210 metros de profundidad, y de momento es la más profunda de Cataluña». Aparte de la acotación puramente métrica, la topografía nos señala el tipo de dificultades, el material que necesitamos, las formas, la litología, etc., una serie de datos que no solo ayudarán a los siguientes exploradores, sino también como base de estudios geológicos, hidrológicos, biológicos, arqueológicos y hasta fotográficos. Por tanto, resumiendo, el objeto de la topografía espeleológica, es poder representar gráficamente y acotar, con la mayor exactitud posible, las cavidades subterráneas.

B2. GEODESIA

B2 a) GEOIDE Y ELIPSOIDE DE REFERENCIA

Geodesia, es la ciencia que determina la forma y magnitud de la superficie terrestre en su totalidad. En realidad la topografía forma parte de la geodesia, ya que ésta representa sólo una «pequeña parte».

La primera referencia sobre la **esfericidad de la Tierra**, es de Pitágoras en el siglo VI antes de J.C., y la primera estimación sobre sus dimensiones es atribuida a Eratóstenes (III s. a. J.C.). A principios del siglo XVII los holandeses empezaron a medir con una serie de triángulos encadenados; es el inicio de la triangulación. Al mismo tiempo Galileo es obligado a poner en duda la esfericidad de la Tierra, pero a finales del mismo siglo Newton afirma haber descubierto una forma de **elipsoide de revolución** (achatado por los polos) como forma matemática para representar la Tierra. Pero midiendo las verdaderas verticales dadas por una plomada nos da una nueva forma llamada **geoide**, que corresponde al nivel medio del mar. Esta forma es muy irregular porque varía según la canti-

dad de masa de la esfera terrestre (variaciones gravimétricas debidas a montañas, volcanes, etc.), por tanto se utiliza el elipsoide como forma matemática. Al ángulo entre la vertical del geoide y del elipsoide se llama la desviación de la vertical (fig. 1).

B2 b) COORDENADAS GEOGRAFICAS

En toda superficie de revolución existen los **meridianos**, que son las secciones producidas en ella por cualquier plano que contenga el eje de revolución.

Los paralelos son las circunferencias producidas por la intersección de planos perpendiculares al eje con el elipsoide. Al de mayor dimensión se le denomina **Ecuador**, y a partir de él disminuyen los radios en relación a los polos.

La **situación de un punto**, sobre el elipsoide viene dada por la intersección de un meridiano, y un paralelo, determinando las coordenadas geográficas **longitud y latitud**.

La **longitud**, es el ángulo diedro, en grados, minutos y segundos, medido en el plano del Ecuador, entre un meridiano cero y otro que pase por el punto interesado. El meridiano cero internacional es el de **Greenwich**. En el caso del «Mapa Nacional de España», el meridiano de origen es el de Madrid. Para pasar de la longitud E del meridiano de Greenwich debemos restar 3° 41' 14".

La **latitud**, es el ángulo medido en un meridiano, que forma el plano del Ecuador, con el punto interesado (fig. 2).

Actualmente la mayoría de los mapas topográficos incluyen las coordenadas UTM, que son de más fácil utilización. Éstas se miden en unidades métricas y no en grados. El equivalente a la longitud es la «X» y a la latitud es la «Y». En el mapa topográfico Nacional a escala 1/50.000 se observa una cuadrícula negra con una numeración en

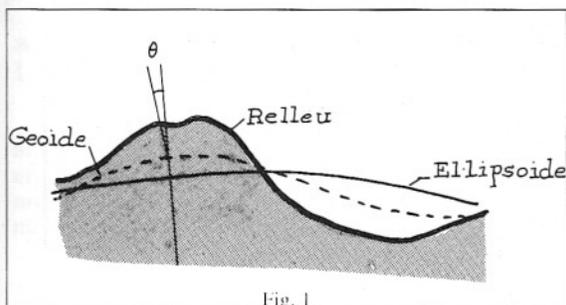


Fig. 1

los lados compuesta de uno o dos números pequeños y dos mayores. Por ejemplo 390, significa el coordenado 390.000 en la «X» y el número 4654, significa el coordenado 4.654.000 m en la «Y». Un punto situado entre dos cuadrículas se mide directamente sobre el mapa con la escala y se transforma en metros.

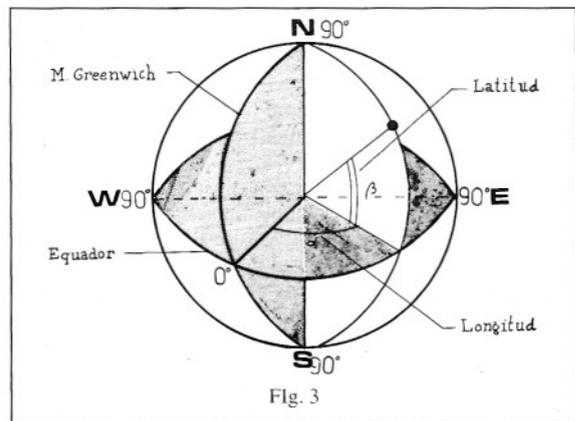


Fig. 3

B2 c) REDES GEODÉSICAS

Estos trabajos geodésicos deben ser de una extrema precisión, por tanto deben llegar a una máxima perfección. El sistema utilizado es el de la **triangulación**. Éste se basa en una **red de triángulos** llamados de **primer orden** (fig. 3), la que está rellena por otros de lados más pequeños, llamados de **segundo orden**, y éstos por otros llamados de **tercer orden**. Los lados de los triángulos de 1º orden tienen entre 30 y 70 km, pero excepcionalmente pueden llegar a los 270 km., como el del Mulhacen-Filhansen (Argelia) realizado en 1879. Para realizar estas triangulaciones se mide una base, lo más exacta posible (al milímetro), y después con aparatos muy precisos (teodolitos de segundos), se miden los ángulos de los triángulos, de esta forma se pueden calcular los lados de los triángulos. La base de la triangulación en España se realizó en Madribejos (Toledo) de 14622,885 mts. con un error de 2,500 mm. Todos los **vértices geodésicos** se señalan sobre el terreno. El de 1º orden es una serie de cilindros que van disminuyendo de tamaño, de unos 3 mts. en la base y unos 5 a 7 m. de altura. Los de 2º orden, son varios cuerpos de base cuadrada de un metro y medio de alto. Los de 3º orden, son lindes prismáticos de 0,3 m. por 0,7 m. de altura.

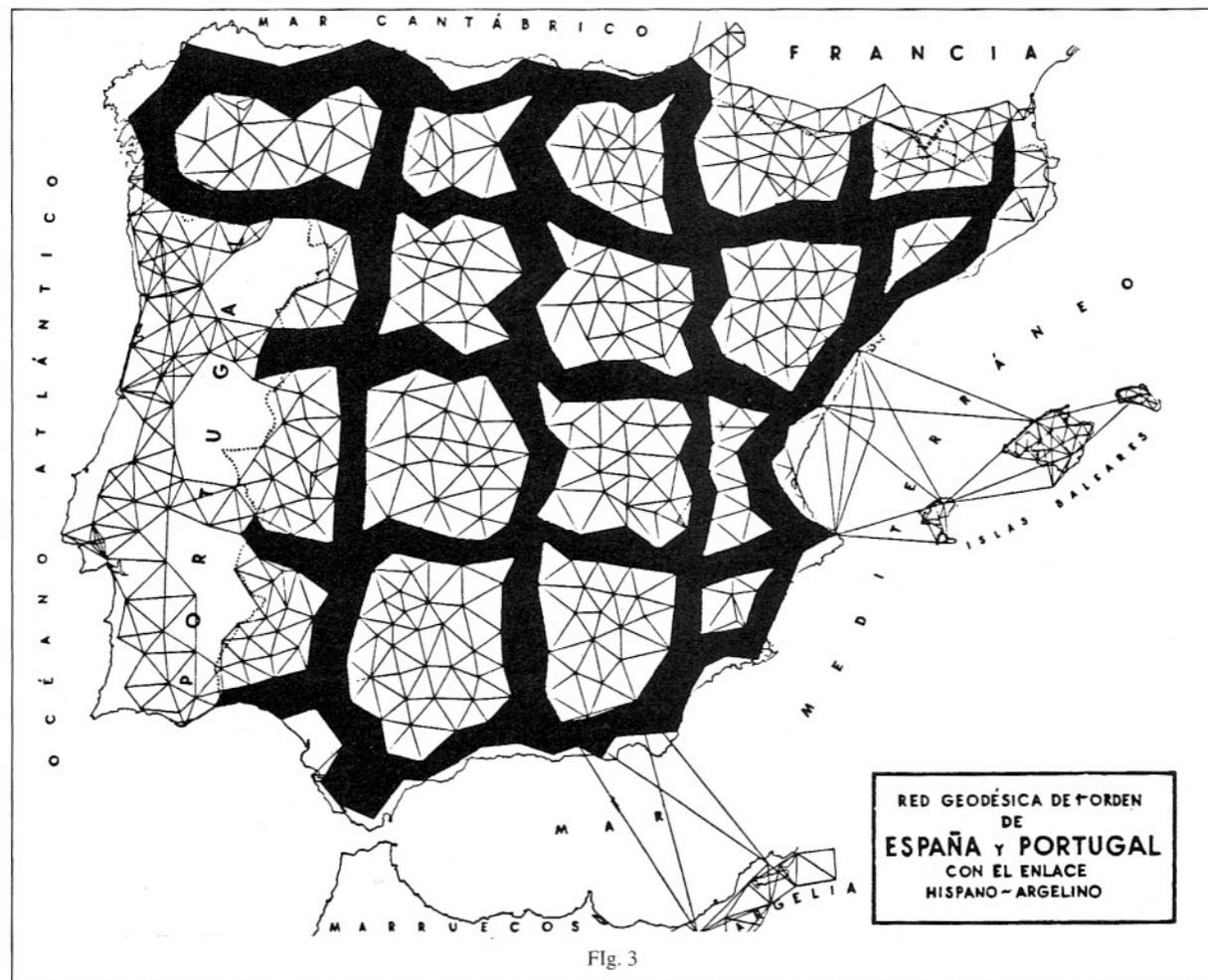


Fig. 3

B3. PRECISION DE LAS TOPOGRAFIAS: ESTUDIO DE LOS ERRORES

En toda topografía es fundamental saber el grado de precisión con el que se trabaja. Esta está en función del material que se utiliza, la técnica y el factor humano, que en espeleología es muy variable, ya que está influenciado por las condiciones típicas de la cavidad (frío, cansancio, dificultades técnicas, etc.).

Al realizar una topografía en el exterior, siempre se realiza «cerrada», o sea que, o bien se efectúa una poligonal que acaba en el mismo punto de salida, o se enlazan dos puntos que conocemos perfectamente. Con esto lo que se consigue es ver cuál es el error cometido, y con unas fórmulas adecuadas se calcula la tolerancia. Si es mayor que el error cometido se compensa toda la poligonal; sino deberá repetirse. En espeleología casi nunca se realizan poligonales cerradas y por tanto desconocemos el error que efectuamos. Por tanto es necesario buscar alguna aproximación para calcular la precisión con que se trabaja. Marbach, Courbon (1972) y Franck, Miranda (1974), proponen varios métodos para efectuarlo de una forma bastante correcta, como después veremos.

B3 a) LOS ERRORES

En primer lugar no debemos confundir **error** con **equivocación**; una equivocación normalmente es bastante grande y es fruto de no poner atención. Por tanto son errores que se pueden evitar trabajando cuidadosamente, ya que los otros errores son inevitables. Los errores pueden ser: sistemáticos o accidentales.

a.1. ERRORES SISTEMATICOS

Son los que se cometen siempre igual, en la misma cantidad y sentido, por tanto se acumulan. Pueden ser calculados y evitados. Por ejemplo, una cinta métrica de 20 m que sea 5 cm más corta, al medir 100 m tenemos 25 cm de error. Otro caso muy típico, es el que dos espeleólogos que efectúan la topografía no miden igual (ver C1 g.8), en el caso que haya 10 cm de diferencia, al hacer 100 estaciones se comete 10 m de error (!).

a.2. ERRORES ACCIDENTALES

Son los errores imprevisibles, que se producen por una falta de precisión en las lecturas. Pueden ser en un sentido u otro, portanto tienden a compensarse parcialmente.

a.3. NECESIDAD DE ESTABLECER UN ERROR MEDIO

Al calcularse una serie de errores cometidos, hemos de hallar el error medio, éste puede ser de varios tipos: el **error probable**, el **error medio aritmético** y el **error medio cuadrático**. El que vamos a utilizar es el error medio cuadrático, que viene dado por la siguiente fórmula:

$$E = \pm \sqrt{n \cdot e^2} = \pm e \sqrt{n} \quad (1)$$

donde **n** es el número de medidas y **e** el error accidental de cada medida. Si por ejemplo efectuamos 25 medidas iguales con unos 10 cm de error cada una, el error medio cuadrático no es $25 \times 0,1 = 2,5$ m, sino:

$$E = 0,1 \sqrt{25} = \pm 0,5 \text{ mm}$$

Si el error varía, llamaremos cada uno $e_1, e_2, e_3, \dots, e_n$, y el error medio cuadrático será:

$$E = \pm \sqrt{e_1^2 + e_2^2 + \dots + e_n^2} \quad (2)$$

Si efectuamos una poligonal y cada lado es diferente (5, 10, 10, 20 m) y suponemos un error de cada lado de un 1%, tenemos:

$$E = \pm \sqrt{5^2 + 10^2 + 10^2 + 20^2} \text{ cm} = \pm \sqrt{625} = \pm 25 \text{ cm}$$

En el caso de los desniveles entre dos puntos de longitud **l** y un ángulo de inclinación α el desnivel es:

$$\Delta h = l \cdot \text{sen } \alpha$$

Para buscar el error debemos utilizar el cálculo diferencial y por tanto tendremos:

$$e = \text{sen } \alpha + l \text{ cos } \alpha \text{ d } \alpha \quad (3)$$

el error cuadrático será:

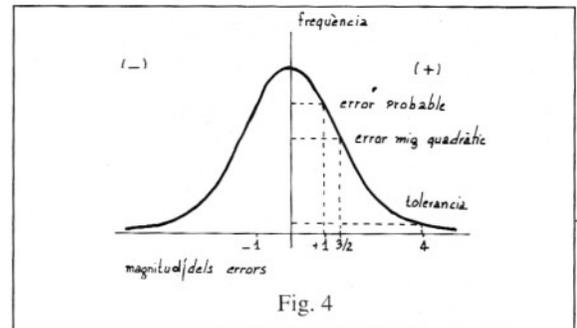
$$e = \sqrt{(\text{sen } \alpha \text{ d } l)^2 + (l \cdot \text{cos } \alpha \text{ d } \alpha)^2} \quad (4)$$

a.4. REPARTO DE ERRORES

Si representamos gráficamente el reparto de errores en función de su magnitud y su frecuencia nos da la conocida curva de Gauss (fig. 4). En ella podemos ver:

- a) el error probable
- b) el error medio cuadrático
- c) la tolerancia

El cálculo de probabilidades demuestra que el error medio cuadrático es 3/2 del error probable y la tolerancia es cuatro veces el error probable; por tanto la tolerancia será: $t = 4 \cdot 2/3 \text{ eem} = 2,7$ veces el error medio cuadrático.



B3 b) CALCULOS PARA SABER LA PRECISION DE UNA CAVIDAD

b.1. PROFUNDIDAD

Sea R la longitud desarrollada de una cavidad, Z el desnivel absoluto y α el ángulo medio de la cavidad (fig. 5), tenemos que

$$\operatorname{sen} \alpha = \frac{Z}{R}$$

la medida media de la poligonal será:

$$r = \frac{R}{n}$$

utilizando las fórmulas (1) y (3) tenemos:

$$E = \operatorname{sen} \alpha \sqrt{n} dr + \frac{R}{\sqrt{n}} \cos \alpha d \alpha \quad (5)$$

Es necesario tener en cuenta el error de centrado. Si los dos espeleólogos miden igual en las galerías grandes no hay problema, pero en los meandros o gateras si se agachan los dos no hay seguridad de que estén igual; por tanto debe suponerse una incertidumbre de como mínimo 0,1 mts.

Sea m el número de estaciones que se han hecho en estas condiciones adversas, tendremos un error de:

$$E = \pm e \sqrt{n} = \pm 0,1 \sqrt{m} \quad (6)$$

Componiendo cuadráticamente (5) y (6), tenemos un error medio cuadrático en la profundidad total de:

$$E = \pm \sqrt{\left(\operatorname{sen} \alpha \sqrt{n} dr + \frac{R}{\sqrt{n}} \cos \alpha d \alpha\right)^2 + (0,1 \sqrt{m})^2}$$

$$E = \pm \sqrt{n (\operatorname{sen} \alpha dr)^2 + \frac{1}{n} (R \cos \alpha d \alpha)^2 + m(0,1)^2} \quad (7)$$

Si utilizamos el ejemplo de Marbach (1972) tenemos una cavidad con un recorrido de la galería principal de $R = 1.000$ mts. Tiene una profundidad de -500 mts. pero formados por $R + 100$ mts. y -500 mts., por tanto el desnivel absoluto es de $Z = 600$ mts. El número de estaciones es $n = 144$. Por tanto el ángulo α general será:

$$\operatorname{sen} \alpha = \frac{Z}{R} = \frac{600}{1000} = 0,6$$

y el coseno: $\cos \alpha = 0,8$.

Debe tenerse en cuenta lo siguiente: la medida de los ángulos de pendiente con el clinómetro están hechos con una precisión de 1 grado, por tanto $d \alpha = \pm 1^\circ$, y en radianes $d \alpha = 1/64$

Las longitudes de las distancias están hechas con una precisión de un 1% y por tanto si tenemos 1.000 mts. dividido entre 144 nos da una medida de cada lado de la poligonal de unos 7 mts., por tanto el error del 1% será de 0,07 mts. Si el error de centrado es de unos 0,1 mts., el error de cada medida será aproximadamente (error medio cuadrático):

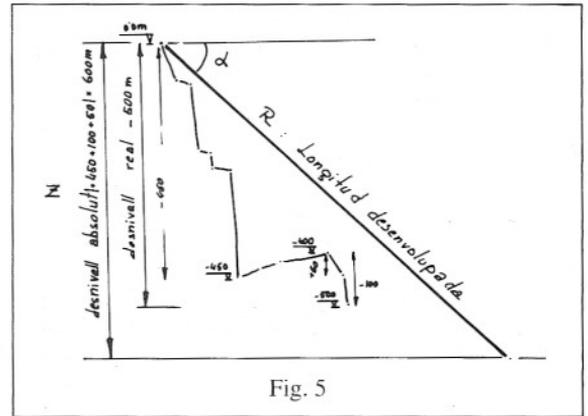
$$dr = \pm \sqrt{(0,07)^2 + (0,1)^2} = \pm 0,12 \text{ mts.}$$

Supongamos que en 25 estaciones ha habido el error de centrado en vertical que hemos visto antes, tendremos $m = 25$. Substituyendo estos valores en la fórmula (7) nos daría:

$$E = \pm \sqrt{144 (0,6 \times 0,12)^2 + \frac{1}{144} (1000 \times 0,8 \times \frac{1}{64})^2 + 25 (0,1)^2} = \pm 1,44 \text{ mts.}$$

Como hemos visto al principio la tolerancia es 2,7 veces el error medio cuadrático, será pues: $2,7 \times 1,44 = \pm 3,9$ mts. Como el desnivel era de 600 mts. y el error de 3,9 mts., esto significa, expresado en tanto por ciento que se ha trabajado con una precisión de un 0,65%.

Quiere decir que sin tener en cuenta ni los errores sistemáticos (que se pueden corregir) ni las equivocaciones (que se pueden evitar) se puede encontrar el desnivel de una cavidad con un error menor a 1,1%.



b.2. PLANIMETRIA

Al hacer la planta de la cavidad se utiliza el **ángulo horizontal** y la **distancia horizontal**, por tanto los errores estarán en función de estas dos variables:

—El ángulo horizontal, respecto al Norte magnético se mide con una precisión de 1 ó 2 grados. El ángulo de error será dH .

—En la medida de las longitudes, el error dr , se supone normalmente de un 1%, o sea $r/100$.

—También ha de tenerse en cuenta el error de centrado dk , que si se hace cuidadosamente puede ser de unos 10 cm. Según se aprecia en la figura 6, éste es inversamente proporcional a la longitud. Así EE es el error máximo en el punto de estación (PE) y EV, el error en el punto visionado (PV). El ángulo de error ED formado entre D y la tangente a la circunferencia es:

$$ED = \operatorname{arc} \operatorname{tg} \frac{EE + EV}{D}$$

con ésta se demuestra que como más largo sea D, más pequeño será el error.

A estos errores han de sumarse dos nuevos aspectos: el realizado en la visual y en sentido transversal.

En el sentido visual, tan sólo interviene el error de centrado y la imprecisión de la medida de las longitudes.

El error resultante es:

$$e_1 = \pm \sqrt{(dr)^2 + (dk)^2} \quad (8)$$

sustituyendo por los valores dados:

$$e_1 = \pm \sqrt{\frac{r^2}{100} + (0,1)^2}$$

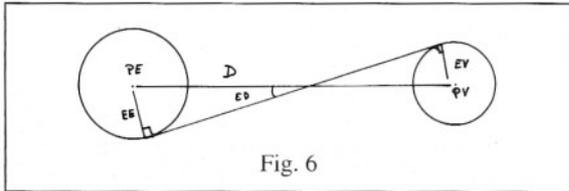
En el sentido transversal interviene la imprecisión de las medidas del ángulo horizontal y error de centrado. Por tanto si la longitud de una medida es r, y el error del ángulo dHz (en radianes), el error en planimetría que habremos cometido será r x dHz.

El error resultante es:

$$e_2 = \pm \sqrt{(rdH_z)^2 + (dk)^2} \quad (9)$$

Si consideramos el error de la brújula de unos 2 grados, en radianes será $dH_z = \frac{2}{64}$, sustituyendo:

$$e_2 = \pm \sqrt{\frac{(2r)^2}{64^2} + (0,1)^2}$$



En cada visual podemos construir una elipse de incertidumbre, tal, que cada eje sea uno de los errores que hemos visto, e₁ y e₂.

Si la cavidad tuviese todos los lados de la poligonal iguales tendríamos una elipse con los dos ejes E₁ = e₁ √ u y E₂ = e₂ √ u. Pero como en realidad varían bastante, es mejor considerar un círculo en vez de una elipse, donde el diámetro es el error e₂, ya que la brújula es la principal fuente de errores. Tal como se ha hecho en la profundidad, tenemos: R la longitud de la cueva, n el nombre de medidas. Sustituyendo r = R/n en la fórmula (9) tenemos:

$$e_2 = \pm \sqrt{\frac{(RdH_z)^2}{n^2} + (dk)^2}$$

El error total al final de n medidas será (utilizando la fórmula (1):

$$E = e_2 \sqrt{n} = \pm \left(\sqrt{\frac{(RdH_z)^2}{n^2} + (dk)^2} \right) (\sqrt{n}) = \pm \left(\sqrt{\frac{(RdH_z)^2}{n} + n (dk)^2} \right) \quad (10)$$

Sustituyendo los valores numéricos dados, y dando el valor de dHz (2 grados) en radianes será:

$$\frac{2^2}{64^2} = \frac{4}{4096} \approx \frac{1}{1000}$$

por tanto E da:

$$E = \pm \frac{1}{10} \sqrt{\frac{r^2}{10n} + n}$$

Si tenemos una cavidad de 1.000 mts. de recorrido, con 100 lados de poligonal sustituyendo a la fórmula (10), el error medio cuadrático es E = 3,32 mts.

La tolerancia será 2,7 x 3,32 mts. = ± 10 mts.

Esto nos da una precisión en tanto por ciento de un 1% aproximadamente.

Esta precisión aumenta mucho si aumentamos el número de lados de la poligonal. Es necesario constatar que no se ha hablado de la influencia del error en la pendiente, ya que las distancias en planta son las reducidas al horizontal, pero teniendo esto en cuenta el máximo que nos puede variar es, en vez de un 1% pasa a ser 1,01%, por tanto podemos despreciarlo.

B3 c) CONCLUSIONES IMPORTANTES:

En trabajos importantes de topografía es necesario utilizar las fórmulas (7) y (10) para saber el orden de precisión.

- Es necesario fijarse bien para evitar equivocaciones o errores considerables.

- Revisar los aparatos a utilizar y compararlos con los otros que sabemos que son correctos para conocer el error sistemático, sobre todo con las cintas métricas y topófilos.

- Hacer las medidas con cuidado, leyendo la brújula y el clinómetro con cuidado y afinando el máximo posible.

- Es fundamental que la altura de los ojos de quien lee el aparato sea la misma que la de donde mira (normalmente la luz del otro espeleólogo) ya que esto comporta un error sistemático que puede ser muy grande; por ejemplo una diferencia de 10 cm., que parece poca cosa, en una cavidad de 100 estaciones (caso bastante frecuente), nos da de entrada un error de 10 m., en el desnivel (!!).

- Como se ha visto en la fórmula (10) cuanto más se fracciona la poligonal más precisión obtendremos.

- Hay que tener en cuenta el contrajo de las estaciones y colocarlas lo más exactamente posible en el lugar donde estaba la anterior, o bien haciendo una señal en el suelo, o esperando que nuestro compañero venga a colocarse en el mismo lugar.

- En caso de estar muy cansado, (una punta muy dura, etc.) hay que ser consciente de esto y tener en cuenta que disminuye el grado de precisión de la topografía. Según los casos es conveniente dejar la topografía o limitarse a hacer un «croquis topográfico».

- Teniendo en cuenta los cálculos anteriores es necesario especificar en cada trabajo el grado de precisión.

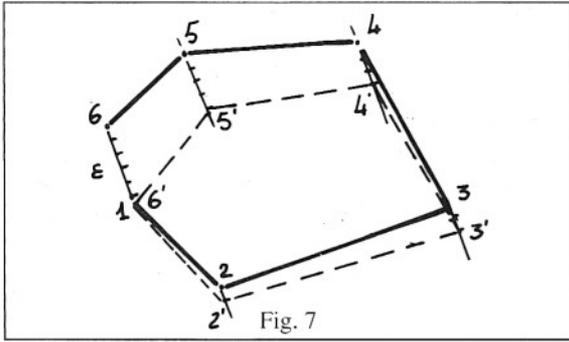
B3 d) COMPENSACION DE LOS ERRORES

Como hemos visto al principio, en caso de hacer una poligonal cerrada o que se apoye en dos puntos conocidos, sabremos el error cometido, y si es inferior a la tolerancia se puede compensar.

d.1. PLANIMETRIA

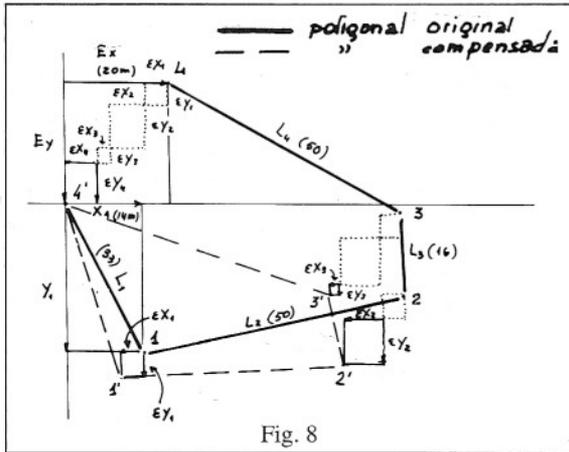
En la fig. 7 hay un ejemplo de una poligonal cerrada donde el punto n° 6 debía coincidir con el n° 1. El seg-

mento E es el error que se ha cometido. Para compensarlo se puede hacer gráficamente o mediante coordenadas.



a- **gráficamente:** se unen los dos puntos que deberían coincidir mediante una recta (1-6), y se dividen en tantas partes como segmentos hay en la poligonal. Se trazan paralelas a ésta en cada punto y en el n° 2 se coloca una de las partes en que se ha dividido el error, en el n° 3, 2, y así sucesivamente, y se construye la nueva poligonal 1', 2', 3', 4', 5', 6'.

b- **por coordenadas:** es parecido al caso anterior pero calculándolo numéricamente, y haciéndolo proporcional a cada lado de la poligonal. Entre el punto n° 1 y 4 hay un error de cierre que tiene unas coordenadas E_x y E_y . Para saber las nuevas coordenadas de cada punto (X_1 , Y_1) debe hacerse las siguientes operaciones: (fig. 8).



$$X'_1 = X_1 - \epsilon X_1 \quad (1)$$

$$Y'_1 = Y_1 - \epsilon Y_1 \quad (2)$$

donde X_1 es la coordenada original.

Para encontrar ϵX_1 hay que hacer una proporción en función de la longitud entre 1 y 2 (utilizando la distancia ya reducida a la horizontal) y será

$$\epsilon X_1 = \frac{E_x}{\sum L_i} L_i$$

o sea por ejemplo si $E_x = 20$ cm., la suma de las longitudes = $33 + 50 + 16 + 50 = 149$ mts., en el primer caso será

$$\epsilon X_1 = \frac{20}{149} \cdot 33 = 4,42 \text{ mts.}$$

en el siguiente punto:

$$\epsilon X_2 = \frac{20}{149} \cdot 50 = 6,71 \text{ mts.}$$

al cual sumándole lo anterior nos da $4,42 + 6,71 = 11,13$ mts. y así sucesivamente. Si la coordenada del punto 2 era $X_1 = 14$ mts. aplicando la fórmula (1) tenemos:

$$X'_1 = X_1 - \epsilon X_1 = 14 - 4,42 = 9,58$$

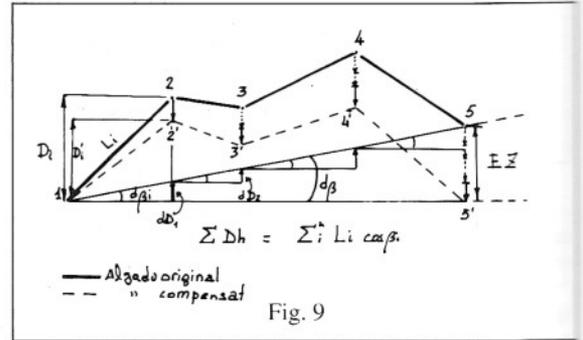
para $X_2 = 64$ mts., tenemos:

$$X'_1 = 64 - 11,13 = 52,87 \text{ mts.}$$

etc. Lo mismo se haría con las Y_1 hasta encontrar que las coordenadas del punto n° 5 son las mismas que el n° 1.

d.2. ALTIMETRIA

Si tenemos un alzado como en la fig. 9 y el error al final es EZ, se une el primer punto con el último y tendríamos el ángulo medio de error, que llamaremos $d\beta$. Se forma un triángulo rectángulo tal que un cateto es el error EZ; y el otro es la suma de las distancias horizontales o sea cada longitud por el coseno de su ángulo horizontal ($\sum L_i \cos \alpha_i$).



En cada punto hay un desnivel que llamamos D, la nueva cota (D') será restando de D el error cometido que llamaremos dD . Por tanto tenemos:

$$D' = D - dD$$

El nuevo ángulo será el que ya tenía (β) menos el ángulo de error a compensar $d\beta$, sustituyendo tenemos:

$$D' = D - dD = L \text{ sen } (\beta - d\beta) = L \text{ sen } \beta \cdot \text{cos } d\beta - L \text{ cos } \beta \text{ sen } d\beta$$

como $d\beta$ es pequeño por definición, $\text{cos } d\beta$ tiende a 1 y $\text{sen } d\beta$ es casi igual a $\text{tg } d\beta$, por tanto podemos decir:

$$\text{tg } d\beta = \frac{EZ}{\sum L_i \text{cos } [\beta_i]}$$

Como hemos visto, $L_i \text{cos } \beta_i$ es la proyección a la horizontal de cada segmento en valor absoluto (sin signo). Sustituyendo tenemos que en cada punto la nueva cota será D' :

$$D'_i = D_i - dD_i = L_i \cdot \text{sen} \beta - L_i \text{cos } [\beta_i] \frac{EZ}{\sum L_i \text{cos } [\beta_i]}$$

teniendo en cuenta que EZ conserva su signo.

B4. UNIDADES

Como después veremos, para realizar las topografías, necesitamos unas medidas. Estas medidas pueden ser **lineales**, de **superficie**, de **volumen** y **angulares**. Para medir estas magnitudes, necesitamos unas unidades.

B4 a) UNIDADES DE LONGITUD

La unidad de longitud que utilizamos normalmente es el **metro** (medida de una barra de platino e iridio, a cero grados, que se guarda en la Oficina Internacional de Pesos y Medidas de París). Por tanto el sistema que utilizamos es el **decimal**.

B4 b) UNIDADES DE SUPERFICIE

La unidad de superficie es el **metro cuadrado** (m²) aunque en topografía exterior se utiliza la hectárea (Ha), que equivale a la superficie de un cuadrado de cien metros de lado. En espeleología, al ser las dimensiones más reducidas, emplearemos el m². Normalmente se utiliza para valorar grandes salas, superficies de lagos, etc.

B4 c) UNIDADES DE VOLUMEN

Muchas veces es interesante hacer un cálculo lo más aproximado posible del volumen de una sala, o de una galería o bien de toda una cavidad, para poder calcular el índice de excavación. La unidad es el **metro cúbico** (m³).

B4 d) UNIDADES ANGULARES

Grados sexagesimales: es cada parte que resulta de dividir una circunferencia en 360 partes (°). Cada **grado** se divide en 60 partes, que son los **minutos** ('), y éstos en 60, formando los **segundos** ("). Por ejemplo: 4° 35' 10" (cuatro grados, treinta y cinco minutos y diez segundos).

Grados centesimales: es la parte resultante de dividir en 400 partes una circunferencia (g). Cada grado se divide en 100 partes, formando los minutos (m), y éstos en 100 más, formando los segundos (s). Actualmente, se va utilizando cada vez más esta graduación, por ser más sencilla y fácil de operar con ella. En topografía exterior prácticamente todos los aparatos son centesimales, en espeleología aún no. Al ser un sistema decimal podemos escribir: 18g. 25m. 63s., o bien 18g. 2563.

Transformación de graduaciones: Es interesante saber hacer la conversión de un tipo de grados a otro. El método es muy sencillo:

$$\frac{100 \text{ g. a g}}{90 \text{ g. a o}}$$

si el último ejemplo queremos pasarlo a sexagesimales debemos hacer la proporción:

$$\frac{100 \text{ g}}{90^\circ} = \frac{18,2563 \text{ g.}}{X}$$

$$X = \frac{9}{10} 18,2563 = 16^\circ,43097$$

la fracción 0°,43097 debemos expresarla en minutos y segundos. Multiplicando por 60 tenemos:

$$0,43097 \times 60 = 25' 8418$$

$$0,8418 \times 60 = 50", 5$$

Resultando:

$$18g,2563 = 16^\circ 25' 50",5$$

Igualmente podemos pasar de sexagesimales a centesimales haciendo la operación al revés. De toda manera, en casi todas las tablas trigonométricas existen tablas para esta conversión, evitándonos las operaciones.

El radian: es una unidad que prácticamente no utilizamos. Es el arco de longitud igual al radio. Si denominamos al radio r, y medimos la longitud del arco l, la medida expresada en radianes será:

$$a = \frac{l}{r}$$

y la longitud, si sabemos la medida en radianes y el radio será:

$$l = \frac{a}{r}$$

B5. SISTEMAS DE REPRESENTACION

Para poder representar gráficamente la superficie terrestre, necesitamos un sistema que sea válido para todas las condiciones y constante, que nos transforme las tres dimensiones a dos dimensiones. Es decir, lo que necesitamos es situar en un **plano de referencia** todos los puntos situados en el espacio, con la suficiente información para poder pasar de tres a dos dimensiones. Para esto utilizaremos las proyecciones.

B5 a) PROYECCIONES

Como ya hemos dicho, utilizaremos este sistema para representar sobre un plano de dos dimensiones, una serie de puntos que están en tres. Los sistemas perspectivos no se utilizan casi nunca, a excepción de algunas veces.

a.1. Tipos de proyecciones:

a.1.1. PROYECCIÓN CENTRAL o CÓNICA

Las líneas de proyección convergen en un punto. (Fig. 10a).

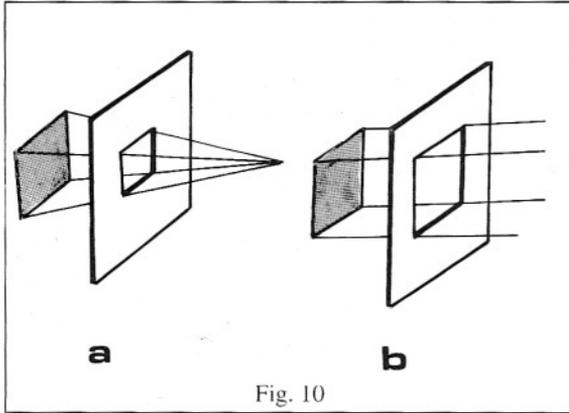


Fig. 10

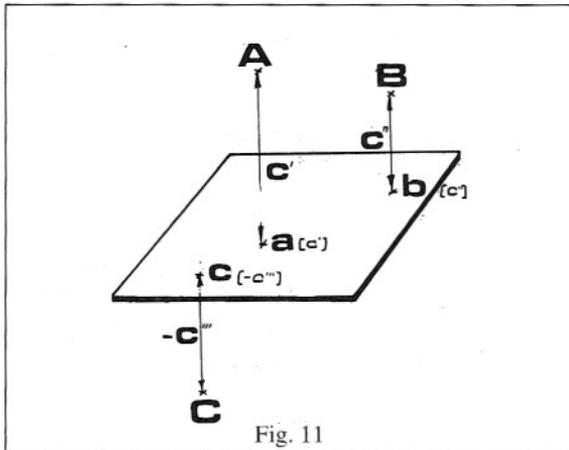


Fig. 11

a.1.2. PROYECCIÓN PARALELA

Es la que tiene las líneas paralelas (fig. 10,b). Hay tres tipos: la proyección **diédrica ortogonal**, **proyección axonométrica** y la **proyección acotada**. Esta última es la que se utiliza en topografía. Consiste en proyectar ortogonalmente los puntos en un **plano de comparación**. Para hacer el proceso reversible es necesario otro dato, la distancia **c** o cota. Ésta será positiva o negativa según si está encima o debajo del plano de referencia. (Fig. 11).

Normalmente utilizaremos este plano horizontal. Como que por dos puntos pasa una línea recta, uniremos puntos del espacio con líneas, como en la fig. 12, el segmento AB. Esta distancia la podemos medir, y la llamaremos (D) **distancia geométrica**. Pero lo que nos interesa es la proyección de esta línea sobre el plano horizontal. Esta nueva línea es ab, y la llamaremos (Dh) **distancia reducida a la horizontal**. Como vemos, si por B trazamos una horizontal, cortará en C la línea vertical A, consiguiendo un triángulo rectángulo donde CB = ab = Dh, y AC será la cota de B respecto A. Este triángulo no será muy útil como veremos más adelante.

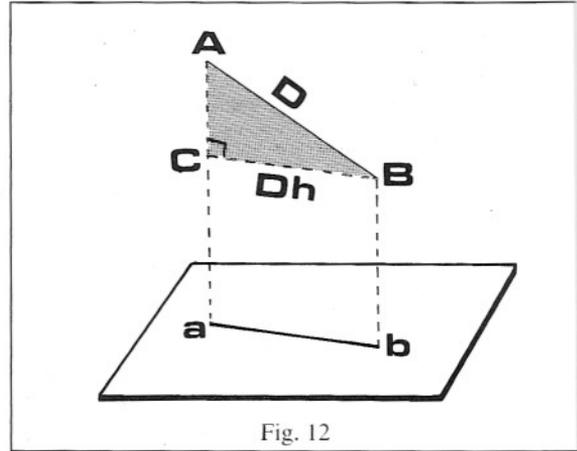


Fig. 12

Saber hasta qué punto la curvatura terrestre influye en la topografía es importante, por esto es necesario encontrar la superficie por encima de la cual influye y que por debajo la podemos considerar como un plano horizontal. Como podemos ver en la fig. 13, se considera la esfera terrestre, y el ángulo = 1°: NA en función del radio AO es por trigonometría (ver c.2 a.2.):

$$NA = AO \cdot \text{tg} \quad = 6363917 \text{ tg } 0'30'' = 55'557 \text{ m}$$

$$NN = 55,557.2 = 111114 \text{ m}$$

Si queremos hallar MB en función del radio:

$$MB = MO \cdot \text{sen} \quad = 6363917 \text{ sen } 0'30'' = 55,555$$

$$MM' = 55,555.2 = 111110 \text{ m.}$$

$$\text{El error es} = 111114 - 111110 = 4 \text{ m}$$

Siendo el relativo:

$$\frac{4}{111111} = 1/27777$$

muy inferior a cualquier operación topográfica. Por tanto se considera despreciable la curvatura terrestre hasta 111 km.

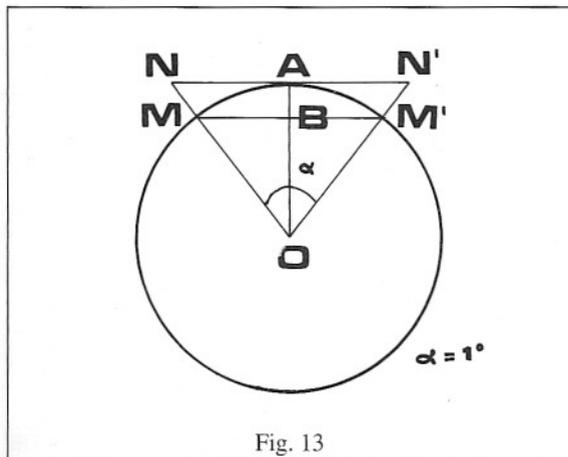


Fig. 13

a.2. PROYECCIONES CARTOGRAFICAS

Cuando se quiere representar la superficie de la Tierra, al ser curva no es válida la proyección topográfica antes vista, y por tanto hemos de recurrir a la **Cartografía**. Ésta utiliza diferentes tipos de proyecciones, pero todas ellas deforman la Tierra, esta deformación se denomina **Anamorfosi**.

Estas proyecciones según la anamorfosi pueden ser:

Proyecciones conformes: son las que conservan los ángulos del terreno, por tanto en superficie son parecidas la superficie y el mapa, variando ligeramente la escala al alejarnos del centro de proyección.

Proyecciones equivalentes: conservan las áreas, aunque las figuras dejen de ser parecidas.

Proyecciones afiláticas: o de mínima anamorfosi.

Proyecciones antomecoicas: conservan las longitudes en determinadas direcciones. Según el método seguido, las más importantes son:

Proyección policéntrica: es la adoptada por el «Mapa Nacional de España», a escala 1:50.000. Es la división de la Península en meridianos separados 20' en longitud y paralelos separados 10' en latitud, formando una cuadrícula. Cada trapecio curvilinio tiene como superficie de proyección un trapecio tangente al centro de cada uno, de aquí el nombre de **policéntrica**. (fig. 14).

Proyección cilíndrica conforme de Mercator: es la más utilizada en las cartas de navegación. Consiste en envolver la Tierra con un cilindro tangente a lo largo del Ecuador.

Proyección «Mercator Transverse Universal» (U.T.M.): es como la anterior pero el centro de proyección es un meridiano. Se utiliza muy particularmente por la **U.S. Army Map Service**, actualmente, se incluyen los nuevos mapas topográficos.

Proyección cónica conforme de Lambert: Utilizada por la cartografía de Francia. Este sistema sustituye la Tierra (fig. 15) por una superficie cónica tangente a lo largo del paralelo central (paralelo de origen), y el meridiano de origen es uno que ocupa el centro, la intersección es el **origen**.

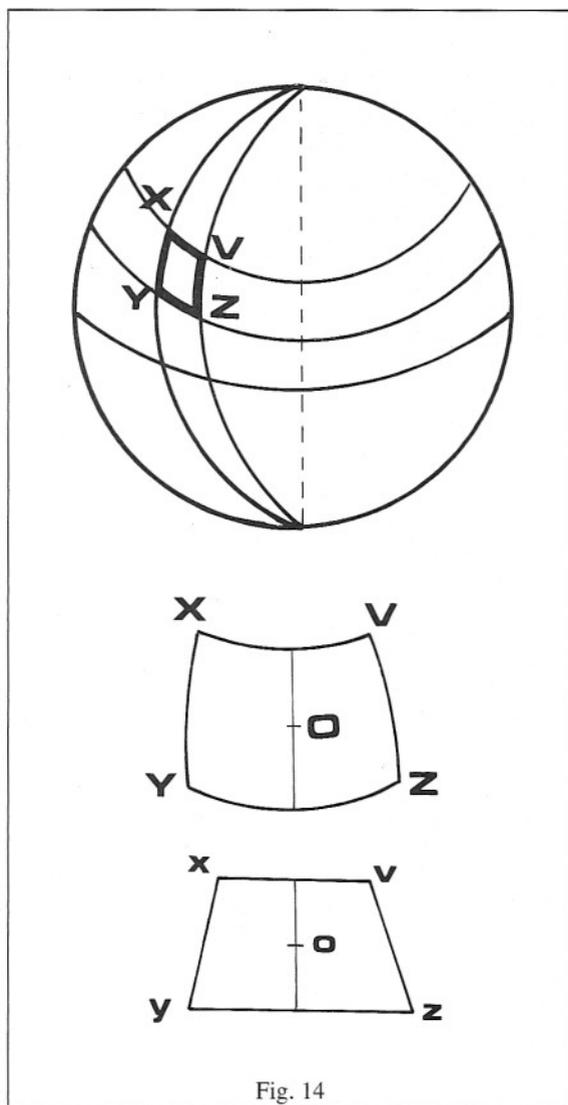


Fig. 14

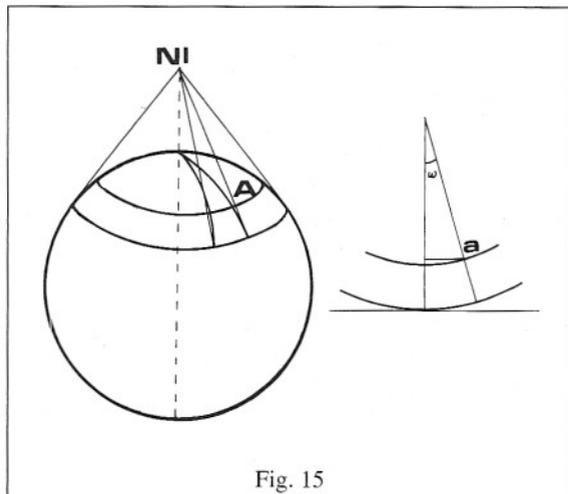


Fig. 15

B5 b) CURVAS DE NIVEL

Como ya hemos visto, el sistema elemental de representación de los puntos situados en tres dimensiones es la **proyección acotada**. Pero para facilitar la comprensión de la forma del relieve, se utilizan las **curvas de nivel**. Éstas son la unión, mediante líneas curvas de todos los puntos de igual cota.

En la fig. 16 se ven una serie de puntos con su cota. Uniendo los que tengan la misma, encontraremos las curvas de nivel. Cuando falten puntos, podemos extrapolar, como en el caso entre a y b, trazamos una recta y aproximadamente por la mitad pasará la curva 120.

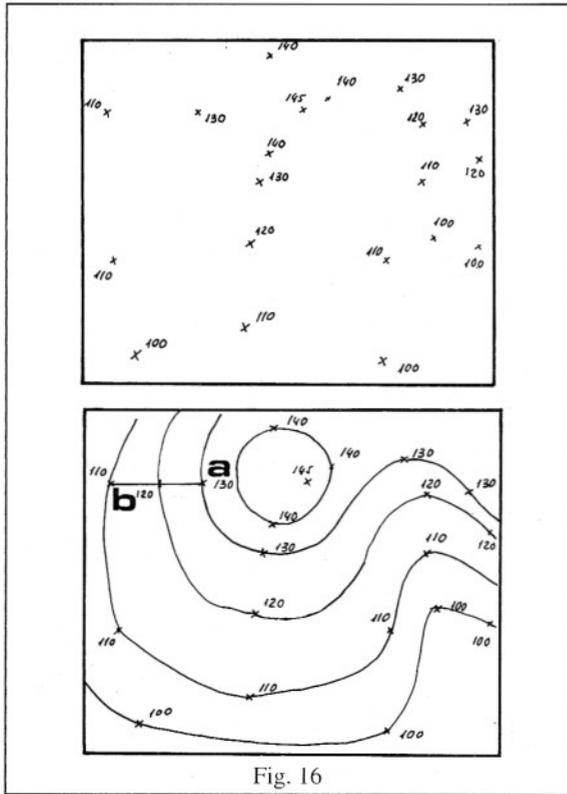


Fig. 16

Para que podamos entender mejor la idea de esta curva, podemos imaginar una serie de planos paralelos al de proyección horizontal que cortan el relieve, y a una distancia vertical, entre ellos, siempre constante que llamaremos **equidistancia**, (fig. 17). El resultado son estas curvas que después proyectaremos al plano de referencia. Entonces pondremos la cota de cada curva. En la figura 18 se ve como una serie de campos de arroz nos dan una imagen aproximada de lo que son las curvas de nivel.

Pendiente de una recta

Para poder realizar las curvas de nivel, debemos tener claro el concepto de pendiente de una recta. Esta es la razón entre el desnivel y la distancia horizontal, que como se verá más adelante se llama tangente.

$$p = \frac{V}{H} = \text{tg } \alpha$$

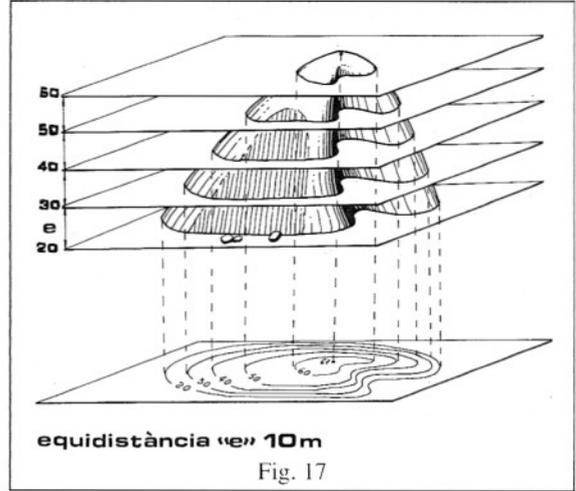


Fig. 17

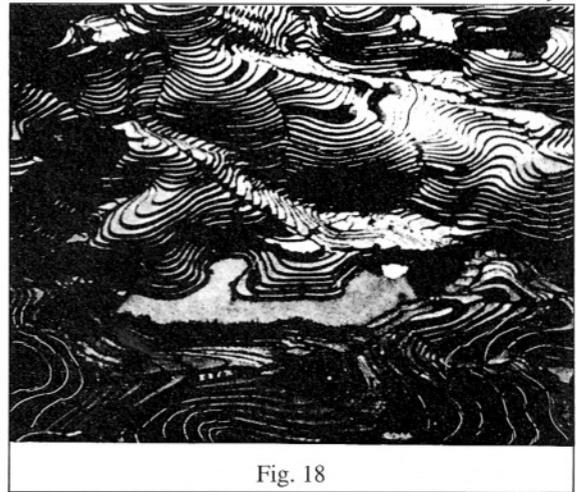


Fig. 18

Esta relación está en función del ángulo α (el ángulo de pendiente), (fig. 19), por tanto al aumentar el ángulo, también aumenta la razón. De esta forma la línea de máxima pendiente entre dos curvas de nivel de diferente cota, es la recta que las une con la máxima tangente, por tanto sería la línea que sigue cualquier fluido en un plano inclinado. En la fig. 19 se ha representado la pendiente de dos fragmentos AB y BC, con un ángulo de pendiente α y β respectivamente. Si trazamos unas líneas horizontales con una equidistancia e entre ellas, proyectando en un plano horizontal su intersección con los segmentos, nos dará los puntos de las curvas de nivel. Es evidente que como más grande sea el ángulo, las curvas estarán más juntas (segmento AB), y en el caso de BC, las curvas están más separadas.

En la fig. 20 vemos como para representar un relieve se hacen varios segmentos, EF, EH..., que con una equidistancia determinada e al proyectarlos, como hemos visto en la fig. 12, nos damos cuenta de una serie de puntos con cotas diferentes. Uniendo los de igual cota nos dará las curvas de nivel. Cuantos más segmentos realicemos conseguiremos representar mejor la forma topográfica.

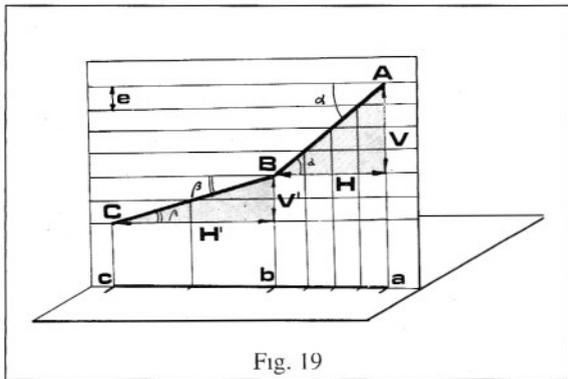


Fig. 19

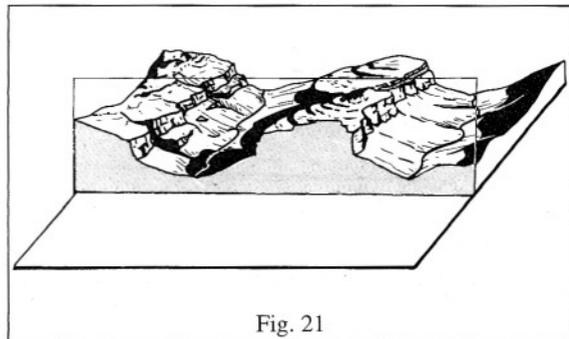


Fig. 21

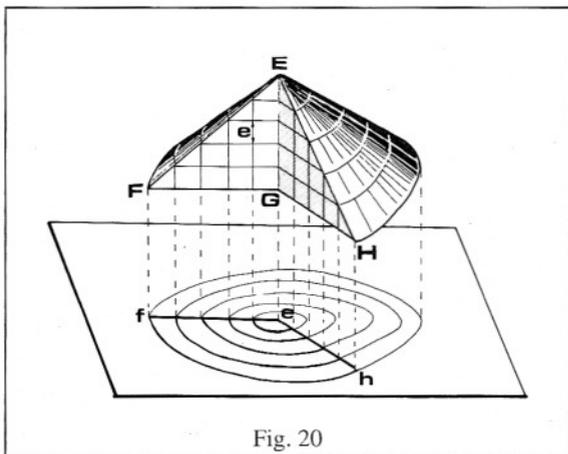


Fig. 20

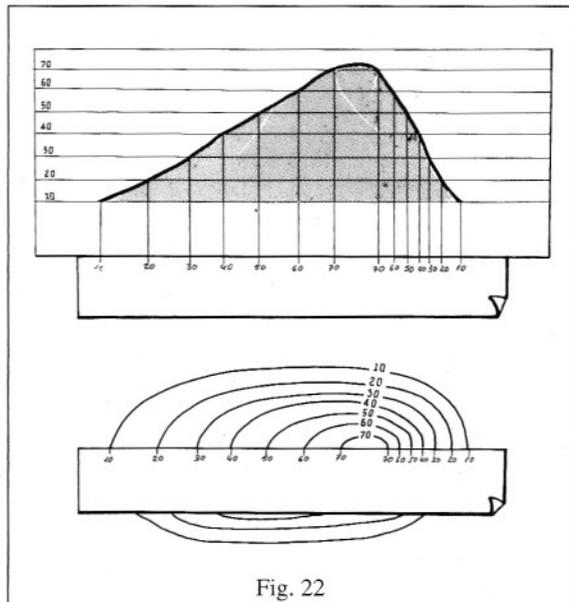


Fig. 22

B5 c) PERFILES

Lo último que acabamos de ver nos lleva a la idea de los perfiles. Éstos son la intersección del relieve con un plano vertical (fig. 21). El resultado es una línea más o menos sinuosa que sigue e contorno del relieve. Es el proceso contrario del que hemos visto hasta ahora, ya que se trata de confeccionar el relieve real partiendo de un mapa topográfico. Para nosotros es útil, no solo para hacer cortes de las montañas o itinerarios, sino también para introducirnos en la idea del alzado de una cavidad, que veremos más adelante.

La realización es muy sencilla: cogemos el mapa, y donde nos interesa hacer el corte trazamos una línea. Con una tira de papel señalamos las intersecciones de esta línea con las curvas de nivel. Trasladamos esta tira sobre un papel milimetrado (fig. 22). Se trazan unas líneas horizontales con la misma equidistancia que la de las curvas del mapa; entonces trazamos perpendiculares desde cada señal de la tira de papel hasta que corte la línea horizontal que le corresponde. Uniendo los puntos que se obtienen a cada paralela tenemos el perfil buscado.

Si utilizamos la misma escala horizontal que vertical nos da un relieve muy suave (fig. 23,1), si queremos resaltar las formas del relieve deberemos duplicar o triplicar la escala vertical (fig. 23,2).

B5 d) INTERPRETACION DE MAPAS TOPOGRAFICOS

Es totalmente imprescindible para el excursionista y sobre todo para el espeleólogo, saber interpretar un mapa topográfico. Con lo que acabamos de ver es muy sencillo poder ver a simple vista el relieve en un mapa. Veremos unas consideraciones generales que nos ayudarán a comprender mejor las formas del relieve:

- Como hemos visto la separación entre curvas nos indica si se trata de un pendiente fuerte o suave (fig. 24).
- Para distinguir un pico elevado de un hoyo o depresión, es imprescindible ver el sentido creciente o decreciente de las cotas de las curvas, ya que la forma es la misma (fig. 25).
- La intersección de una curva con un rio o torrente nos da una «V» con el vértice en el interior de la montaña. En cambio la loma que queda entre dos torrentes también tiene forma de «v» pero en sentido contrario (fig. 26). Como más profundo sea el torrente la «V» será más cerrada, por el contrario como más abierta sea la «V» se tratará de un torrente poco encajado.
- La casi superposición de curvas nos indica un relieve

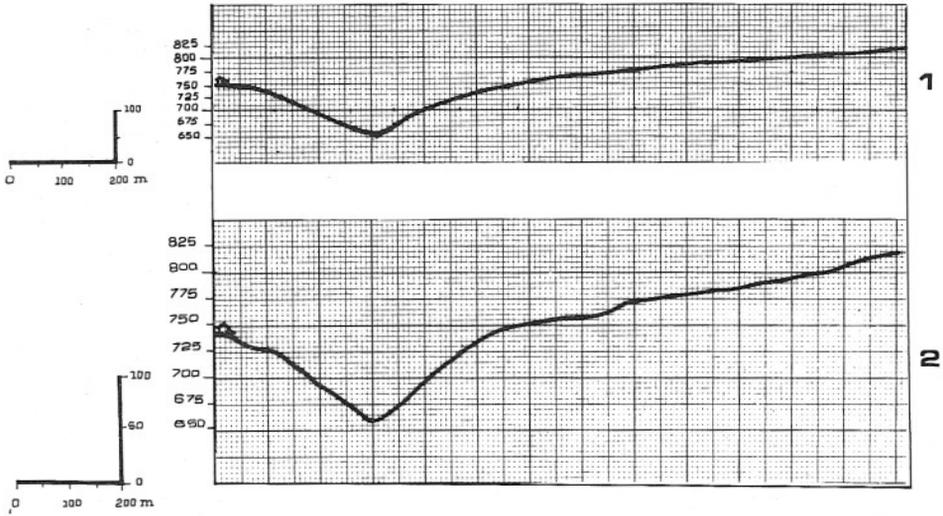
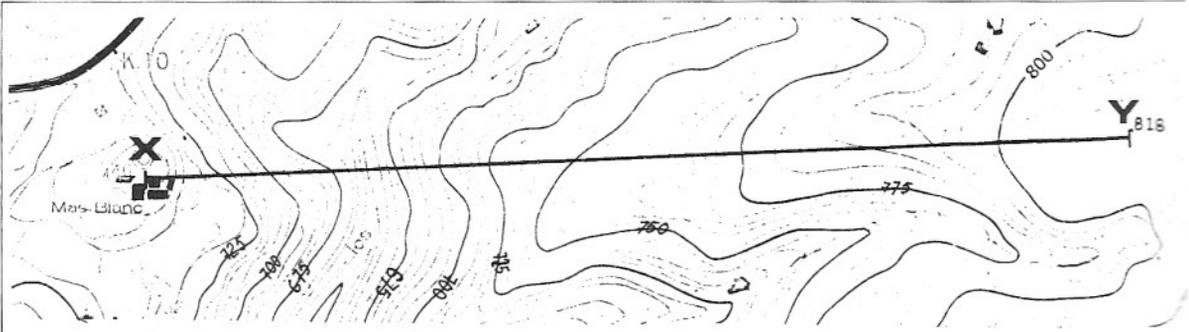


Fig. 23

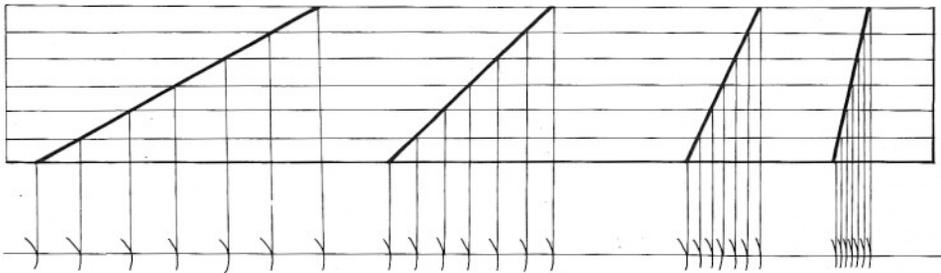


Fig. 24

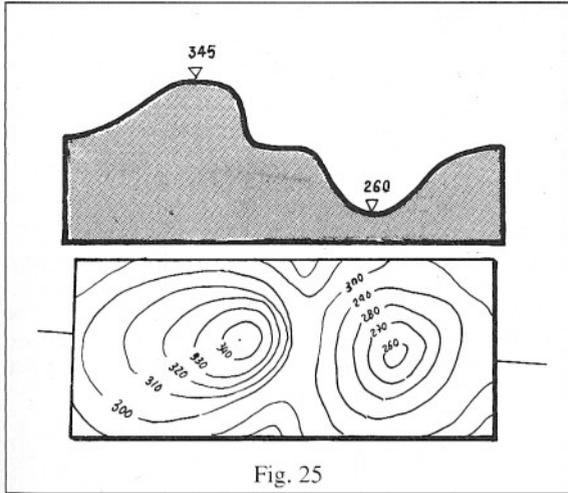


Fig. 25

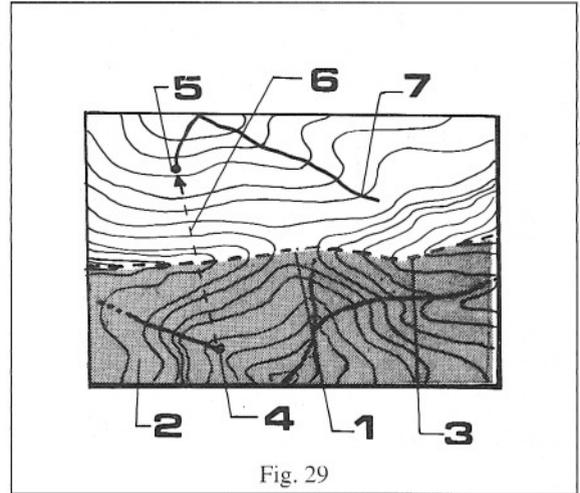


Fig. 29

- | | |
|------------------------|------------------------------|
| 1- Collado | 5-Resurgencia |
| 2- Cuenca hidrográfica | 6- Curso subterráneo teórico |
| 3- Divisoria de aguas | 7- Torrente |
| 4- Engullidor | |

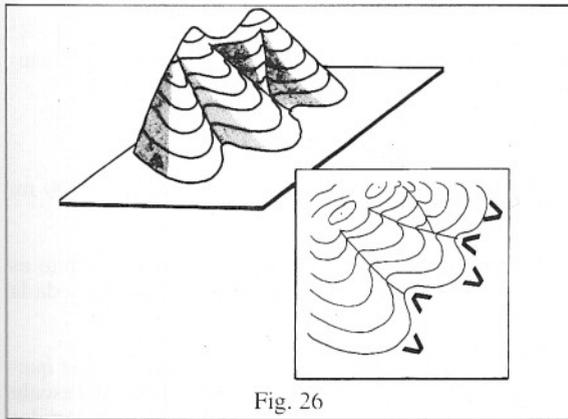


Fig. 26

muy abrupto. En la fig. 27, se ven una serie de acantilados con unos rellanos en medio. En la fig. 28, se ve un cañón cárstico con las paredes verticales.

—Los torrentes y ríos nos facilitan en gran manera la visión del relieve. Debemos tener en cuenta que la dirección de las aguas siempre siguen la línea de máxima pendiente.

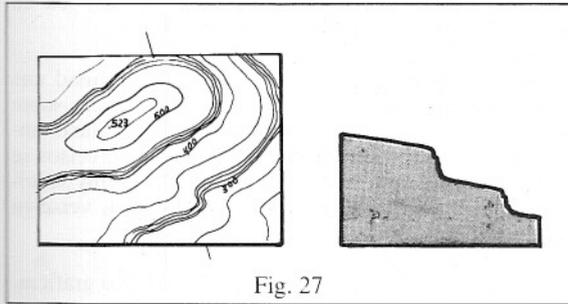


Fig. 27

La **cuenca hidrográfica**, es la zona de terreno en cuyas aguas se dirigen hacia el mismo río. El límite es la **divisoria de aguas**, o sea es una línea en donde unas aguas se vierten hacia una cuenca y las otras hacia otra. Se denomina **puerto o collado**, al punto más bajo correspondiente a una línea divisoria de aguas (fig. 29). Cada cuenca debe definirse a partir del punto del río que se tome, ya que cuencas diferentes de torrentes diferentes, pueden ir al mismo río. A veces las aguas de una cuenca pueden pasar a otra, por medio de un curso subterráneo (fig. 29,6), como el caso del engullidor de Aigualluts en la vertiente mediterránea de los Pirineos, que drena todo el agua del glaciar de la Maladeta al río Garona, en la vertiente del atlántico.—El plano de referencia «Mapa Nacional de España», o cota cero, es el del nivel medio del mar de Alicante. Éste se considera como un plano totalmente horizontal.

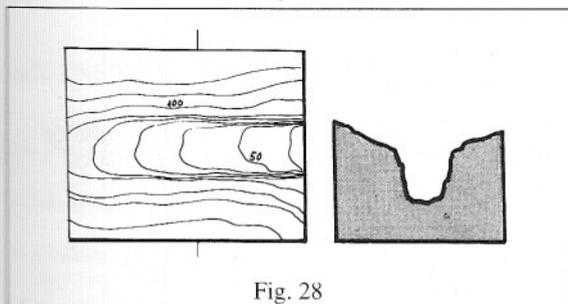


Fig. 28

B6. ELEMENTOS

B6 a) DISTANCIAS: TIPOS

Para poder representar gráficamente un objeto de tres dimensiones, como hemos visto ya, necesitamos un sistema de proyección. Para pasar del terreno al plano necesitamos hacer unas medidas **lineales** y **angulares** sobre el terreno.

Medidas lineales

Distancias lineales: prescindiendo totalmente de la curvatura terrestre, consideramos que la mínima distancia entre dos puntos es el **segmento rectilíneo** que queda comprendido entre ellos en línea recta.

Tipos de distancias

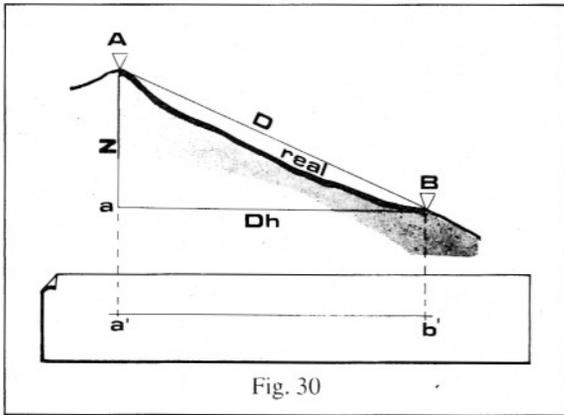
Como puede verse en la fig. 30, utilizaremos cuatro tipos de distancias:

– **Distancia natural o real:** es la que se aproxima más al verdadero perfil del relieve.

– **Distancia geométrica:** (D) es el segmento rectilíneo de unión entre dos puntos determinados (fig. 30 AB). Como más corta es esta distancia más se aproxima a la distancia real.

– **Distancia reducida:** (Dh) es la proyección de las anteriores distancias en un plano de referencia, normalmente horizontal: $aB = a'b'$.

– **Desnivel (distancia vertical) (Z):** es la diferencia de cotas entre los dos puntos. O bien, la distancia entre AB, medida en la vertical de uno de los puntos (en este caso A) y la intersección con una horizontal que pase por el otro (B).



a.1. ESCALAS

La medida en el campo nos da una magnitud muy grande para poder ponerla en el papel. Por tanto es necesario una transformación proporcional para reducirla y poder trabajar con ella. Con este fin utilizaremos una proporción denominada **escala numérica**:

$$\frac{1}{N} = \frac{n}{N'}$$

$$\frac{1 \text{ unidad del plano}}{N \text{ unidades realidad}} = \frac{n \text{ unidades del plano}}{N' \text{ unidades en realidad}}$$

«Una unidad del plano son N unidades de la realidad. n unidades del plano son N' unidades de la realidad». Se escribe en forma de fracción, por ejemplo: 1:200 ó 1/200.

Según la proporción del principio, los cálculos son sencillos. Si por ejemplo la medida real son 52 m y queremos saber cuántos cm corresponden del plano, a escala 1:200, tenemos (52 m = 5.200 cm)

$$\frac{1}{200} = \frac{n}{500}$$

de donde

$$n = \frac{5200}{200} = 26 \text{ cm}$$

El proceso puede ser al revés. Si queremos saber cuántos metros son 15 cm. de un mapa a escala 1:50.000:

$$\frac{1}{50.000} = \frac{15}{N'}$$

de donde $N' = 15 \times 50.000 = 750.000 \text{ cm.} = 7.500 \text{ m.} = 7,5 \text{ km.}$

Las proporciones son simples, lo más importante es tener en cuenta de poner las mismas unidades en toda la proporción.

Escala gráfica: Sabiendo la escala numérica que queremos utilizar, lo más práctico es construirla una **escala gráfica** en la cual pondremos las unidades ya convertidas en metros. En la fig. 31, vemos como para hacer una escala 1:200, un centímetro son dos metros, o sea un metro es medio centímetro, y 5 cm. son 10 m.

Así, cuando queramos saber cuál es en realidad una distancia del plano, sólo es necesario transportarla sobre la escala gráfica, o bien poner ésta encima del plano tantas veces como sea necesario. En planos muy precisos se utiliza la **escala de transversales** (fig. 32) de muy sencilla realización, y que se utiliza tal y como puede verse en la figura.

Existen varias formas de presentar las escalas gráficas. En la fig. 33 se puede observar varios ejemplos.

Las escalas más utilizadas son las siguientes:

$$\begin{array}{l} 1: 1.000.000 \\ 1: 500.000 \end{array} \left| \begin{array}{l} \text{Para mapas de todo un país.} \end{array} \right.$$

$$\begin{array}{l} 1: 200.000 \\ 1: 100.000 \\ 1: 50.000 \end{array} \left| \begin{array}{l} \text{Para mapas del Instituto Geográfico} \\ \text{Catastral e Instituto Geográfico} \\ \text{del Ejército.} \end{array} \right.$$

$$\begin{array}{l} 1: 40.000 \\ 1: 25.000 \end{array} \left| \begin{array}{l} \text{Mapas de excursionistas.} \end{array} \right.$$

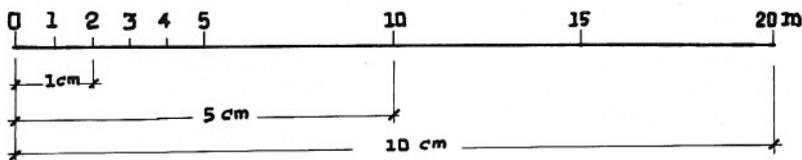


Fig. 31

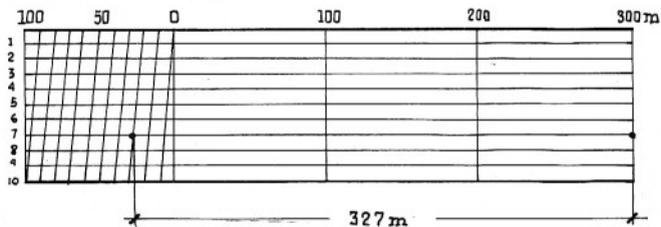


Fig. 32

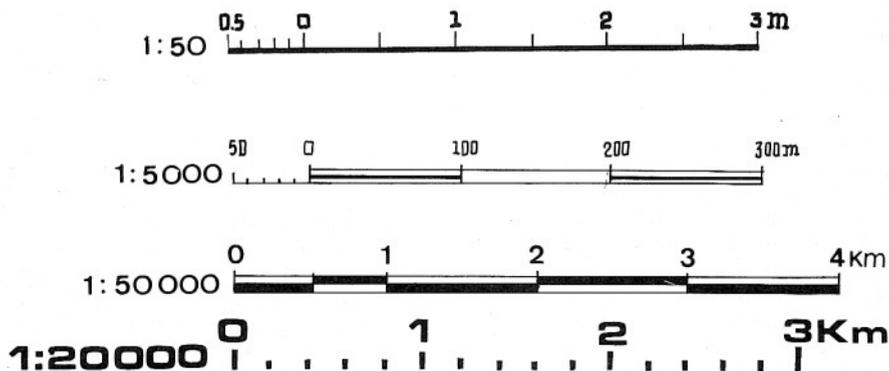


Fig. 33

1:	10.000	Mapas topográficos municipales y plano director del ejército.	Topografía espeleológica
1:	5.000		
1:	1.000	Topografías de grandes cavidades	
1:	500		
1:	200	Cavidades medianas	
1:	100	Cavidades pequeñas de gran detalle	
1:	50		

a.2. INSTRUMENTOS

Los aparatos más utilizados en topografía para medir las distancias se pueden dividir en **directos** e **indirectos**.

a.2.1. DIRECTOS

1. Cadenas de agrimensor:

Son unas cadenas de hierro con anillas en los extremos para asirlas. Normalmente son de diez metros (decáme-

tros). También llevan unas agujas que se clavan en el suelo para señalar cada medida. Actualmente casi no se utilizan, tan sólo para la medición de campos.

2. Reglas y bastones:

Para medidas de gran precisión, se emplean unas reglas de madera de abeto de cuatro metros que se unen dos a dos y se aguantan con trípodes.

3. Hilos de invar

Es el método más utilizado para medir directamente distancias de gran precisión. Se trata de un hilo compuesto de una aleación de hierro y níquel (36%) con un coeficiente de dilatación prácticamente nulo. En los extremos hay una empuñadura con un dinamómetro para evitar la tracción.

4. Cintas metálicas:

Se trata de un flexo flexible de acero de unos 12 mm. de ancho. La longitud oscila desde el metro hasta los 25 m., o hasta los 50 m. Es de gran utilidad en espeleología, ya que es la cinta más exacta, pero tiene los inconvenientes del peso y que se puede romper al doblarse.

5. *Cintas normales:*

Son como las anteriores pero de cañamo barnizado, o de fibra. Tienen una trama de alambre para evitar la dilatación del tejido. Son las más utilizadas en espeleología, ya que pesan menos, son más económicas y tienen una duración bastante aceptable, siempre que una vez utilizadas se sequen y limpien. Normalmente va enrolladas en una caja circular (fig. 34) y una manecilla facilita el rápido arrollamiento. Las medidas normales son de 5, 10, 20, 25 y 50 m. La más utilizada es la de 25 m. Están divididas en metros, decímetros y centímetros.

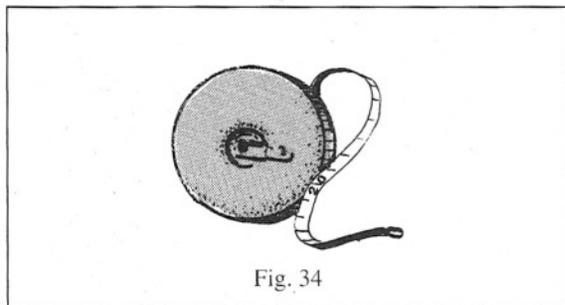


Fig. 34

6. *Topohilo:*

Utilizado desde no hace muchos años, es uno de los sistemas más prácticos y rápidos para medir una gran cavidad. También se le llama «cuenta metros de hilo perdido». Se trata de una caja metálica de reducidas dimensiones (muchas veces se utiliza una fiambarrera, por esto se le llama también de **fiambarrera**), donde se coloca un cuenta vueltas, como el cuentakilómetros del coche, en el eje se suelda una ruedecita que tenga un perímetro de 10 cm. (radio = 1,591 cm.).

Se coloca un rodete de hilo debidamente tensado que de una vuelta a la rueda del contador, de esta forma cada vez que pasen 10 cm., el contador marcará 10 (fig. 35). Entonces podemos hacer tiradas más largas y el conador nos dará la medida.

En el mercado existen algunos modelos fabricados en Francia, de toda manera es relativamente fácil, hacer una «casero». Para más información: Andrés, O. (1972); Folch, M. (1972); Debrilla-Marbach (1973).

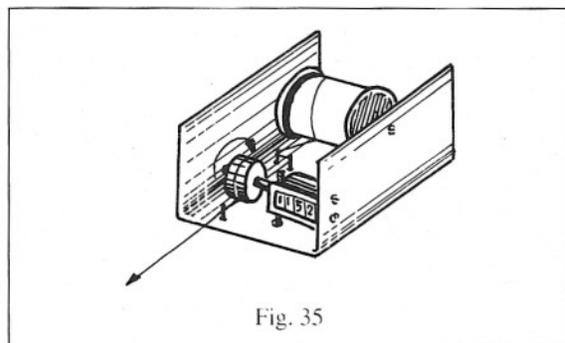


Fig. 35

a.2.2. **INDIRECTOS**

Son los aparatos que nos permiten medir una distancia sin tener que recorrerla. Hay varios sistemas:

- Estadimétricos
- Telemétricos

1. *Estadia.*

Esta palabra es italiana «Estadia» y significa regla. El fundamento es el siguiente:

Suponiendo que una persona mira horizontalmente una regla vertical a una distancia **D** (fig. 36), a través de una pantalla en la cual hay una abertura **h**, y que está a una distancia del observador, y a través de la abertura sólo ve un trozo de la regla. Por semejanza la triángulos podemos escribir la siguiente proporción:

$$\frac{d}{h} = \frac{D}{L}$$

Si lo que nos interesa es la **D**, o sea la distancia, la podemos encontrar de tres formas:

$$D = \frac{d}{h} L \tag{1}$$

$$D = d.L \frac{1}{h} \tag{2}$$

$$D = \frac{L}{h} d \tag{3}$$

Dependiendo de la fórmula que se aplique se las denomina de distinta forma:

- **Estadios de primera clase:**

Es la utilizada en topografía exterior, son las que llevan la lente de los taquímetros. Es la aplicación de la fórmula (1). La relación **d/h** es constante para cada aparato y se denomina **k** (constante diastimométrica).

$$D = K \cdot L$$

De esta forma los taquímetros llevan una **retícula** de hilos que es como la pantalla, y la regla se llama **mira**. Leyendo el trozo de mira que vemos por la lente y multiplicándolo por el **k** (normalmente 100) nos da **D**, denominado en taquimetría, **número generador G**.

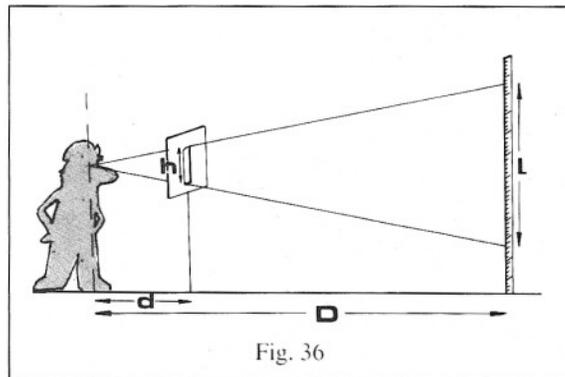


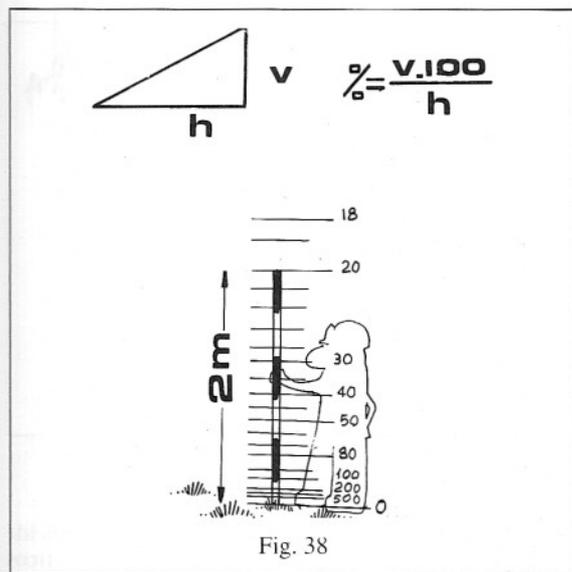
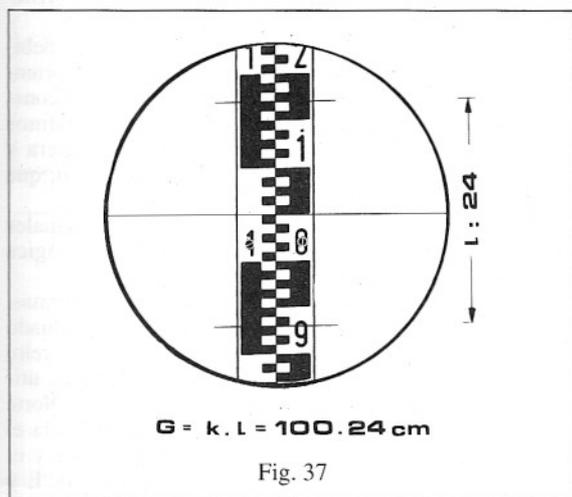
Fig. 36

En la fig. 37, podemos ver un trozo de mira de 24 divisiones (117-93 = 24), y si tenemos **k = 100**, la distancia (número generador) será **G = 100.24 + 2.400 cm. = 24 m.**

-Estadias de segundo orden:

Son las que aplican la fórmula (2), o sea **d** y **L** son constantes y conocidas, y lo que varía es **h**. Son menos exactas pero se pueden aplicar a la espeleología, por ejemplo el **clisímetro Meridiano** (fig. 38). El observador mira al ayudante que lleva una mira de altura constante (2), por ejemplo de 2 m. y hace coincidir el 0 con el pie de la mira leyendo el número superior. También se puede leer en el %, si el ángulo es por ejemplo 4%, la distancia será:

$$\frac{2.100}{4} = 50 \text{ m}$$



-Estadia horizontal de invar:

Es otro tipo de estadia de segundo orden. Es una medida de gran precisión. Consiste en un tubo con una varita de invar en su interior. En los extremos tiene unas señas visibles. Tiene de dos a tres metros. Para medir (fig. 39) se coloca horizontalmente encima de un trípode y desde el otro punto se mide el ángulo paraláctico entre los dos extremos, utilizando un teodolito. La distancia **D**

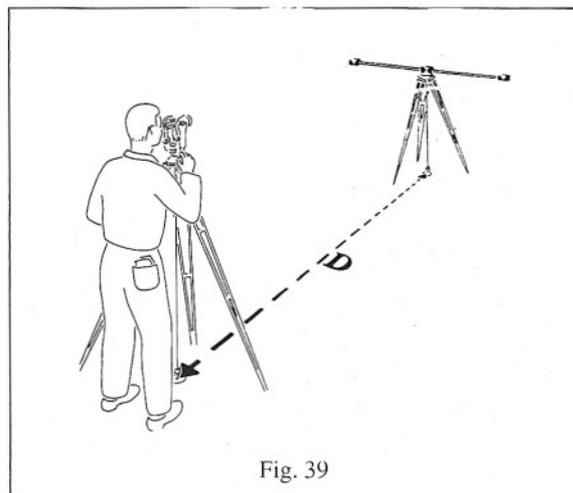
es igual a:

$$D = \frac{b}{2} \text{ ctg } \frac{\alpha}{2}$$

donde **b** es la distancia entre los dos extremos de la estadia y α , el ángulo medido. El error que se comete con un teodolito que aprecia 1", es:

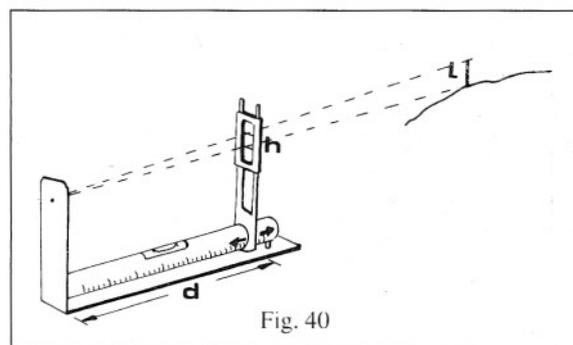
$$e = \pm \frac{D^2}{400}$$

donde **D** es la distancia en metro y **e** en mm. Suponiendo una medida de 100 m., el error medio será ± 25 mm.



-Estadias de tercer orden:

Es la aplicación de la fórmula (3), en la cual es constante la **L** de la mira y **h**. Son aparatos de pínulas en los cuales podemos mover la distancia **d** (fig. 40).



2. Telemetría

Es un sistema de medida a distancia, ópticamente. Consiste en un aparato llamado telémetro, que tiene un tubo más o menos largo, que actúa como base constante. Para encontrar la distancia se miden los ángulos del triángulo que se forma mediante un juego de prismas. En la práctica vemos la imagen partida, y cuando coincide significa que la medida es correcta. No es muy preciso y prácticamente sólo se utiliza en el ejército y en topografías poco precisas.

-Tro-ópticos: se denominan **geodímetros**, son aparatos que miden el tiempo que tarda en recorrer una distancia la luz polarizada de un punto (el emisor) a otro punto

(receptor o prismas). Según parece hasta utilizándolo en condiciones climáticas adversas da buenos resultados. El error oscila entre ± 7 mm. por km. en una medida de 50 km.

-**Aparatos de microondas:** Llamados **telurómetros**, son unos aparatos de radar que en vez de utilizar luz, utilizan microondas de 10 cm. de radio. El error es de unos ± 6 km. Para medir distancias de 50 a 90 km. máximo. Tanto los geodímetros como los telurómetros se utilizan en geodesia. Actualmente también se utilizan en topografía y según parece también en espeleología. Para más información ver Mor, J. (1972).

Otros aparatos utilizados normalmente en topografía y que son adaptables a los teodolitos y taquímetros, son los distanciómetros de infrarrojos (fig. 41). Actualmente es fácil, encontrar en el mercado, diversos aparatos para medir distancias, son de tamaño reducidos y bastante económicos, con un grado de error aceptable para un uso en espeleología.

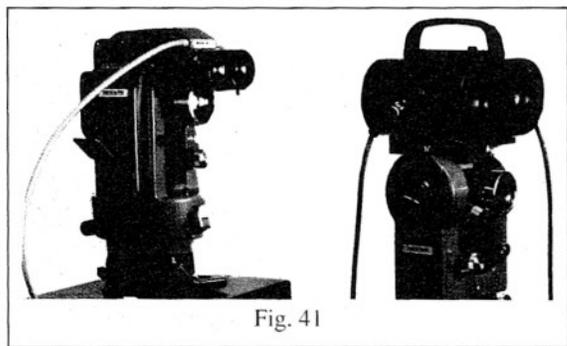


Fig. 41

B6 b) ÁNGULOS

b.1. HORIZONTALES

b.1.1. CONCEPTO

El siguiente dato que necesitamos para poder realizar una topografía es el **ángulo horizontal**. Es el que medimos en un plano horizontal (fig. 42) es un ángulo relativo entre dos puntos. Por ejemplo el ángulo entre **a** y **b** es α_1 ; entre **b** y **c** es α_2 , y lógicamente entre **a** y **c** es $\alpha_1 + \alpha_2 = \alpha_3$. Estos ángulos se miden en grados **sexagesimales** o **centésimales** (ver B4 d).

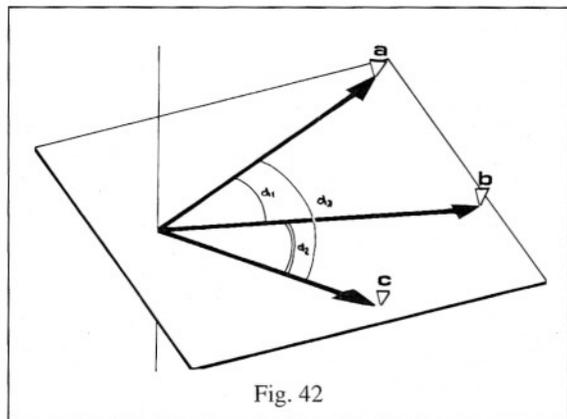


Fig. 42

b.1.2. TIPOS DE ANGULOS

- **Dirección:** es el ángulo relativo entre dos puntos cualquiera.
- **Acimut:** cuando el ángulo es entre un punto cualquiera y el Norte geográfico.
- **Rumbo:** Cuando es el Norte magnético en vez del Norte geográfico.

b.1.3. NORTE MAGNÉTICO

El globo terrestre se comporta como un gran imán, ya que existe un campo magnético, donde los polos magnéticos se encuentran cerca de los geográficos.

Debido a este fenómeno físico todas las agujas, debidamente imantadas y suspendidas por el centro, se orientan hacia estos polos, fenómeno que sirve para la construcción de las **brújulas**. Con este aparato podemos medir ángulos horizontales entre un punto cualquiera y otro punto constante que será el **Norte magnético**, que como hemos visto antes, llamaremos rumbo.

En topografía normal solo se utiliza para poligonales no muy importantes, pero en topografía espeleológica será el medio más utilizado.

La lectura del ángulo se puede dar a distintas formas. La más corriente es la de considerar el círculo graduado de 0° a 360° o 400° en el sentido de las agujas del reloj (fig. 43). Pueden haber modelos antiguos, los cuales, utilizaban los ángulos de 0° a 90° , siendo los ceros el Norte y el Sur, especificando si era hacia el Este o hacia el Oeste. Por ejemplo (fig. 44) si está entre el Norte y el Este, será $Nx^\circ E$; si es entre el Este y el Sur: $Sx^\circ E$ y $Sx^\circ W$ para los otros cuadrantes.

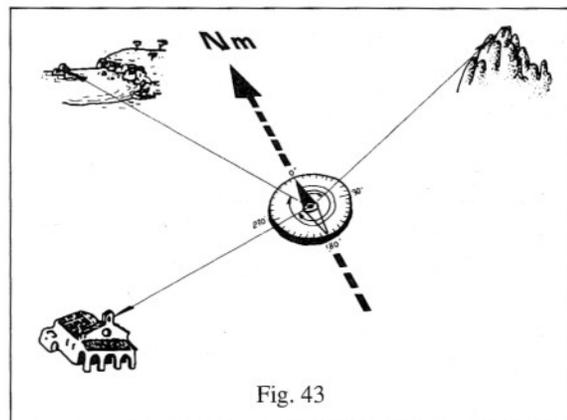


Fig. 43

b.1.4. DECLINACION MAGNÉTICA

Como ya hemos visto, el polo magnético no coincide con el polo geográfico, o sea, los **meridianos magnéticos** (los meridianos que unen los polos magnéticos) no coinciden con los meridianos geográficos. Entre ambos meridianos se forma un ángulo que varía según el lugar de la Tierra y se denomina **declinación magnética** (fig. 45).

La unión de puntos de la superficie de igual declinación, forma una serie de líneas sinuosas que dan lugar a los **mapas de isógonas** (fig. 46).

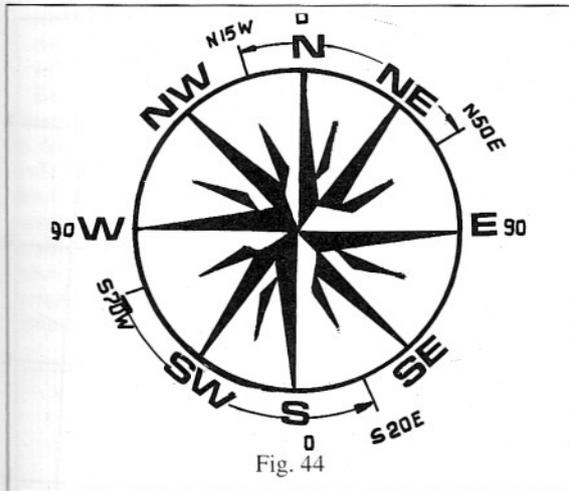


Fig. 44

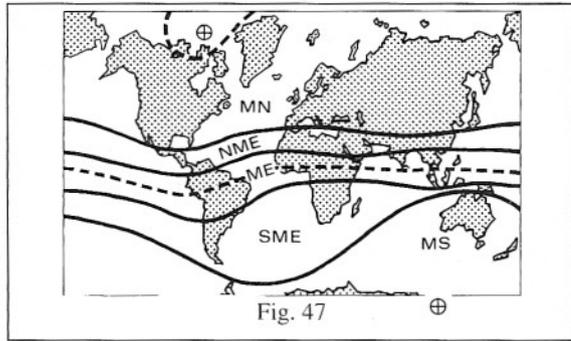


Fig. 47

Como a excepción del Ecuador, las líneas de fuerza magnética no son paralelas a la superficie terrestre, la aguja se inclina más o menos hacia el polo Norte. El ángulo de inclinación respecto a la horizontal, será cero grados en el ecuador y 90° en el polo. Los mapas de puntos de igual inclinación se llaman de **isoclines** (fig. 47). Para compensar este ángulo se pone un contrapeso en la parte Sur de la aguja (fig. 48).

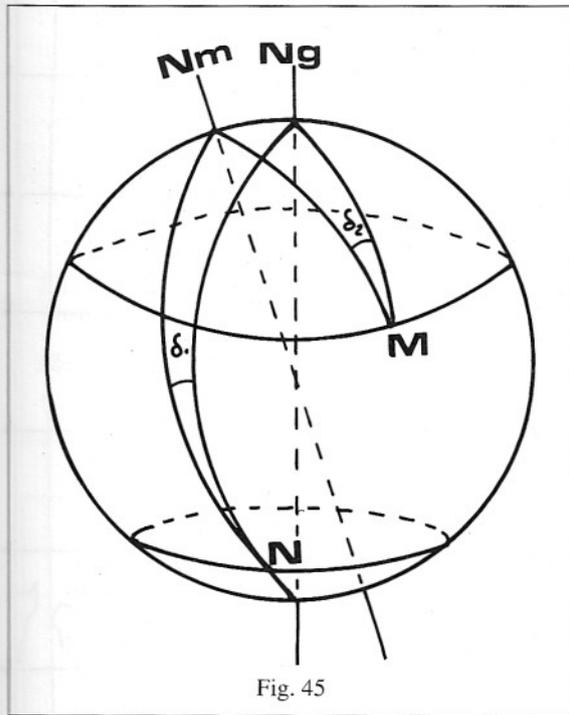


Fig. 45

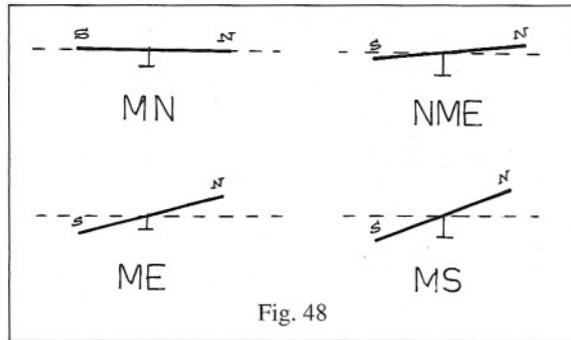


Fig. 48

El polo magnético va variando de posición a lo largo del tiempo. Esta variación se denomina **incremento de declinación $\Delta \delta$** . Normalmente es de unos 6' a 8' anuales respecto al Este. La declinación en España es hacia el Oeste (fig. 49). Esto significa que el Norte magnético está a la izquierda del Norte geográfico, por tanto, si tenemos un plano que nos dá la declinación magnética de un determinado año y su variación anual, debemos multiplicar esta variación por el número de años que han pasado hasta el momento actual y luego restarlo de la declinación.

Como ya se ha dicho, en espeleología prácticamente sólo se utiliza la brújula, teniendo en cuenta que, el Norte magnético es variable, es importante poner la fecha del levantamiento y mejor la declinación magnética del lugar (fig. 49a).

b.1.5. ACIMUT

Llamamos acimut al ángulo formando por una orientación a cualquier punto y el Norte geográfico. Al contrario del rumbo, éste es fijo y no varía a lo largo del tiempo. Para encontrar el acimut, debemos restar la declinación magnética, (si es oriental como en la fig. 49) del rumbo observado. Por ejemplo:

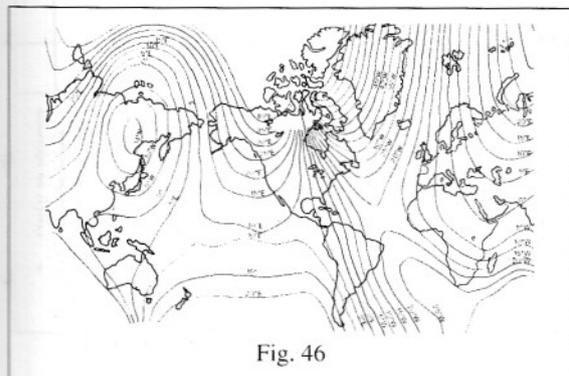


Fig. 46

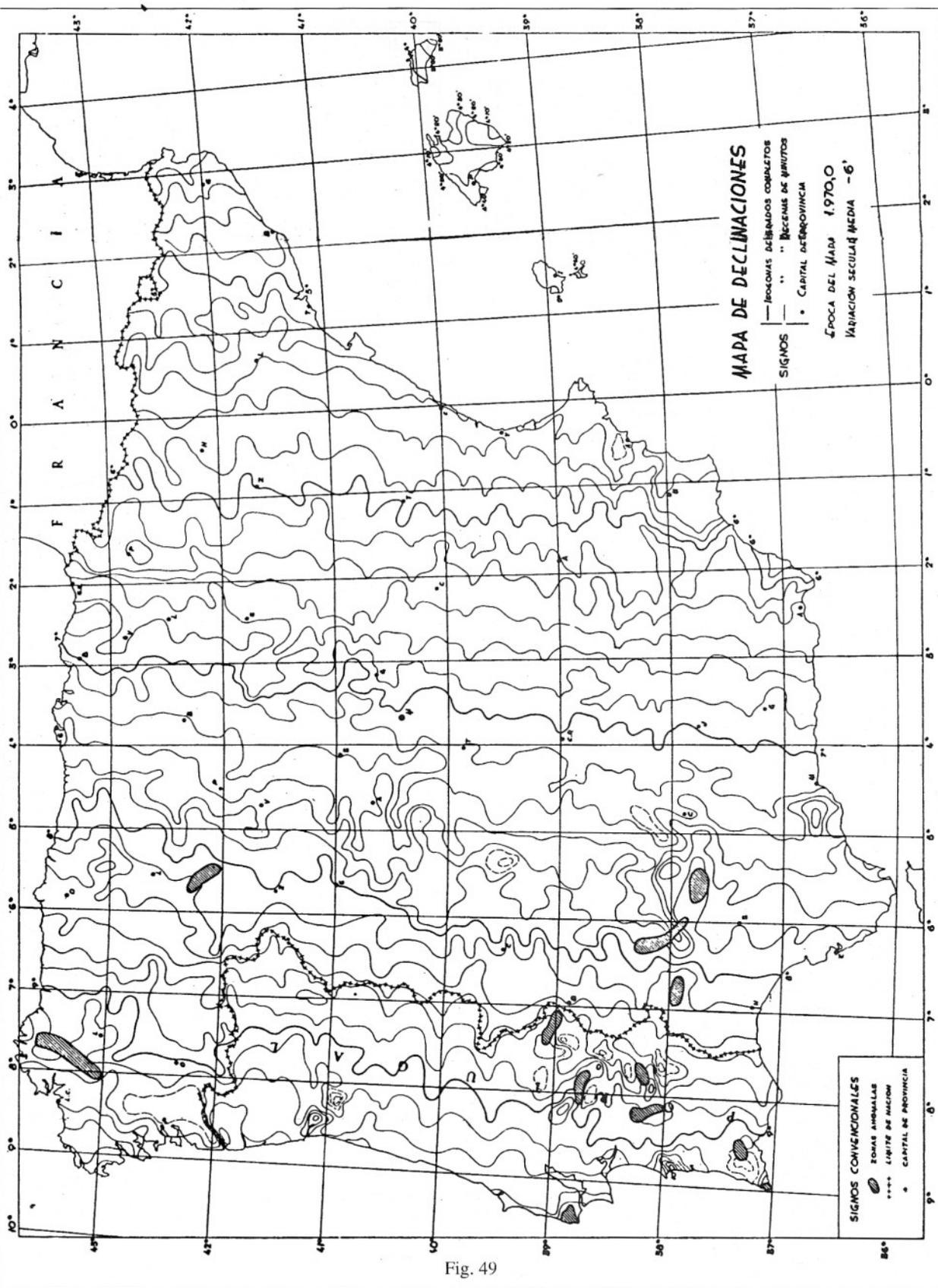
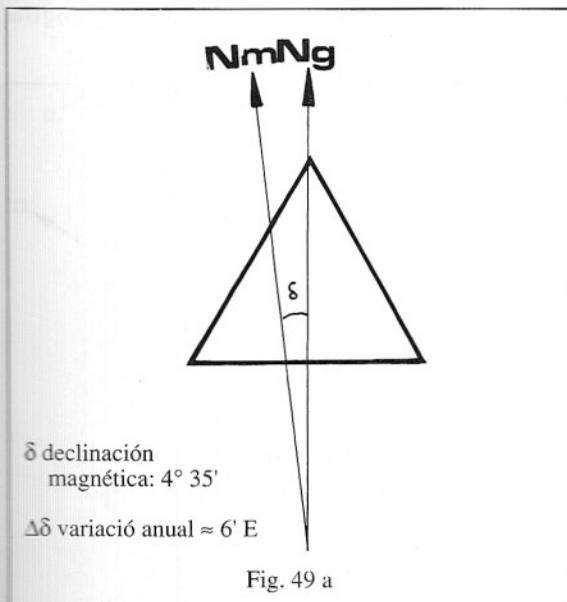


Fig. 49

rumbo = 153°
 declinación = $4^\circ 53' W$
 acimut = $153 - 4^\circ 35' = 148^\circ 25'$

En las cavidades importantes (como en el caso de Ojo Guareña, La Piedra S. Martín,...) debe tenerse en cuenta la declinación magnética y la de cada brújula, ya que cada modelo tiene una declinación diferente. Por esto, desde un punto fijo, hay que buscar los acimuts a varios puntos conocidos; de manera que cada equipo de topografía deberá situarse en este lugar, hacer las visuales a estos puntos y anotar el rumbo, que una vez restado del acimut (siempre fijo) encontrará la declinación de cada brújula. Para más información ver Plana, P. (1972).



Para encontrar el Norte geográfico, lo más corriente son los sistemas **gíroscopos** que nos determinan directamente el acimut aproximadamente en unos 20 minutos (fig. 50: Wild GAK 1 y teodolito Wild T16). Otro sistema consiste en situarse en un punto conocido sobre el mapa (para más exactitud un vértice geodésico), y hacer visuales a otros puntos conocidos (también vértices). Hecho esto, con un papel vegetal dibujar las visuales y superponerlas a los puntos citados sobre el plano; como estas están referidas al Norte magnético y, enambio, el plano al Norte geográfico, podremos medir, más o menos, el ángulo que forman entre ellos (declinación magnética).

Para utilizar sistemas astronómicos (estrella Polar, el Sol,...) ver Domínguez, F. (1965), y Manual curso de Información Topográfica (1973).

b.1.6. INSTRUMENTOS

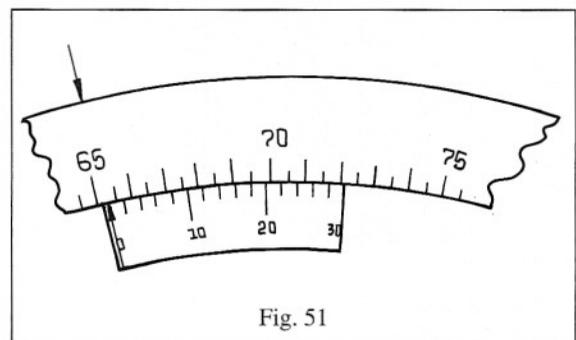
1. **Goniómetros:** para medir los ángulos horizontales utilizaremos los goniómetros (= ángulo, medir). Estos aparatos constan de un **limbo** y una lente o algo para efectuar las visuales.

- **Limbo:** es un círculo completo donde se han practicado unas divisiones. El más sencillo es en 360 partes (sexagesimales) o en 400 (centesimales). Según la precisión del instrumento, los grados se dividen en minutos o hasta en segundos. Por ejemplo, actualmente un círculo de 70 mm de diámetro se puede dividir en 2.000 partes, pudiéndose apreciar hasta 2 segundos.

- **Nonios:** para poder leer con más precisión el limbo, se utilizan los **nonios** (fig. 51), el O del nonios debe coincidir coin el ángulo que queremos medir. En este caso está entre el 65° y el $65^\circ 30'$. Sólo es necesario ver que raya del nonios coincide con cualquiera del limbo. Como podemos ver, la única es la del 18; por tanto, la lectura correcta es: $65^\circ 18'$.

- **Micrómetro:** actualmente en los aparatos modernos (teodolitos, taquímetros) se utilizan los **micrómetros ópticos de estimación**, para poder hacer la lectura de los ángulos más exactamente. El primero en ponerlos en práctica fue el Dr. Wild. Estos aparatos constan de un microscopio que permite apreciar con gran exactitud las pequeñas divisiones. En la fig. 52, se ve la disposición de los prismas de un Wild T-O. En la fig. 53, podemos ver una lectura tal y como se ve en la realidad con un Wild T-16. El ángulo vertical es (V): $90^\circ 06,5'$ y el ángulo horizontal (Hz): $235^\circ 56,4'$.

- **Dirección:** es el ángulo horizontal medido entre dos puntos arbitrarios. Normalmente los teodolitos y taquí-



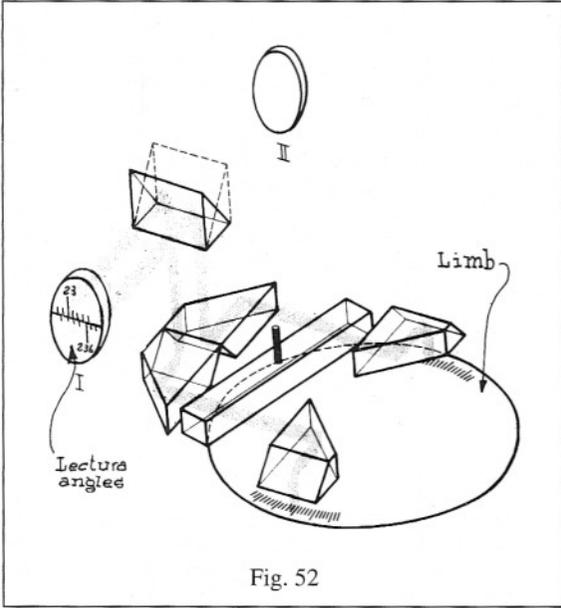


Fig. 52

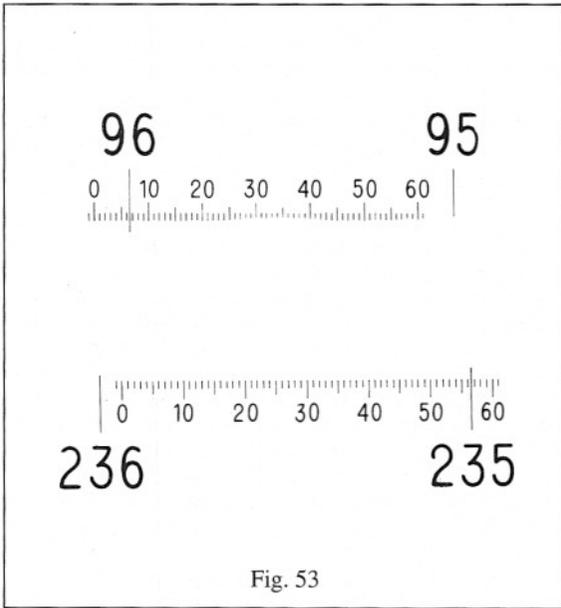


Fig. 53

metros miden «direcciones». La diferencia con el rumbo es que éste es respecto al Norte magnético, y en el caso del acimut es que es respecto al Norte geográfico.

2. Brújulas: Uno de los tipos de goniómetros más corrientes y el más utilizado en espeleología es la **brújula**. Es un aparato que, gracias a una aguja imantada que siempre señala el Norte magnético, mide el rumbo. Está compuesta de un limbo, una aguja imantada (o círculo) y de un sistema para hacer visuales. Pueden ser de dos grandes tipos:

- De índice fijo y limbo móvil.
- De índice móvil y limbo fijo.

b.2. TIPOS DE BRUJULAS

b.2.1. INDICE FIJO Y LIMBO MOVIL

Son las que llevan una aguja imantada y el limbo en la carcasa de la brújula. Pueden ser **levógiras** y **dextrógiras** según el sentido hacia donde aumentan los ángulos.

1. **Dextrógiras:** son las que la graduación del limbo crece hacia la derecha (fig. 54). En la figura vemos como, si queremos hacer una orientación según la línea a-b hacia el Este, el ángulo respecto al Norte magnético es α_2 ($35^\circ E$), pero al hacer la lectura leemos α_1 (325°), lo cual dificulta su comprensión. Hemos de tener en cuenta que si utilizamos una brújula dextrógira, después tendremos que utilizar un transportador dextrógiro. Actualmente casi en desuso.

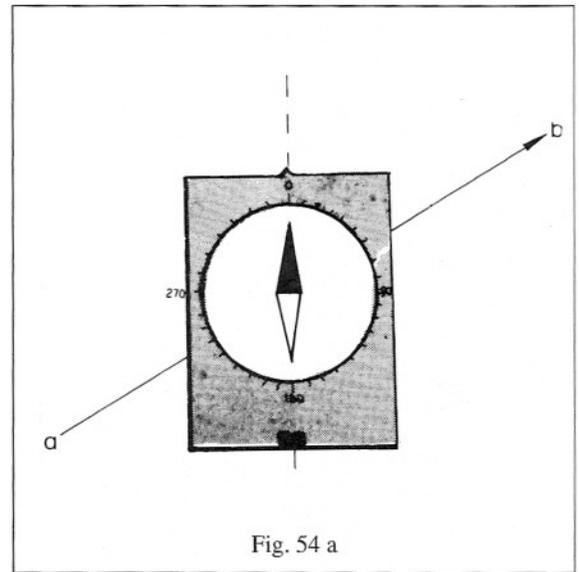


Fig. 54 a

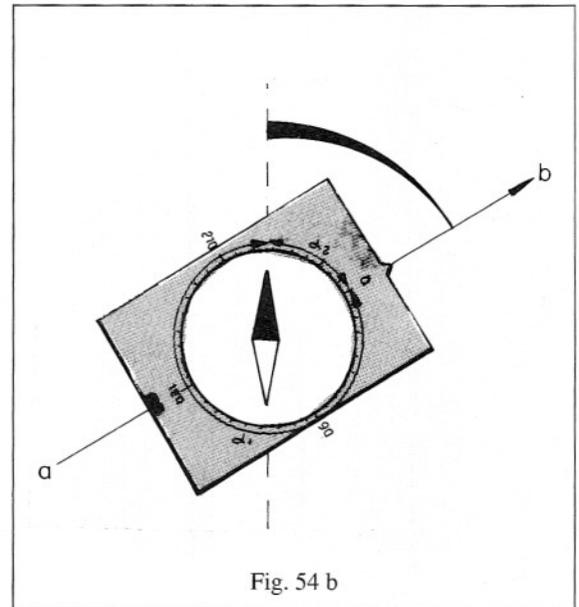
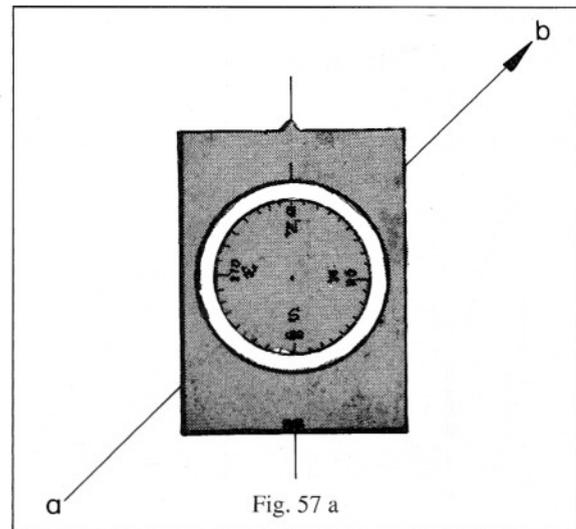
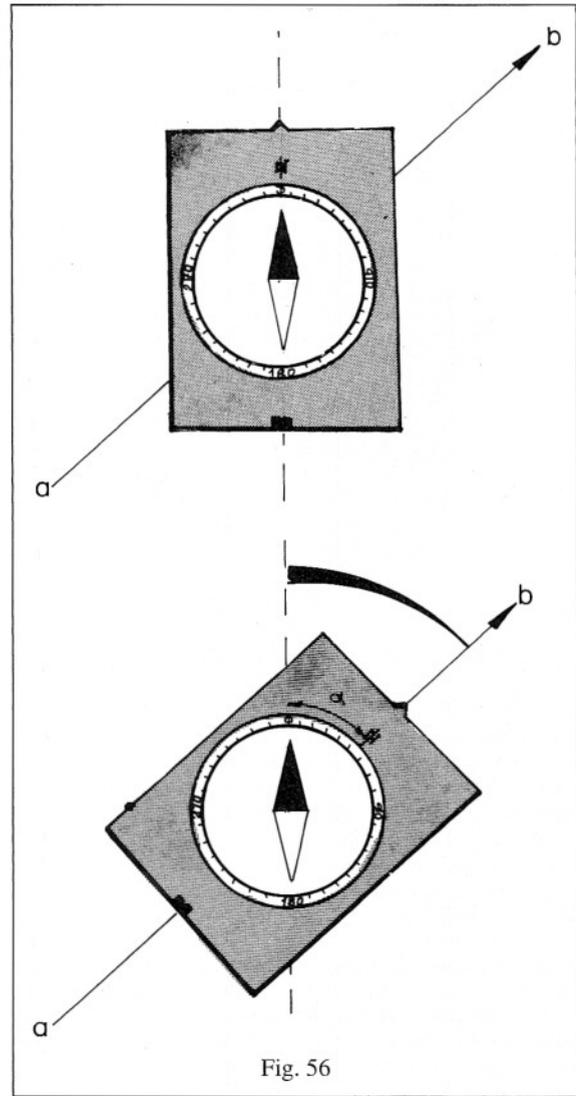
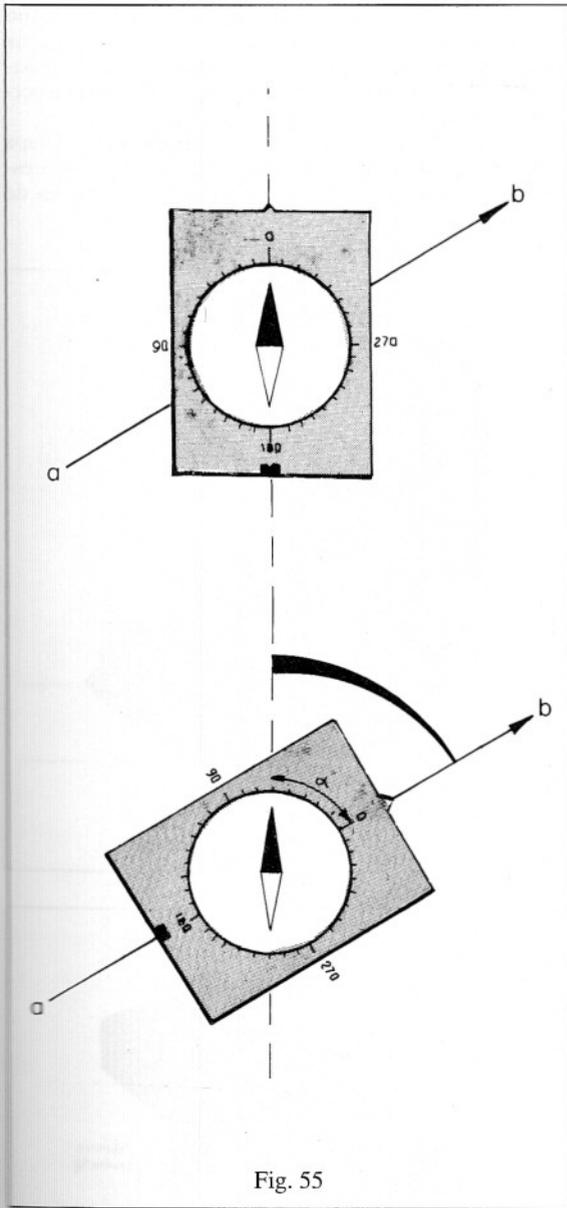


Fig. 54 b



2. **Levógiras:** son las que la graduación crece hacia la izquierda, en sentido contrario al de las agujas del reloj. Aunque aparentemente parezca que estén al revés, vemos en la fig. 55 que, al hacer la orientación a-b, el ángulo α que leemos es el mismo que medimos.

3. **Dextrógira de limbo giratorio:** es un caso especial de dextrógira, y muy práctica porque resuelve el problema antes mencionado, es de las que tienen la graduación a la derecha, pero en una corona que podamos girar. En este caso orientamos la brújula según a-b, pero movemos el limbo hacia la izquierda hasta que el O coincida con la aguja, y entonces podemos leer directamente el ángulo α . (Fig. 56).

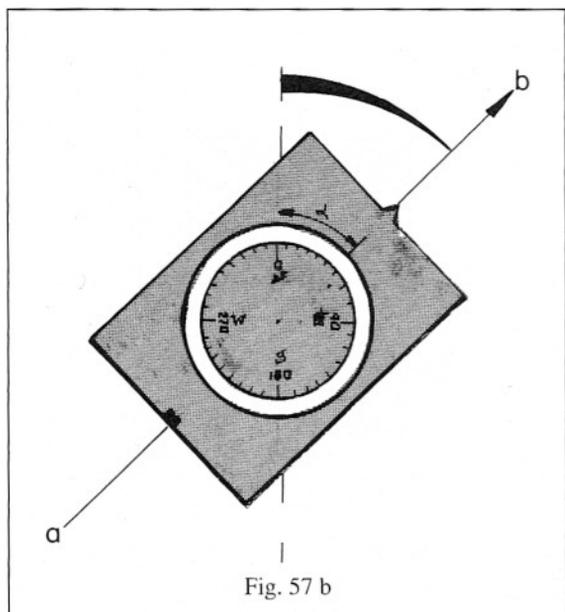


Fig. 57 b

b.2.2. INDICE MOVIL Y LIMBO FIJO

Son las más prácticas, ya que el limbo está soldado a la aguja imantada, de esta forma queda fijo mientras que lo que movemos es la caja de la brújula. El ángulo que leemos es directamente a. Normalmente están cerradas herméticamente y sumergidas en aceite para amortiguar los golpes. La lectura es rápida y sin complicaciones (fig. 57).

b.2.3. MODELOS DE BRUJULAS

Haremos un pequeño repaso de los modelos más corrientes que existen en el mercado actualmente.

1. Brújulas de Alidada: son las que tienen el sistema para hacer las visuales con una **alidada de pínulas**. Es el sistema más antiguo que existe; está formado por una ranura, por donde se mira, y al otro lado un hilo vertical, o una punta, como el sistema de puntería de las escopetas.

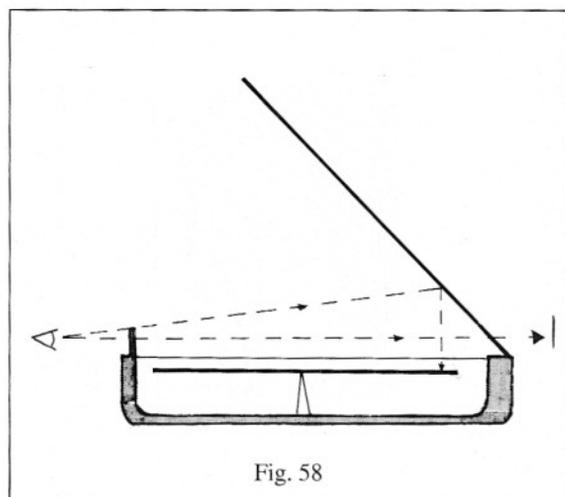


Fig. 58

tas. Normalmente tienen una tapadora que al mismo tiempo es un espejo (fig. 58), el cual tiene una pequeña franja transparente que nos permite ver el punto que visamos, y al mismo tiempo, inclinándolo unos 45°, nos permite ver el limbo y la aguja imantada.

En la fig. 59 vemos una brújula de este tipo. La tapa sirve de espejo, y las pínulas son unas ranuras fosforescentes. Es dextrógira de limbo giratorio, el chasis es de plástico y muy económica, pero no muy exacta.



Fig. 59

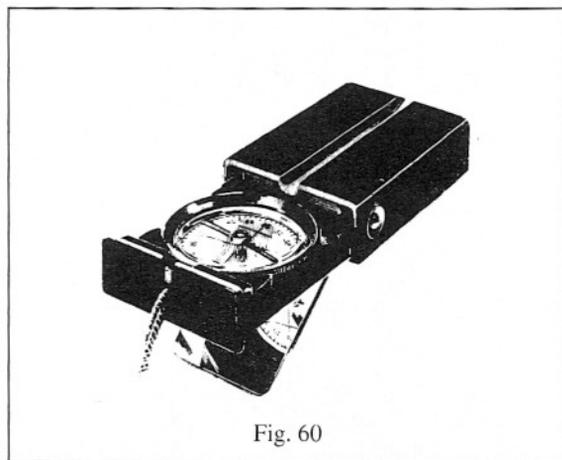


Fig. 60

La casa «Recta» tiene varios modelos como los de la fig. 60. Tienen la ventaja de poderse meter en una caja que las protege y, el fondo es transparente, lo cual aumenta la luminosidad. El espejo se abre por la parte inferior. Es dextrógira. Resultan bastante sólidas pero poco exactas.

Otro modelo es el de la casa **Silva (15TS)**, formado por una especie de regla de plástico transparente con una tapa que sirve de espejo. Es dextrógira de limbo giratorio. Es muy indicada para orientación sobre un mapa, pero poco precisa. (Fig. 61).

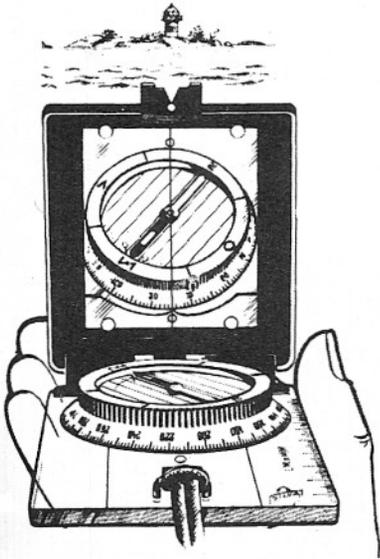


Fig. 61

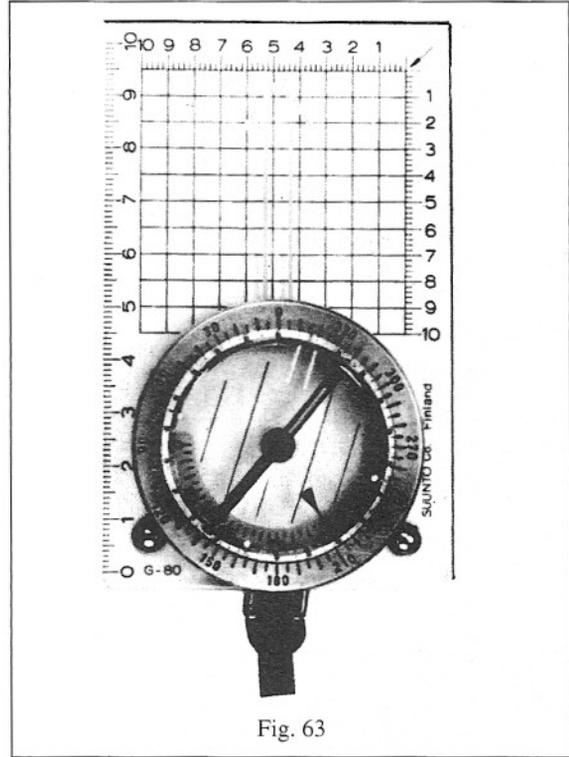


Fig. 63

La más precisa de este tipo es la **Brunton** o la versión japonesa **Tamaya**. La carcasa es metálica y el limbo es levógiro con divisiones de un grado. La aguja está compensada y tiene un freno para poderla parar. Puede ajustarse según la declinación local. Lleva un nivel esférico y un clinómetro de nivel de burbuja. Puede fijarse a un trípode de fotografías. El precio es más elevado, existiendo una versión japonesa resulta más económica. De todas formas no es muy aconsejable en espeleología. (Fig. 62), por su fragilidad.

La casa **Suunto** y **Silva**, tienen modelos sobre regletas de plástico sin espejo, muy prácticas para orientación, y en el caso de la fig. 63, también para geología ya que lleva clinómetro. Son muy resistentes puesto que van sumergidas en aceite. Son levóginas.

2. Brújulas prismáticas y de alidada: el sistema de hacer visuales es el mismo que los anteriores, pero para efectuar la lectura, en vez de un espejo, llevan una pequeña lente que actúa de lupa y permite leer la medida al efectuar la visual. (Fig. 64).

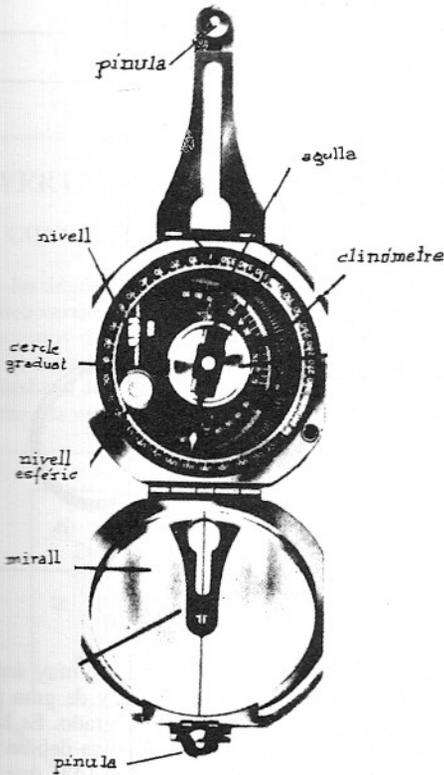


Fig. 62

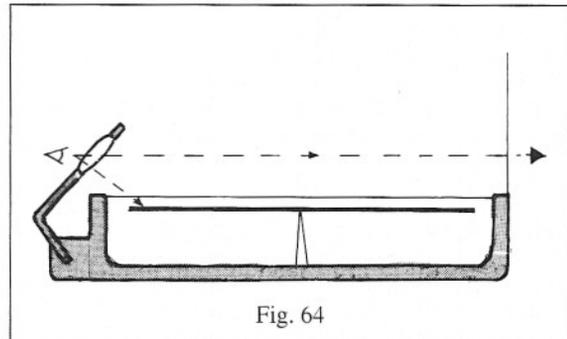


Fig. 64



Fig. 65

Hay varios modelos, todos de índice móvil y limbo fijo, ya que tienen un círculo imantado dentro del fluido. Pueden ser de plástico o metálicas (fig. 65). En la tapa llevan una ranura con un hilo para poder hacer la orientación. Algunas pueden tener el inconveniente de tener la graduación llamada **milésima artillera**, que consiste en dividir el círculo en 6.400 partes y se escribe con dos pequeños ceros ($^{\circ}$) y normalmente no se utiliza en topografía.

Un tipo muy preciso es el que consta de un pequeño prisma, que nos permite efectuar una lectura muy precisa (Fig. 66).

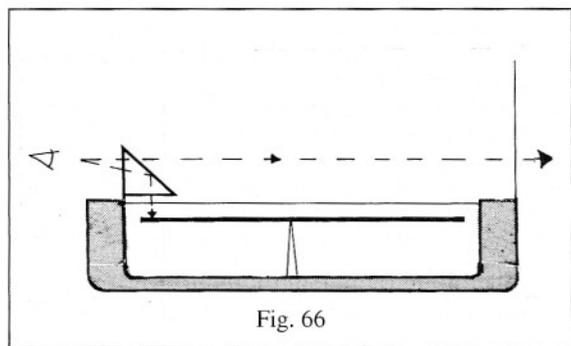


Fig. 66

La casa **Wilkie** tiene un modelo de estas características. Tiene un círculo imantado (índice móvil, limbo fijo) sumergido en aceite. La tapa es transparente con un hilo vertical que actúa de alidada. Consta de un pequeño nivel y un clinómetro de péndulo. Es bastante precisa (fig. 67). Otro modelo similar es el de la casa **Meridian** (fig. 68).

3. Brújulas prismáticas: el sistema de efectuar las visuales, se basa en un efecto óptico que viene dado al mirar con los dos ojos abiertos, a través de un agujero de la brújula en la cual hay una lente de teodolito, a través de la cual se ve la graduación muy aumentada (fig. 69), y las dos imágenes se superponen. El modelo más utilizado



Fig. 67

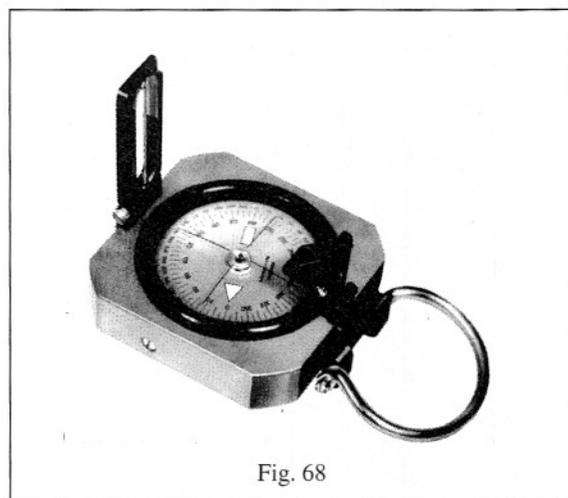


Fig. 68

es el de la casa **Suunto** (KB-14) (fig. 70), muy sencillo, de reducidas dimensiones, muy sólida y de gran precisión, ya que se puede apreciar $1/6$ de grado. Es la más recomendable en topografía espeleológica debido a sus condiciones, sobretodo el modelo KB-14T, que lleva incorporada una lámpara de tritio que proporciona rayos beta que iluminan el círculo graduado. No necesita manutención y dura 15 años.

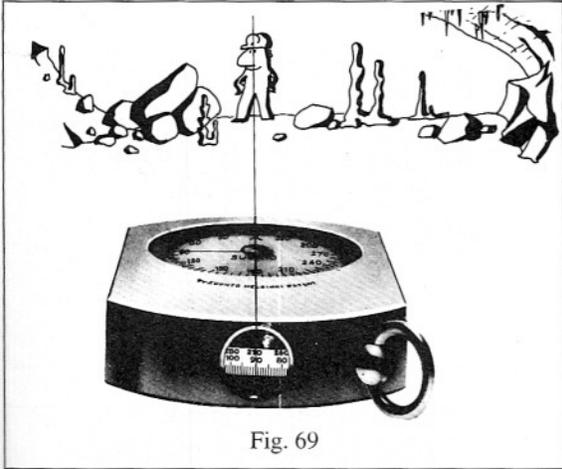


Fig. 69

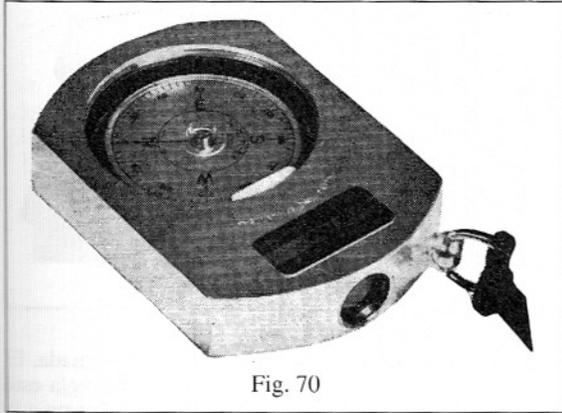


Fig. 70

b.3. VERTICALES

b.3.1. CONCEPTO

Son los ángulos medidos en un **plano vertical** referidos a la **línea vertical u horizontal** que contiene dicho plano.

Si unimos dos puntos A y B con un segmento, éste estará contenido en un plano vertical, y por tanto podremos medir el ángulo ϕ entre esta línea y la horizontal, o respecto a la vertical, entonces sería el ángulo γ (Fig. 71).

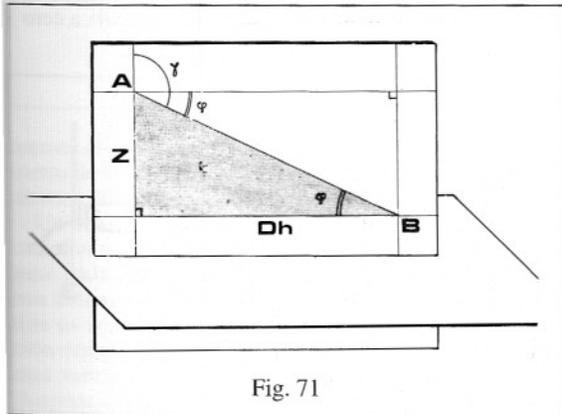


Fig. 71

Como hemos visto, por A y B pasan líneas verticales y horizontales formando dos triángulos rectángulos que nos servirán para poder calcular la **distancia horizontal** Dh, y el desnivel entre A y B que le denominaremos Z. Este triángulo es muy importante en topografía y se denomina **triángulo fundamental**. Para medir los ángulos verticales necesitamos saber la vertical o la horizontal. Los dos medios más normales son la **plomada** y el **nivel de aire**.

- **La plomada:** cualquier peso suspendido de un hilo nos determina la línea vertical. Hay pequeñas diferencias de las cuales prescindiremos. Una, debido al movimiento giratorio de la tierra, y la otra debido a las diferencias gravitatorias causadas por la diferente masa de las montañas.

- **Nivel de aire:** son pequeños tubos de cristal (fig. 72) con una cierta curva que contienen un líquido muy poco viscoso, con una burbuja de aire que ocupa la parte superior. Cuando la tangente a la curva del tubo sea horizontal, la burbuja estará situada en la parte más alta, entre unas rayas determinadas. La sensibilidad aumenta al aumentar el radio. El radio normal es de 5 y 60 m., poer

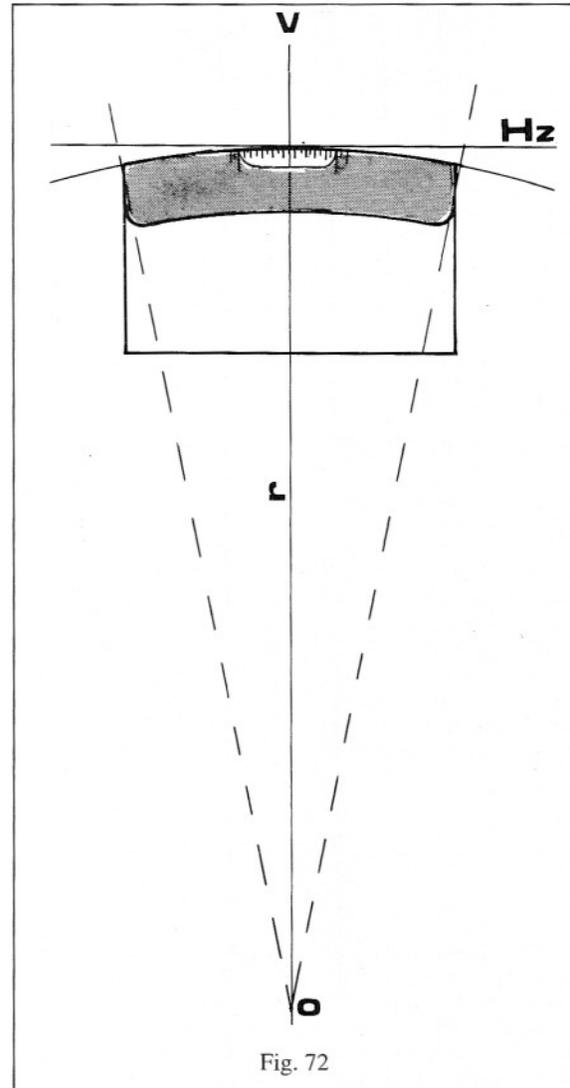
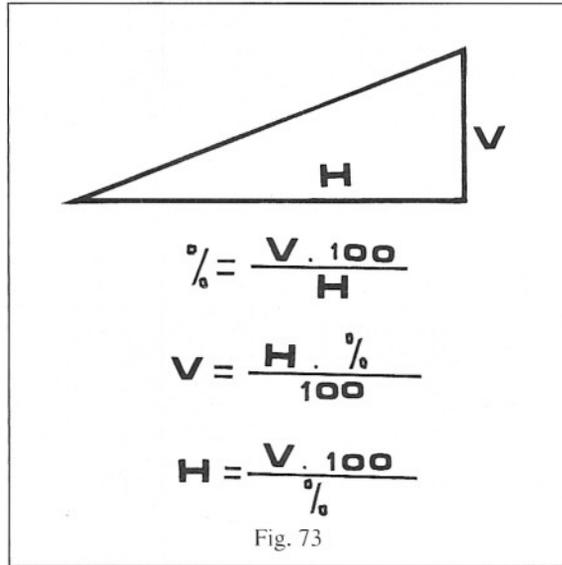


Fig. 72

los teodolitos de gran precisión pueden llegar a tener 400 m. de radio, lo cual significa que la curva será muy suave, casi recta.

Otro tipo de nivel es el **esférico o circular**, de menos precisión pero válido para aproximaciones (como el que llevan algunas brújulas, (fig. 62 y 67). La acción de colocar la burbuja entre las divisiones centradas del nivel, se le denomina **calar**.

- **Tanto por ciento:** otra forma de medir pendientes es con el **tanto por ciento (%)**. Es el desnivel que existe entre dos puntos al desplazarnos cien metros en horizontal. Por tanto, la forma de operar es (fig. 73) igual al desnivel multiplicado por ciento y dividido por la distancia horizontal. Así, operando podemos encontrar las otras incógnitas.



b.3.2. INSTRUMENTOS

1 - Niveles: son unos aparatos que constan de un visor, normalmente una lente y un nivel (fig. 74) de aire muy preciso. Cuando se trata de hacer una **nivelación** de precisión, o sea encontrar el desnivel entre dos puntos o respecto al nivel del mar, se utilizan los niveles y las miras. Éstas son unas reglas de madera o metálicas de unos 2 a 4 m. muy precisas.

De esta forma si miramos con el nivel la línea horizontal, (fig. 75) intersecciona en el punto 1, la distancia **a** de la mira, igualmente en el punto 2, tendremos la distancia **b**. Entonces el desnivel entre 1 y 2) (Z_{1-2}) será:

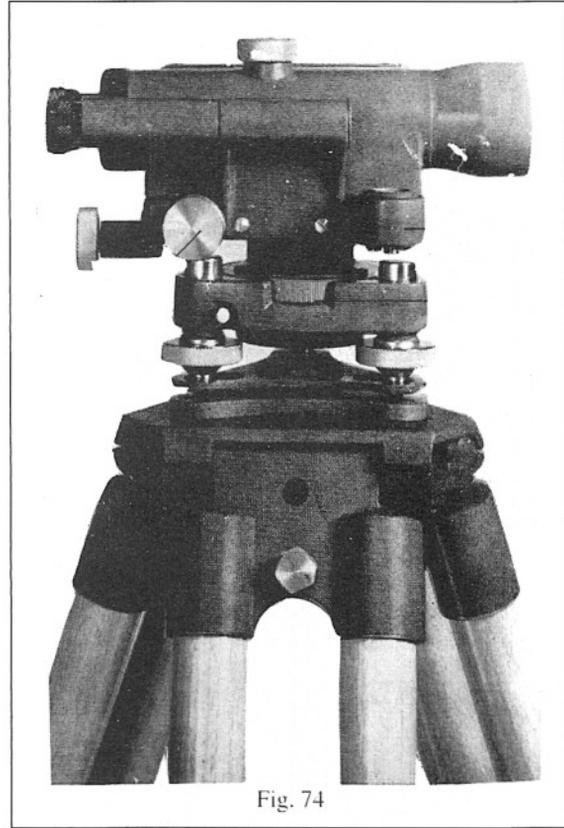
$$Z_{1-2} = a - b$$

Repetimos la operación, entre 2 y 3 que será:

$$Z_{2-3} = c - d$$

Y por tanto el desnivel total será la suma algebraica de todas las parciales.

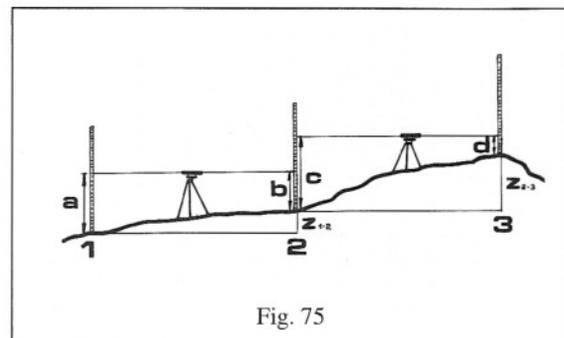
2 - Clinómetro: es el aparato que mide los ángulos verticales respecto a la horizontal, en grados (centésimas o sexagesimales) o en tanto por ciento. El sistema es muy simple y de fácil realización, consiste en una regla



(fig. 76) con un semicírculo graduado y una plomada. El cero debe coincidir con la plomada cuando la regla está horizontal, y al inclinarlo, el ángulo vertical respecto a la horizontal será α .

El resultado es el mismo si colocamos un péndulo sobre un círculo graduado, como la brújula **Wilkie** (fig. 67) o la **Meridian**.

Otro sistema, es colocar un nivel de aire (fig. 77) a una aguja móvil desde la parte posterior. Se utiliza moviendo la aguja hasta que la burbuja nos indique la horizontal, y entonces podemos leer el ángulo de la pendiente α . En la fig. 62 podemos ver la brújula **Tamaya**, que lleva incorporada este tipo de clinómetro. De un sistema similar existe el clinómetro **Abney** (fig. 78), consiste en un tubo para hacer visuales y por mediación de un prisma vemos el nivel de burbuja, colocamos la burbuja a cero y



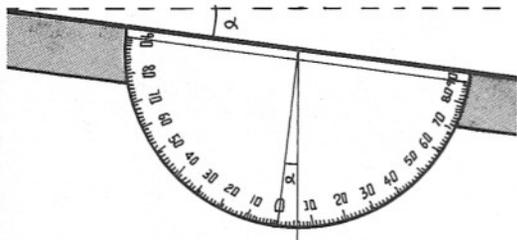


Fig. 76

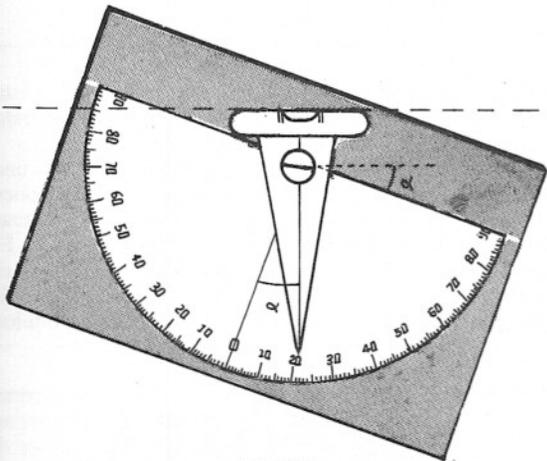


Fig. 77

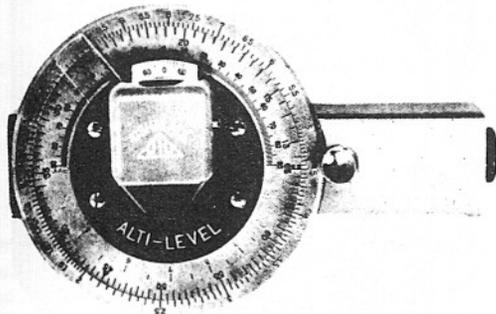


Fig.78

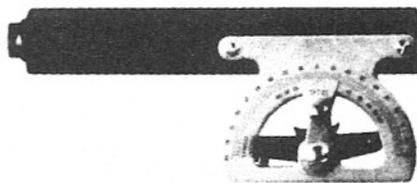


Fig. 79

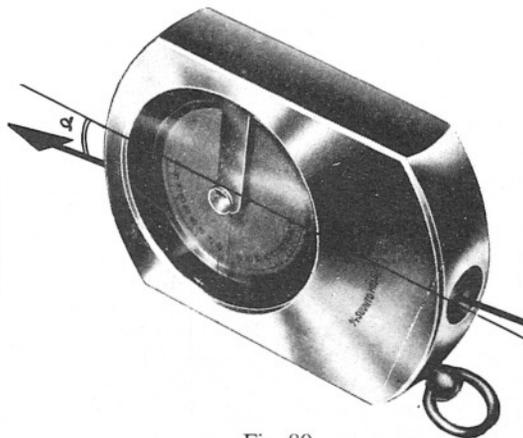


Fig. 80

3 - Clisímetros: el más utilizado es el de la casa Meridian.

Consiste en un objeto lastrado (fig. 81) con dos aberturas donde podemos hacer la lectura directamente del ángulo vertical, ya que tiene un sistema de cardan que en



Fig. 81

leemos el ángulo en el limbo. De más precisión es el clinómetro de la casa **Anti-Level** (fig. 79), que calcula también altura y distancias y es utilizable como regla de cálculo.

Un sistema parecido al primero es el utilizado por la casa Suunto, que consiste en un círculo graduado con un peso en la parte inferior y que se mantiene estático mientras inclinamos la caja hacer la visual. El sistema de lectura es igual que el de la brújula (fig. 69), pero en posición vertical (fig. 80). Resulta muy preciso y con las mismas ventajas de la brújula. Opcionalmente puede llevar iluminación de Tritio.

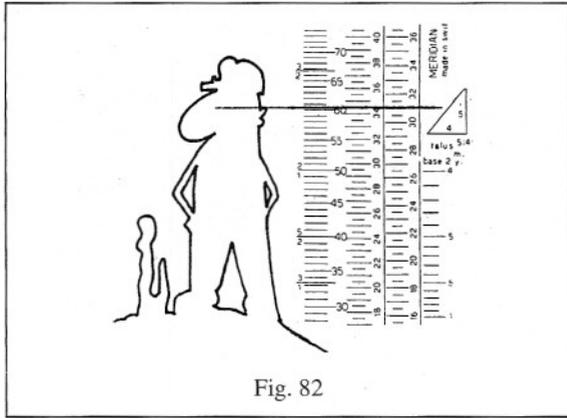


Fig. 82

suspenderlo queda en posición vertical. La lectura se efectúa con los dos ojos abiertos, y nos da el ángulo en grados centesimales, sexagesimales, tanto por ciento, la distancia de 4 a 500 m con una base de 2 m. y la escala para el control de taludes. En la fig. 82 podemos ver un ejemplo de lectura del ángulo: 60,3%; 34,5g; 31°; pero no es posible efectuar una medida de la distancia ya que es menor de 4 m. En cambio en la fig. 38 vemos como la parte superior del palo de dos metros coincide con la división 20, por tanto la distancia es de 20 m.

4 - Dendómetros: es un aparato similar al de la marca Suunto, pero la lectura se efectúa con prisma (como la brújula de la fig. 60, pero en vertical). Mide en % y dá directamente los desniveles de árboles, casas,... con una determinada distancia horizontal. En espeleología prácticamente no se utiliza. En la fig. 83, se observa un modelo de la casa Meridian.

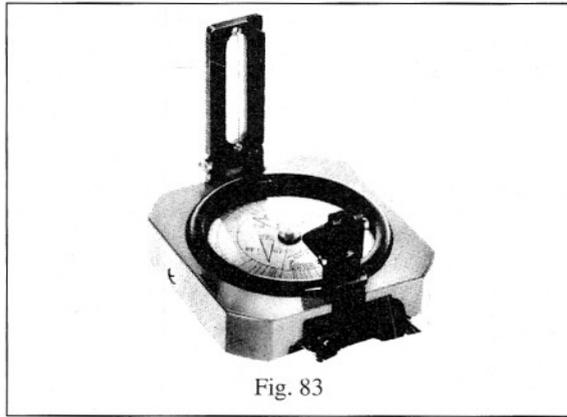


Fig. 83

5 - Barómetros: hasta ahora se ha visto cómo utilizar el ángulo vertical para saber la diferencia de cota entre los puntos. Otro sistema para encontrarla es midiendo la diferencia de presión atmosférica con un barómetro. Mediante la física sabemos que el peso del aire en el nivel del mar es igual al de una columna de mercurio de 760 mm., y que al variar la altura respecto al nivel del mar, hay menos aire y por tanto menos presión. Viendo esta variación podemos calcular las cotas.

6 - Aneroides: (altímetro) además de la presión sobre una columna de mercurio, se puede medir el cambio de volumen de una caja de cobre-berilio, en la que se ha

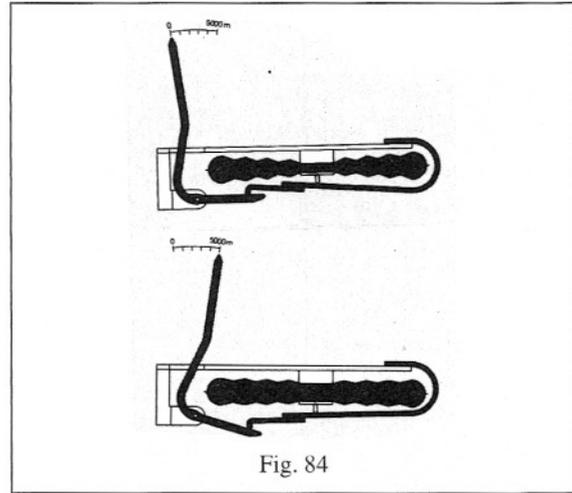


Fig. 84

hecho el vacío (aneroides). Al haber menos presión, ésta aumenta de volumen (fig. 84), y el cambio es transmitido a una aguja que nos indica directamente los metros.

Los altímetros normalmente se utilizan para tener una idea aproximada de los desniveles, ya que las variaciones climáticas lo afectan mucho. Son muy útiles para situar las bocas de las cavidades y para grandes sistemas. El tipo más utilizado es el **Thommen-2000**, que según el modelo puede llegar hasta los 5.000 y los 9.000 (fig. 85), con divisiones de 10 m. Actualmente existen modelos bastante precisos de lectura digital.

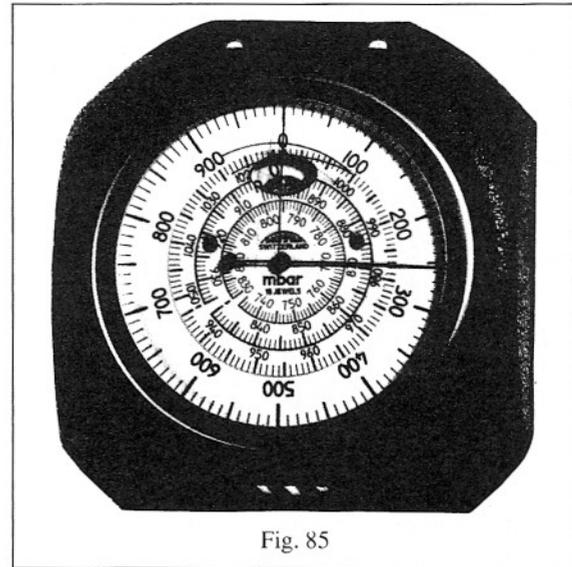


Fig. 85

Cuando se trata de buscar las alturas de una serie de puntos, se parte de una cota conocida (p.e.: el nivel del mar, o una iglesia que tenga la placa del servicio geográfico, con la altura en metros una estación de tren o un vértice geodésico), entonces ponemos la altura correspondiente moviendo la corona del altímetro. Hacemos la nivelación anotando en cada sitio la cota y la hora, y acabando en otro punto de cota conocida o en el mismo, se lee la medida y la diferencia es el error cometido. Se

TABLA DE CORRECCIONES

Tabla No. 1

Altura sobre el nivel del mar m	Temperatura según CINA °C	Torr. mm. Hg.	Diferencia de altura por Torr. m	Diferencia de presión por 10 m. Diferencia de altura Torr.	Corrección de altura por 1°C de temperatura Diferencia	
					+	-
0	15	760,0	11,15	0,897	0	0
200	13,7	742,14	11,35	0,880	0,8	0,8
400	12,4	724,63	11,58	0,863	1,6	1,6
600	11,1	707,45	11,81	0,846	2,4	2,4
800	9,8	690,61	12,05	0,830	3,2	3,2
1000	8,5	674,09	12,35	0,810	4	4
1200	7,2	657,89	12,59	0,7945	4,8	4,8
1400	5,9	642,0	12,85	0,7785	5,6	5,6
1600	4,6	626,43	13,1	0,763	6,4	6,4
1800	3,3	611,17	13,37	0,748	7,2	7,2
2000	2,0	596,21	13,65	0,733	8	8
2400	-0,6	567,18	14,21	0,704	9,6	9,6
2800	-3,2	539,3	14,81	0,6755	11,2	11,2
3000	-4,5	525,79	15,1	0,6625	12	12
3400	-7,1	499,57	15,75	0,635	13,6	13,6
3800	-9,7	474,43	16,42	0,609	15,2	15,2
4000	-11,0	462,25	17,05	0,5865	16	16
4500	-14,25	432,9	17,96	0,5565	18	18
5000	-17,5	405,08	18,98	0,527	20	20
5500	-20,75	378,73	20,05	0,499	22	22
6000	-24,0	353,78	21,19	0,472	24	24

Fig. 86

B6 c) INSTRUMENTOS UNIVERSALES

c.1. BRUJULAS UNIVERSALES

Son las que llevan la brújula y el clinómetro en el mismo aparato. Anteriormente hemos visto dos modelos, la **Tamaya** (fig. 62) que lleva un clinómetro con nivel de burbuja y un nonio, y la **Wilkie** (fig. 67), con un clinómetro de péndulo.

- Otro modelo es la **Topochaix Universal**, ver figura 88.



Fig. 88

construye un gráfico como el de la fig. 87, en la línea T, se marca el tiempo que se ha tardado (p.e. desde las ocho y media hasta la una y cuarto), en la línea H, se hace constar el error que se ha cometido, en metros. Uniendo el punto a-b y permite saber la corrección necesaria en cada punto, se busca la hora en que se ha tomado la medida y se lee la corrección en metros en la otra escala. En este caso el error total ha sido de -8m., por tanto al punto c tomado a las once y media deberemos sumarle 5 metros.

Otro factor que puede modificar la lectura de la altura es la temperatura, en la tabla de la figura 86 tenemos unos factores de corrección.

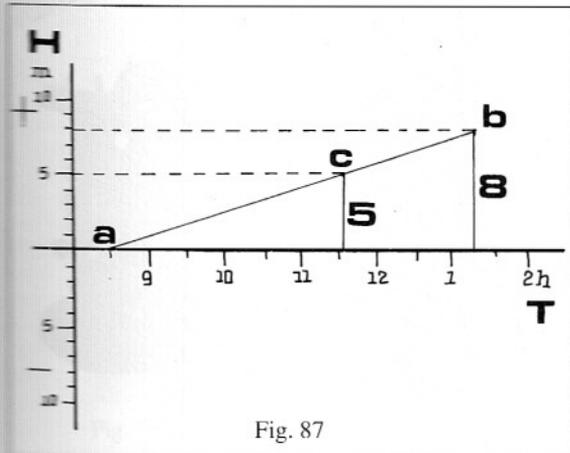


Fig. 87

Aparato bastante robusto y de alta precisión, ya que el disco magnético es de 60 mm, y la lectura se realiza mediante un prisma («brújula prismática y de alidada»). Corona exterior para corregir la declinación. El clinómetro es de péndulo autobloqueable, o sea, apretando un botón la aguja se pone en posición vertical, y al dejar de apretar, queda bloqueada para poder efectuar la lectura. Consta de un nivel esférico y una pínula con divisiones estadimétricas (estadia de segundo orden), para medir distancias aproximadas. También es utilizable como dendómetro.

- **Topochaix-Reconocimiento:** es similar a la anterior, pero con un clinómetro de bola. Es de dimensiones más reducidas, de menos precisión, pero más sólida (Fig. 89).

- **La casa Meridian** tiene varios modelos que tienen acoplados la brújula y el clinómetro. Destaca la **brújula de geólogo M6-3002**, de precisión (fig. 90). Tiene una anilla que cuando está suspendida queda en posición vertical por el sistema de cardán. Consta de dos clisímetros, un clinómetro de péndulo y la brújula con la lectura de prisma. Opcionalmente puede tener un goniómetro que se acopla al gozne y nos permite medir buzamientos.

Otros instrumentos interesantes son los de la serie MI, como el de la fig. 91. Se trata del Instrumento Universal MI-4003, que consta de los mismos accesorios que la anterior, pero además nos permite hacer visuales muy

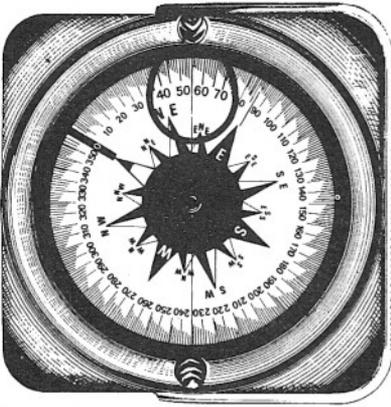


Fig. 89

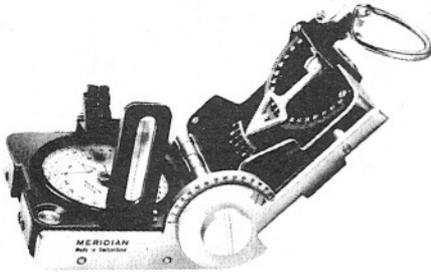


Fig. 90

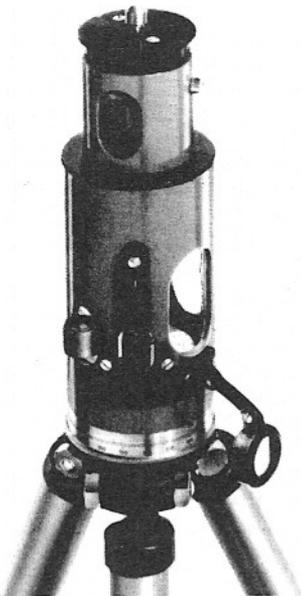


Fig. 91

inclinadas, tomar direcciones (con una exactitud de 5') y visuales de 90° (escuadra de agrimensor). Se coloca encima de un trípode.

– De parecida construcción existe la **Brújula Universal MI-4007**, que con el sistema de cardán no es necesario usar ningún trípode. También los **Pantómetros** de la serie MP pueden dar buenos resultados.

c.2. APARATOS TOPOGRAFICOS

En este apartado se incluyen los aparatos similares a los anteriores, pero de mayor precisión. Debido a su elevado precio no son prácticamente utilizados en espeleología, sólo en las grandes cavidades; por esta razón tan solo se enumerarán los principales y sus características generales. Están compuestos (fig. 92) de un **limbo horizontal**, que puede ser orientable al norte magnético y por tanto dará el rumbo α , o medir las direcciones. Un **limbo vertical**, que mide los ángulos verticales, (ángulo φ) (respecto a la vertical), y una lente que permite hacer las visuales con mucha precisión.

Está todo montado en una plataforma nivelante, que gracias a tres tornillos se puede «calar» el aparato totalmente horizontal. Una plomada indica el punto exacto de estación.

Normalmente en la lente llevan un retículo de hilos que lo convierten en una estadia de primer orden que per-

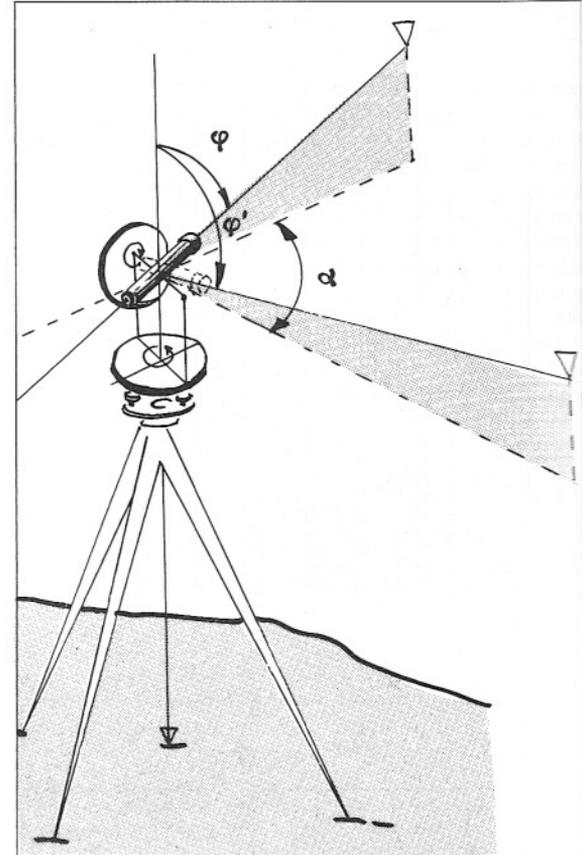


Fig. 92

mite medir las distancias directamente con la ayuda de una mira (fig. 36). Esta operación se denomina **taquimetría** (medir rápido). Por esta razón la mayoría de estos aparatos se llaman taquímetros o teodolitos.

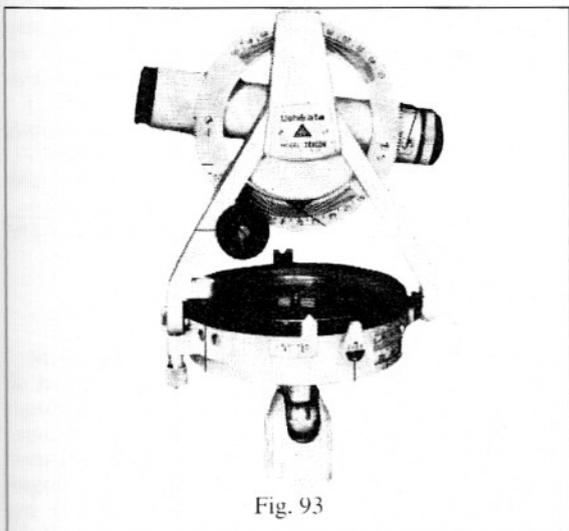


Fig. 93

Teodolito-Brújula Tracon S-25: (fig. 93) consta de un telescopio reversible de imagen derecha. El limbo vertical tiene un apreciación de un grado. El limbo horizontal con nonios, hasta 5'. Tiene una aguja magnética de 70 mm. Pesa 1,6 kg. Va acoplado a un trípode mediante una rótula.

Teodolito-Brújula Wild T-O: (fig. 94) se trata de una brújula con las características de teodolito, muy útil por su sencillez y rapidez. La lente es de 20 aumentos. Lleva un sistema de micrómetros para efectuar la lectura, pudiéndose apreciar 1 minuto. Es un aparato muy útil en espeleología en cavidades grandes y con no muchas dificultades técnicas.

Teodolito: son aparatos de alta precisión que miden «direcciones» con una exactitud que oscila entre los minutos y los segundos. Se utiliza solo en topografía profesional o en casos excepcionales para situar diferentes

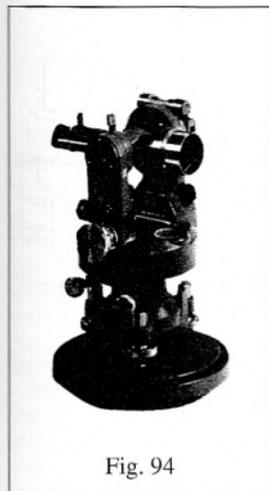


Fig. 94

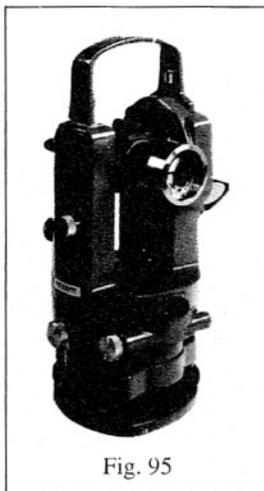


Fig. 95

entradas de grandes sistemas. En el caso de la Pedra de S. Martí, fué necesaria una poligonal con teodolito, para poder situar exactamente la sala de la Verna, para poder construir un túnel artificial hasta ella.

En la fig. 95 podemos ver el teodolito **Wild T-16** con un error de apreciación de 1'. En la fig. 96 un **Zeiss Th5** con sus diferentes partes.

En la fig. 97 vemos el **Wild T-4**, aparato muy preciso utilizado en triangulaciones de primer orden y observaciones geodésicas. La lectura es de 0,1". En la fig. 98 se observa un ejemplo de la lectura en segundos.

Taquímetro: en un principio los taquímetros eran los aparatos utilizados para medir las distancias. Actualmente casi todos los aparatos llevan retículos. Los hay que se denominan taquímetros autorreductores ya que mediante ellos podemos conocer la distancia reducida y el desnivel. En la fig. 99 podemos ver el taquímetro autorreductor Wild RDS, así como un esquema del trayecto de los rayos de lectura del limbo. En la fig. 37 vemos un ejemplo de como medir la distancia con la lente y una regla (mira).

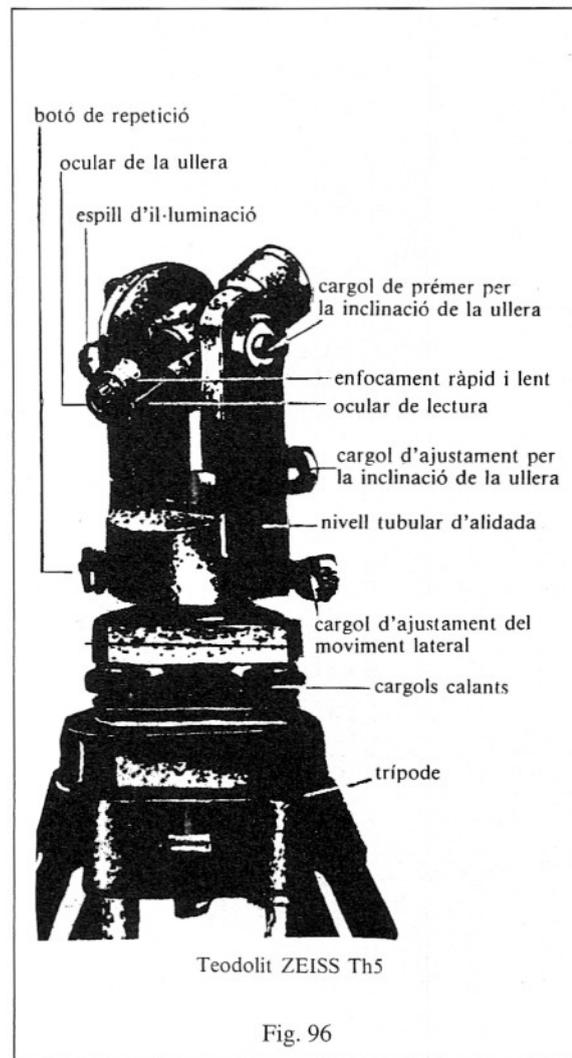


Fig. 96

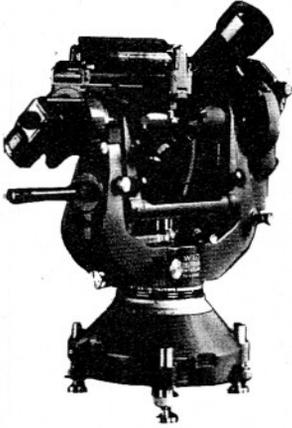


Fig. 97

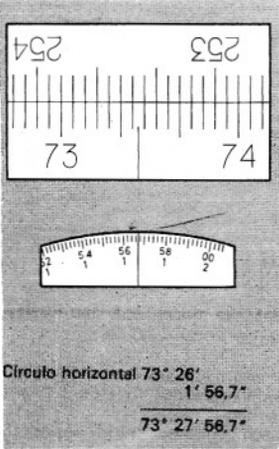
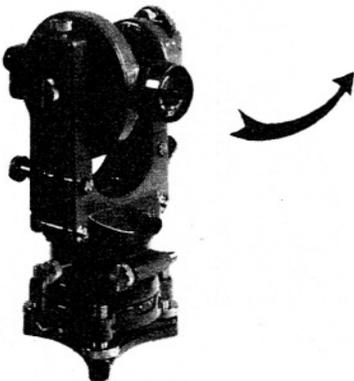


Fig. 98



Los modelos más modernos llevan integrado electrónicamente el sistema de lectura de la distancia con las medidas de los ángulos, con lo cual el mismo aparato va calculando sobre el terreno las coordenadas y los desniveles, como la Estación MTS-10 que permite medir distancias de casi 1 Km. y ángulos con minutos.

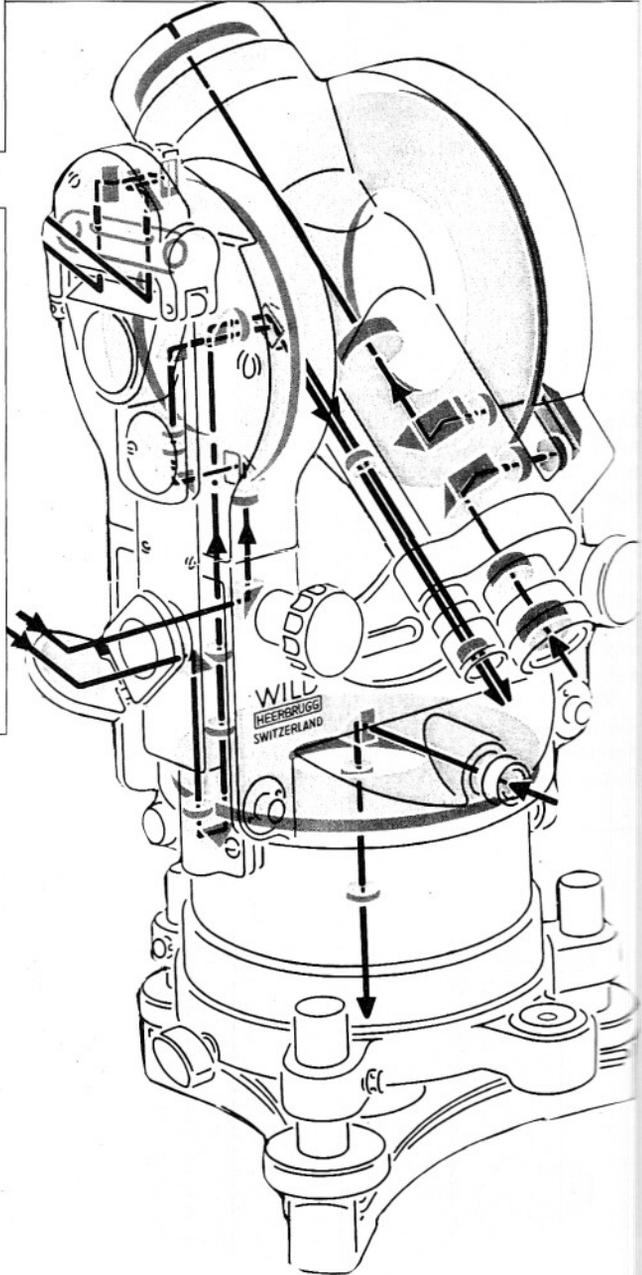


Fig. 99

B7. TEORIA TOPOGRAFICA

En este apartado se agrupan los diferentes métodos, para realizar una topografía desde el punto de vista teórico. Más adelante se aplicarán estos métodos en casos concretos que podemos encontrar en las cavidades.

Los trabajos topográficos se pueden dividir en dos grandes grupos:

- la **altimetría**: es la medida de puntos situados en diferentes cotas.
- la **planimetría**: es la medida de puntos situados en un plano horizontal.

B7 a) ALTIMETRIA

Medida de ángulos verticales: Al hablar al principio de las proyecciones (capítulo B5), se ha visto que la representación gráfica de unos puntos situados en el espacio deben proyectarse ortogonalmente a un plano horizontal y acotarlos. Para poder hacerlo se utilizan los **ángulos verticales** (ver capítulo B6 b3). Así, cada vez que se miden dos puntos cualquiera (fig. 100), por ejemplo R y S, se obtiene el **triángulo fundamental** visto en la fig. 71, en donde se conoce la distancia entre R y S, el ángulo φ medido con el clinómetro. Sólo se necesita saber el valor de la **distancia horizontal** (Dh) que es el lado TS del triángulo, y el desnivel (Z), lado RT. Por tanto la proyección de los puntos R y S, es la distancia TS, y la cota el desnivel RT.

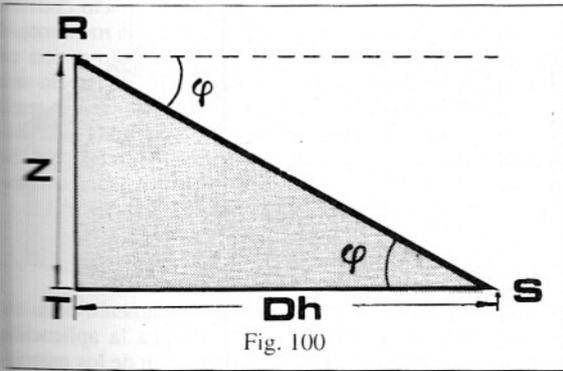


Fig. 100

De esta manera, para acotar una serie de puntos, se usan, midiendo las distancias entre ellos y los ángulos verticales de cada uno. La cota final es la suma algebraica, o sea poniendo los signos positivos o negativos (fig. 101), de los desniveles parciales, o sea el de cada triángulo. En el ejemplo de la fig. 101, se considera que por el punto 1 pasa el plano de referencia que llamamos cota «cero», que sería el caso de la boca de una cavidad. Si fuese la topografía exterior el plano «cero» sería el nivel del mar.

Entre punto y punto se cumplen las características del triángulo fundamental, por lo tanto se puede saber la **distancia horizontal** (Dh) y el desnivel parcial (Z) entre cada punto. Este será **positivo** cuando el ángulo φ esté por encima de la horizontal y **negativo** cuando esté por

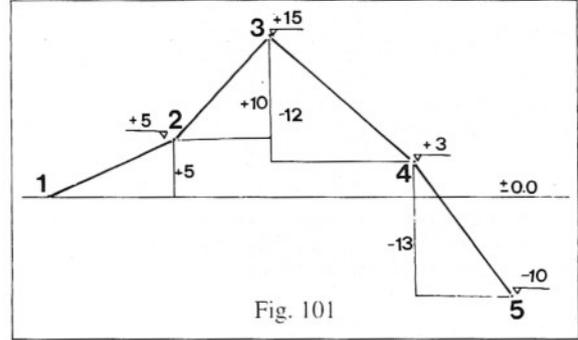


Fig. 101

debajo. El resultado son desniveles positivos y negativos que al irse sumando dan las **cotas finales**. Un ejemplo podría ser:

Puntos	Cota parcial	Suma alge.	Cota Total
1	0		0
2	+ 5	0 + 5 =	+ 5
3	+ 10	+ 5 + 10 =	+ 15
4	- 12	+ 15 - 12 =	+ 3
5	- 13	+ 3 - 13 =	- 10

Como se puede apreciar en el dibujo, las cotas totales se colocan encima de una rayita horizontal con un triángulo con el vértice hacia abajo.

Se pueden utilizar dos métodos: la **nivelación por la horizontal** y la **nivelación por pendientes**.

a.1. NIVELACION POR HORIZONTALES

Consiste, como ya se ha visto, en buscar el desnivel vertical entre dos puntos mediante un nivel o un aparato que marca la horizontal, por ejemplo un clinómetro, o un clisímetro. El sistema es el siguiente:

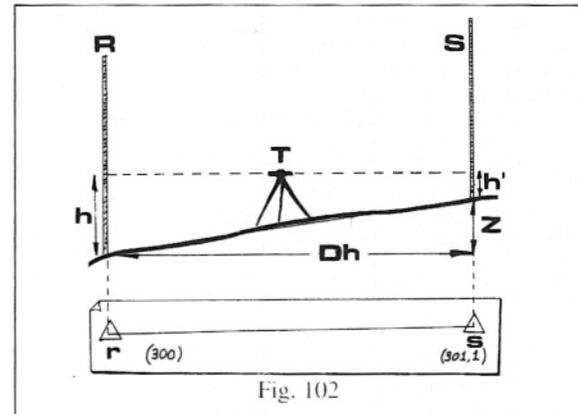


Fig. 102

Se colocan dos reglas (miras) de unos 3 a 4 metros de longitud en cada punto, por ejemplo R y S (fig. 102). Más o menos en la mitad se sitúa el nivel T. Se traza una línea horizontal al punto R y se lee la distancia h, después al punto S y la distancia h'. El desnivel entre R y S es:

$$Z_R^S = h - h' = 2,3 \text{ m} - 0,2 = 1,1 \text{ m}$$

Si el punto R está situado a 300 m. sobre el nivel del mar, el punto S estará a:

$$300 + 1,1 = 301,1$$

Esta será la cota del segundo punto, y así sucesivamente. La distancia «D», es la **distancia horizontal** ya que está medida en el plano horizontal.

a.2. NIVELACION POR PENDIENTES

En este método se mide el ángulo vertical del segmento que une los puntos que se quieren nivelar.

Para conocer el **desnivel** y la **distancia horizontal** entre dos puntos, se realizan las siguientes operaciones (fig. 103):

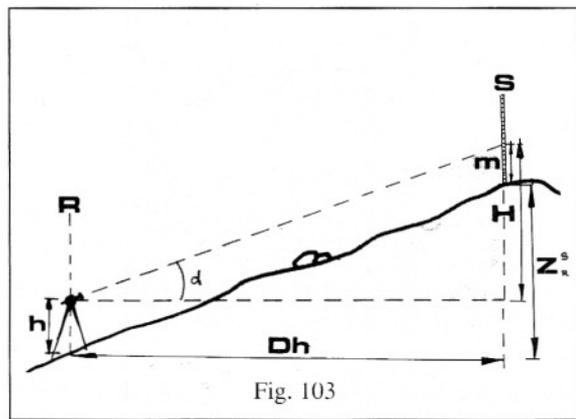


Fig. 103

Se coloca en R el aparato (teodolito, taquímetro,...) o el topógrafo con un clinómetro. Se mide la **altura del aparato** (h), o la altura hasta los ojos de la persona, en el caso de usar un clinómetro. Se mira al punto S, donde hay una regla graduada (mira) y se lee la altura (m) o **altura de la mira**. Se lee el ángulo vertical (α) y se calcula (H), según el método siguiente: El desnivel real entre R y S es:

$$Z_R^S = H + h - m$$

En espeleología se utiliza normalmente un clinómetro. La altura (h) es la del espeleólogo, y la (m) la del otro espeleólogo. Es importante que ambos midan igual, (ver el capítulo de errores) el término $h - m = 0$, y por tanto se anula y no es necesario tenerlo en cuenta, resultando el desnivel entre dos puntos:

$$Z_A^B = H + h - m$$

Para encontrar el valor H, se pueden utilizar dos métodos: **gráficamente** o por **trigonometría**.

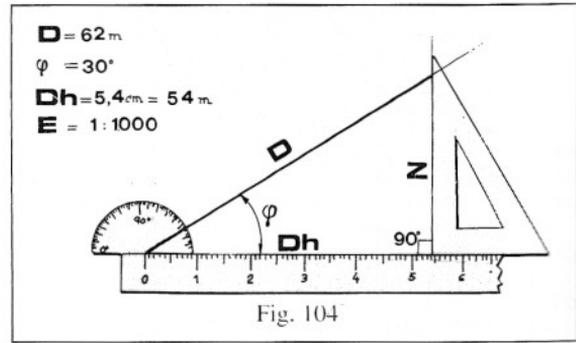


Fig. 104

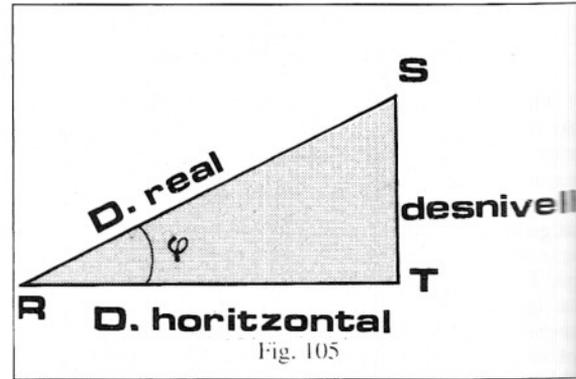


Fig. 105

a.2.1. MÉTODO GRAFICO

El método más elemental, pero menos exacto consiste en construir gráficamente y a escala, en cada momento el **triángulo fundamental**, poniendo el ángulo ϕ con un círculo graduado, y la distancia real, con una regla una vez ya transformada por la escala. Midiendo con la regla los catetos del triángulo, se obtiene el desnivel y la distancia horizontal, tal y como se observa en la fig. 104. Se puede utilizar ábacos, con valores aproximados aceptables, como el parecido en la revista «Speleosie» nº 11.

a.2.2. MÉTODO TRIGONOMÉTRICO

En el capítulo C2a2 se explica el fundamento de la trigonometría. En este apartado se explica la aplicación concreta de sus fórmulas para la obtención de los anteriores datos. Es más exacto que el método anterior, resultando imprescindible el uso de calculadoras científicas o ordenadores (fig.105).

– el **desnivel** es igual a la **distancia real** multiplicada por el **seno** del ángulo vertical.

$$ST = RS \cdot \text{sen } \phi$$

O bien, la **distancia horizontal**, multiplicada por la **tangente** del ángulo vertical:

$$ST = RT \cdot \text{tang } \phi$$

– la **distancia horizontal** es la **distancia real** multiplicada por el **coseno** del ángulo vertical:

$$RT = RS \cdot \text{cos } \phi$$

En caso de utilizar un taquímetro o teodolito, como los ángulos verticales son cenitales, o sea que el «O» está en

la línea vertical, no en la horizontal como los clinómetros, las fórmulas son las siguientes:

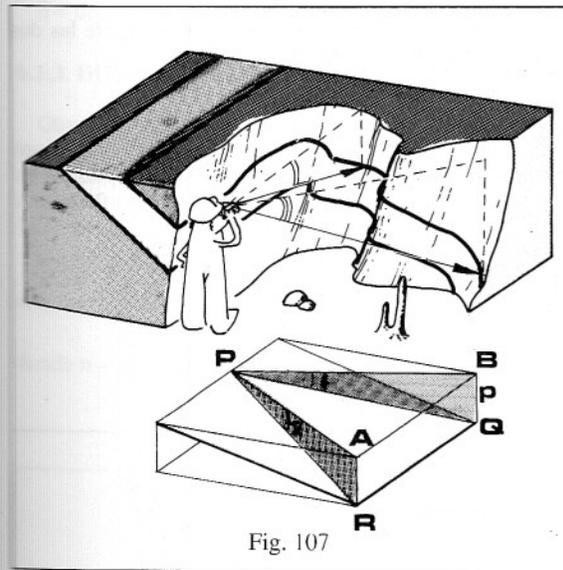
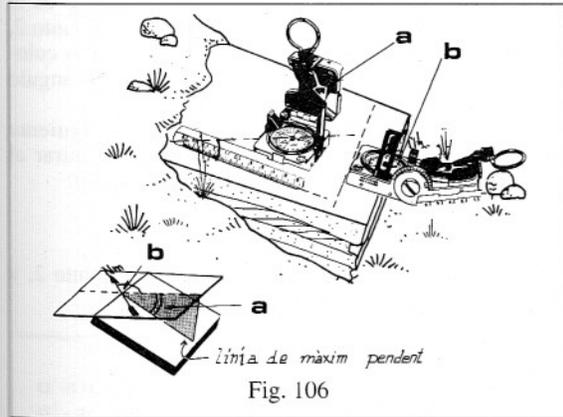
$$\text{Distancia horizontal } Dh = g \cdot \text{sen}^2 \varphi$$

$$\text{Desnivel } Z = Dh \cdot \text{cot } g \varphi$$

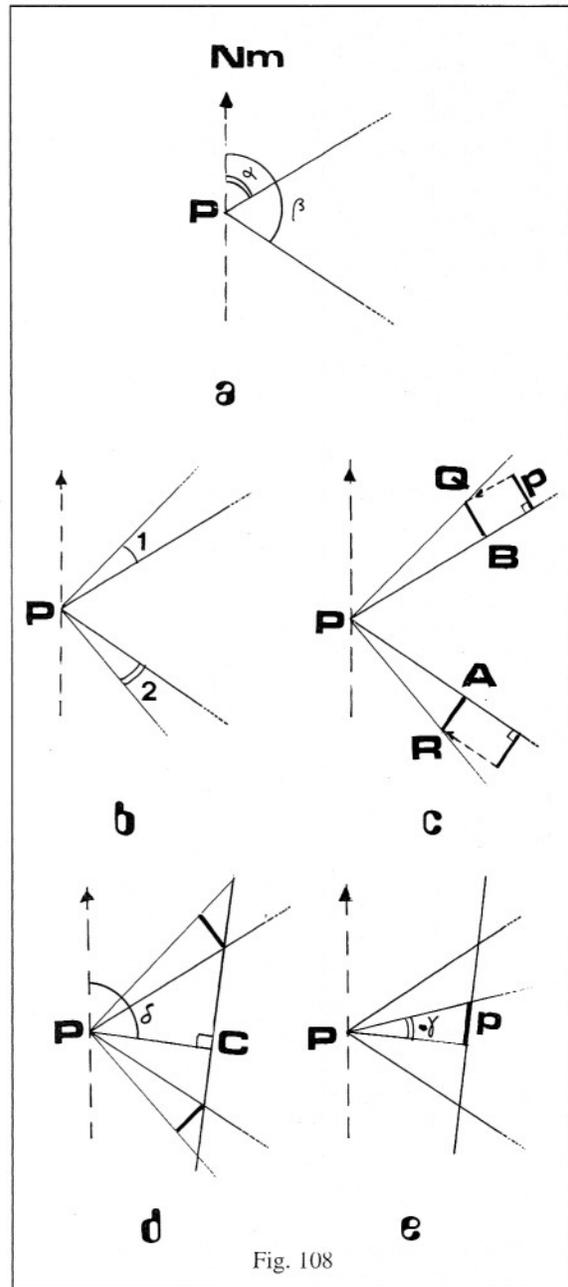
donde g es la distancia real llamada **número generador**

a.3. BUZAMIENTOS DE LOS ESTRATOS

Un dato importante a tomar por el topógrafo es el buzamiento de los estratos. Éste es el ángulo vertical, que tiene la línea de máxima pendiente del estrato, y su dirección con el Norte magnético.



Si se encuentra una superficie de estratificación limpia pueden medirse estos dos valores directamente (fig. 106). En primer lugar, se mide el ángulo vertical con el clinómetro (a). En segundo lugar, colocando la brújula horizontalmente con el nivel de burbuja, se hace coincidir una esquina de ésta con la superficie del estrato, y se lee en (b) el ángulo con el Norte. De esta forma, un estrato puede tener, por ejemplo, un buzamiento de 35° en dirección N131E.



A menudo es difícil ver la superficie directamente, pero en algunas galerías de las cavidades se puede observar por las paredes esta superficie. En estos casos el procedimiento es situarse en un punto donde se vea esta línea (fig. 107) y efectuar dos visuales a otros puntos, midiendo el ángulo vertical con el clinómetro y el horizontal con la brújula. De esta forma se miden dos **buzamientos aparentes**.

Para encontrar el buzamiento real se realiza la siguiente construcción geométrica: (Robles, 1978)

En un papel milimetrado se coge un punto cualquiera, y a partir de él se trazan las dos visuales (PQ y PR) con su correspondiente rumbo (α y β) (fig. 108-a).

Los triángulos PAQ y PBR de la fig. 107 se hacen girar sobre la línea PA y PB respectivamente. Lo único que se sabe de ellos son los ángulos 1 y 2, que se colocan en la fig. 108-b.

En la fig. 107 vemos como las distancias BR y AQ son iguales, entonces se coge un segmento (p) de longitud arbitraria (por ejemplo 1 cm.), igual para los dos, se coloca perpendicular a las líneas primeras y se desplaza hasta cortar las otras líneas (fig. 108-c) construidas a partir del ángulo de buzamiento. Sabiendo los puntos A y B y uniéndolos se obtiene la **dirección de la capa**, y la perpendicular PC es la **dirección de buzamiento** (δ) (fig. 108-d). Para conocer el ángulo de buzamiento se levanta una perpendicular A PC (p), con la misma distancia que se ha utilizado, y uniendo P al extremo de p, se obtiene el ángulo (γ) (fig. 108-e).

B7 b) PLANIMETRIA

Como se ha visto en altimetría, gracias a los ángulos verticales se puede encontrar el desnivel (Z) y la distancia horizontal (Dh). En planimetría sólo se utiliza la Dh, ya que se trata de la proyección de los puntos situados en el espacio, en el plano horizontal (fig. 109).

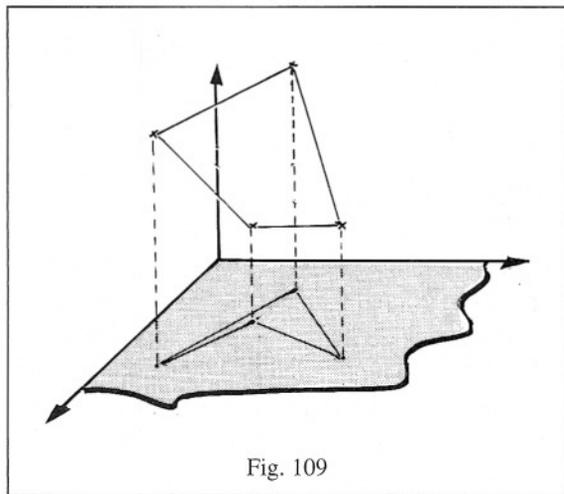


Fig. 109

Por tanto planimetría es la medida de líneas en el plano horizontal, para esto se necesita:

- 1º medir los ángulos horizontales
- 2º saber la distancia horizontal (Dh)

Los métodos para medir los ángulos horizontales son:

b.1. POLIGONAL

Etimológicamente significa: **muchos ángulos**, ya que se trata de una línea quebrada formada por una serie de segmentos, formando ángulos entre ellos. La poligonal puede ser **abierta** o **cerrada**. La primera es la más corriente en espeleología, pero lo que conlleva más

error. La segunda sólo se podrá aplicar en las cavidades que tengan varias bocas, ya que se pueden unir por el exterior, cerrando la poligonal, esto permite saber el error cometido y así compensarlo. (Ver capítulo de Errores).

La realización consiste en ir midiendo la distancia entre los segmentos y los ángulos entre ellos. Estos ángulos pueden ser de tres tipos:

b.1.1. RUMBOS

Como se ha visto, el rumbo es el ángulo de una línea con el Norte magnético, que viene dado por la brújula (fig. 100). La operación para medir una poligonal es la siguiente: colocamos en el punto 1 y miramos el punto 2, el rumbo entre 1 y 2 es el ángulo (v). Entonces nos colocamos en el 2 y miramos el punto 3, midiendo el ángulo (y), después el (z) y así sucesivamente.

Para mayor seguridad se puede realizar la siguiente operación: una vez en el punto 2, volvemos a mirar al punto 1, midiendo el ángulo (x). Este debe cumplir:

$$v = x - 180^\circ$$

Por ejemplo, si (v) mide 33° y, al volver al punto 2, y mirar al 1, el ángulo (x) mide 214° , tenemos:

$$214^\circ - 180^\circ = 34^\circ$$

La diferencia de las dos lecturas es:

$$34^\circ - 31^\circ = 3^\circ$$

Por tanto el error es de 3° , que repartido entre las dos medidas es de $1,5^\circ$ resultando:

$$v = 31^\circ + 1,5^\circ = 32,5^\circ$$

$$x = 214^\circ - 1,5^\circ = 212,5^\circ$$

y entonces cumple:

$$v = x - 180^\circ$$

$$32,5^\circ = 212,5^\circ - 180^\circ$$

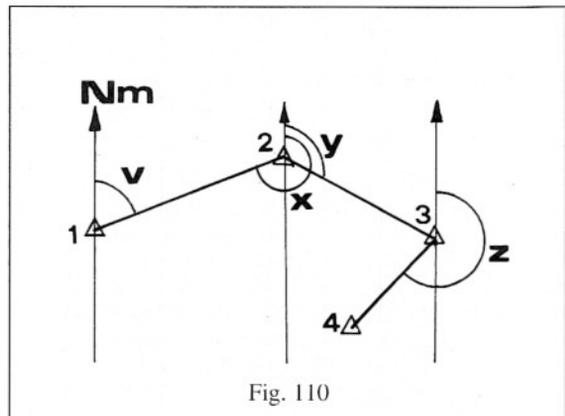


Fig. 110

b.1.2. ACIMUT

Para hallar el acimut, debemos saber la declinación magnética, ya que el ángulo que se mide es respecto al Norte geográfico. Para hallar la declinación se pueden utilizar varios métodos (ver B6.b.1.4.).

Para realizar la poligonal el método es el mismo que el anterior, la única diferencia es que a los valores que obtengamos con la brújula deberemos restarles la declinación. (fig. 111).

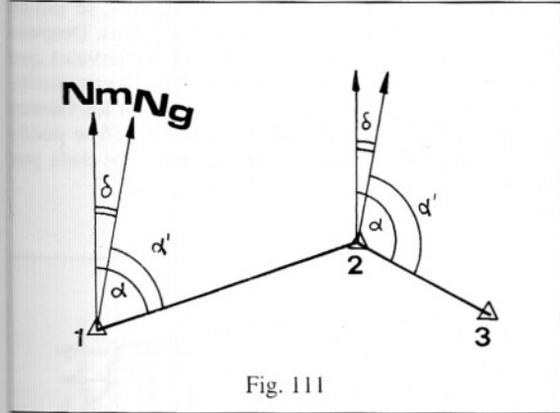


Fig. 111

- $\alpha' = \alpha - \delta$
- α' - acimut
- α = rumbo
- δ = declinación magnética.

b.1.3. DIRECCIONES

Otro sistema es medir el ángulo entre los dos segmentos. Pueden ser los exteriores (α) o los interiores (β). Los aparatos para medir direcciones son los teodolitos y taquímetros. Si se trata de una poligonal cerrada (fig. 112) la suma de los ángulos interiores es:

$$\Sigma\beta = (n - 2) 180$$

si son exteriores:

$$\Sigma\alpha = (n + 2) 180$$

donde n = número de lados del polígono.

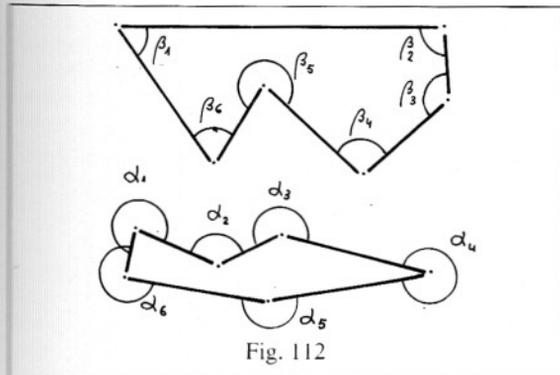


Fig. 112

b.2. RADIACIONES

Consiste en colocarse en un lugar e ir orientando una serie de puntos alrededor de éste (fig. 113). Puede ser respecto al Norte magnético, geográfico, o a los ángulos que forman entre ellos. El error es fácil de detectar, ya que al volver al punto de origen debería leerse los 360°; cantidad que debería ser el resultado de la suma de todos ellos.

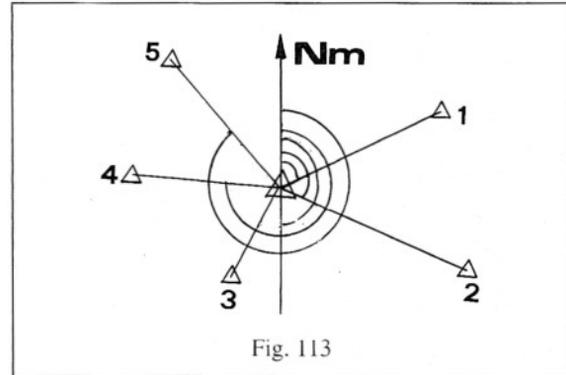


Fig. 113

b.3. TRIANGULACION

Consiste en construir una red de triángulos como los de la fig. 114. Se puede hacer de varias formas:

- midiendo los lados de los triángulos con la cinta métrica. Se dibuja poniendo las distancias con un compás y se reconstruye el triángulo.

Sólo es válido para distancias reducidas (10,20 m.) y en terreno horizontal.

- Para realizar la cartografía de una gran extensión como puede ser la Península Ibérica, se realizan cadenas de triángulos llamadas redes geodésicas (ver B.2.c.)

Se mide un lado del primer triángulo con una exactitud extrema (con hilos de invar, con un error milimétrico) y con teodolitos de mucha precisión (que aprecian segundos de grado) se miden los ángulos del triángulo. Se con-

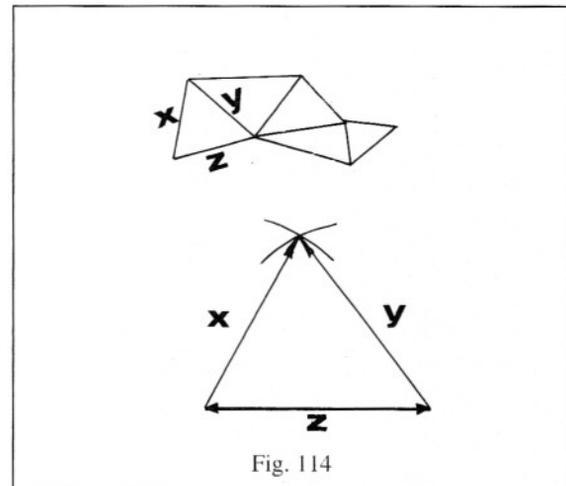
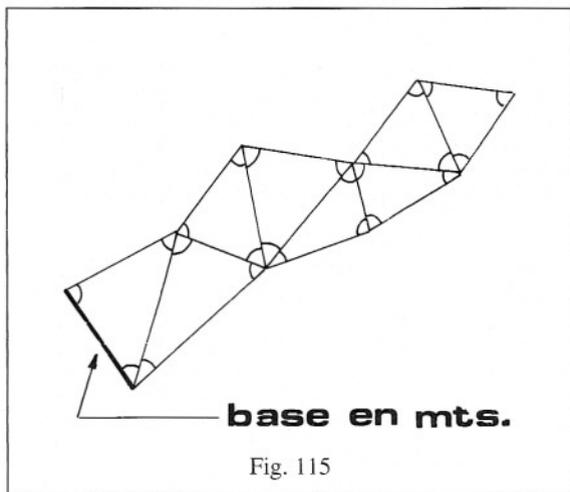


Fig. 114

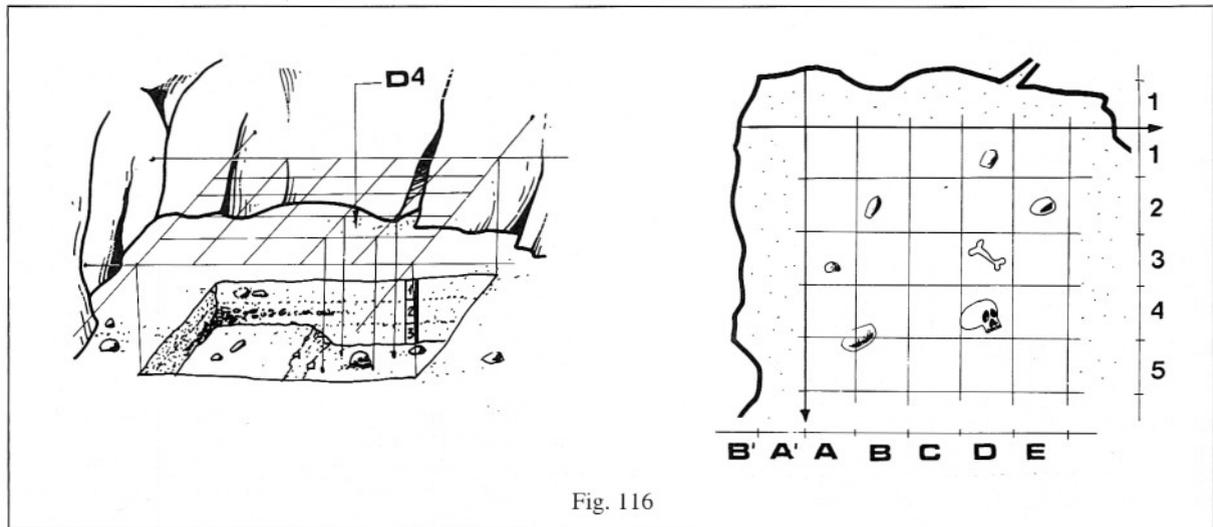


tinúa midiendo los ángulos y por trigonometría se deducen los lados de los triángulos (fig. 115).

– Para más exactitud se puede medir los ángulos y las distancias, con aparatos especiales (telurómetros, geodímetros).

b.4. COORDENADAS RECTANGULARES

En el caso de querer efectuar un levantamiento topográfico de una zona reducida con mucha exactitud, como es el caso de las excavaciones arqueológicas, se trazan unos ejes perpendiculares entre sí, con cordeles. Después se forma una cuadrícula de cordeles en los intervalos que nos interesen. De esta forma las piezas que se van encontrando, quedan determinadas directamente por los valores de la x, y; y por su profundidad. En la fig. 116 se puede observar que la situación de la calavera viene dada por D4 y el nivel 3.



SEGUNDA PARTE

APLICACION A LA ESPELEOLOGIA

C. TOPOGRAFIA ESPELEOLOGICA

C1. TRABAJOS DE CAMPO

C1 a) SITUACION DE UNA CAVIDAD

Lo primero que hay que hacer antes de realizar la topografía de la cavidad, es situar la cavidad sobre el mapa. Existen varios métodos:

a.1. TRISECCION DIRECTA

Prácticamente no se utiliza nunca, puesto que es muy laborioso. Consiste en efectuar varias visuales, con la brújula desde puntos diferentes, a la cavidad o al punto que queremos situar. Por ejemplo (fig. 117), hay que situarse en el punto A y se lee el rumbo α_1 , después en el punto B, (se puede hacer simultáneamente si son varias personas) y se lee α_2 , y así sucesivamente. Estos puntos deben estar bien situados sobre el mapa, puesto que a partir de ellos trazamos las líneas con el rumbo correspondiente y donde se corten es el punto buscado.

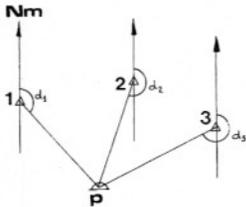


Fig. 117

a.2. TRISECCION INVERSA

Este sistema es el que normalmente se utiliza puesto que es el más sencillo, aunque un poco menos exacto. Es lo inverso del anterior. Desde el punto (a) se sitúa (p); se buscan puntos visibles y situados en el mapa, como pueden ser masías, iglesias, faros, pueblos, picos importantes y sobre todo vértices geodésicos (puntos marcados en el mapa con un triángulo). A cada punto se efectúa una visual con la brújula y se lee los rumbos $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \dots, \alpha_n$. Cuantos más puntos se busquen, más exacta será la visualización. Una vez se dispone de estos datos, se pueden utilizar varios sistemas para encontrar el punto (p).

1º El sistema más sencillo y práctico consiste en coger papel vegetal, escoger cualquier punto y a partir de él se traza la línea Norte-Sur, se coloca el círculo graduado y se va señalando los valores medidos en el campo ($\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$) (fig. 118). Se trazan estas líneas y se superpone el papel vegetal encima del mapa. Cada línea debe coincidir con el punto del mapa que le corresponde.

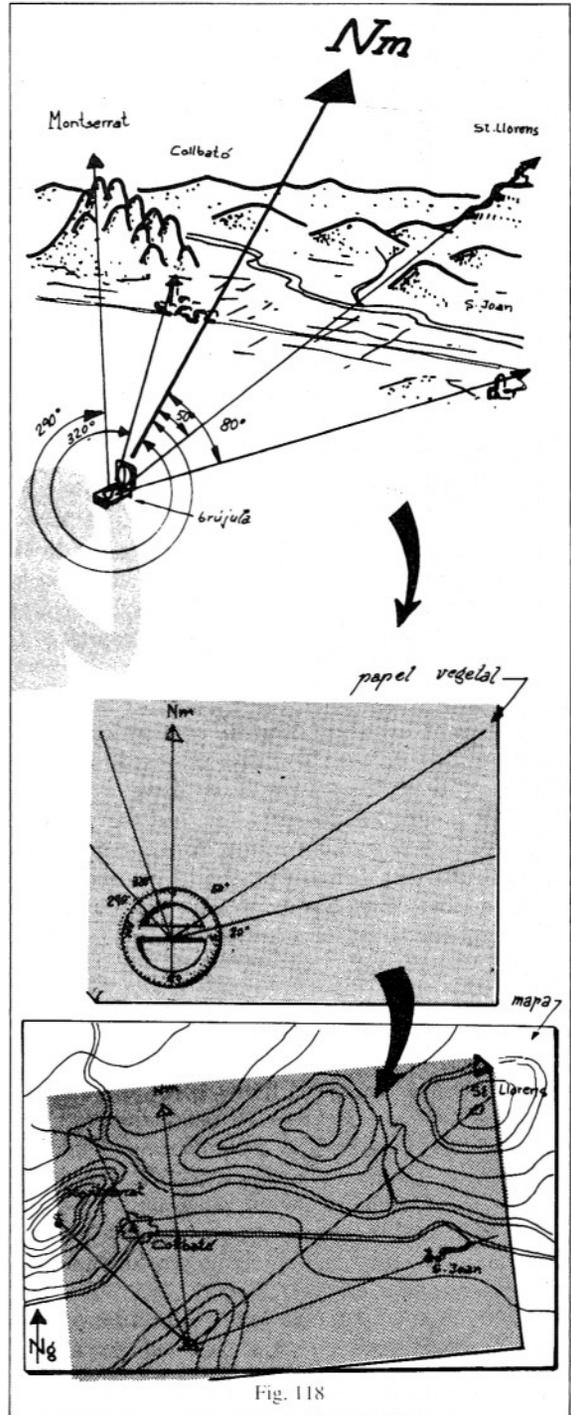
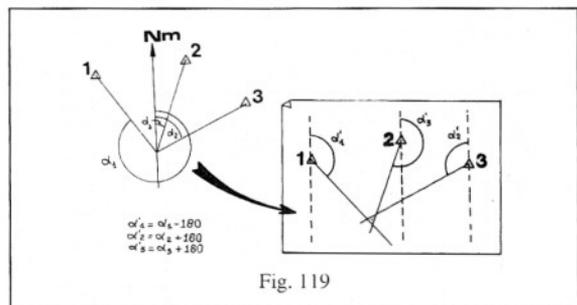


Fig. 118

Cuando esto se cumpla, se pincha con una aguja el punto (p), y allí será donde se encuentre la cavidad. Hay que tener en cuenta que la línea N-S del vegetal no coincida con la del mapa, ya que la primera es la medida en la brújula, por tanto es el Norte magnético, que como se ha visto varía del geográfico, que es del mapa.

-2° Este sistema consiste en poner el vegetal encima del mapa trazando la línea N-S. Se marcan los punto que hemos observado en el campo, se coloca el círculo graduado encima de cada punto, teniendo en cuenta que esté paralelo a la línea N-S consiguiendo la declinación magnética y se marca el ángulo inverso al medido (fig. 119).



Este ángulo es el resultado de restar 180° a sumárselo, según sea más grande o más pequeño que 180°: si es mayor que 180°:

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

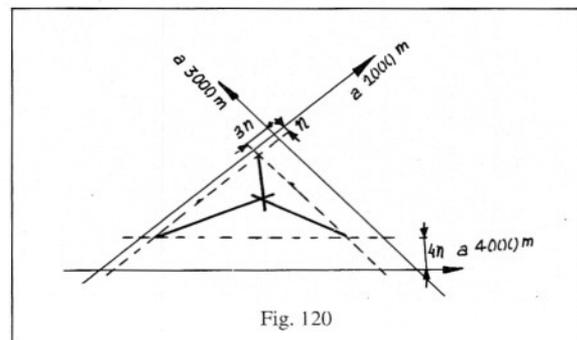
si α es menor que 180°:

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

El punto buscado es la intersección de todas las líneas.

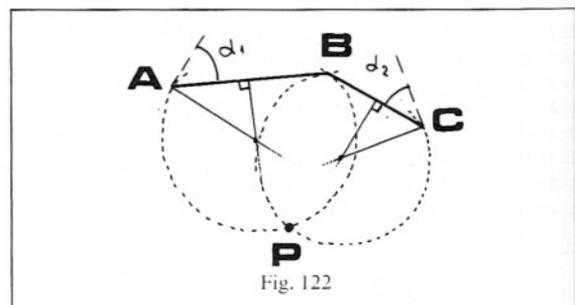
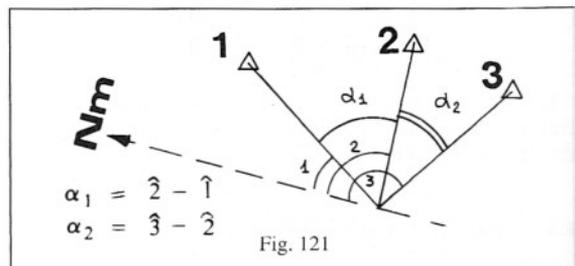
Lo corriente es que, debido al error, no coincidan las líneas en un solo punto y que se crucen formando un triángulo (si son tres líneas). Si se tienen más puntos se hacen combinaciones de tres en tres, dándonos cada vez un punto que se sitúa en el mapa con una aguja. Al final, se considera como más válido a la zona en donde se encuentran la mayoría de puntos.

Si el triángulo es pequeño se busca el punto medio a ojo. Si es grande se traza unas paralelas proporcionales a la distancia donde se encuentra el punto observado (fig. 120), tomando como centro la intersección de sus bisectrices. Si por ejemplo el punto (A) está a 1.000 m se toma como distancia (n) arbitraria (por ejemplo 1 mm) y se traza la paralela. Si (B) está a 3.000 m se efectúa la paralela a 3 n, y si (C) a 4.000 m, a 4 n.



a.3. PROBLEMA DE POTHENOT

Otra forma de resolverlo, es midiendo el ángulo α_1 entre 1 y 2, y el α_2 entre 2 y 3 (fig 121). Atención puesto que, este ángulo es una «dirección» no el rumbo. Si se dispone de rumbos, para encontrar los ángulos mencionados, solo es necesario efectuar las restas adecuadas, como se puede ver en el ejemplo:



La solución del problema es la siguiente: (fig. 122)

Se unen los puntos A, B, C con segmentos. En A se coloca el ángulo α_1 pero en el lado exterior, igual se hace en B con α_2 . Se efectúa una perpendicular a estas líneas. Desde la mitad de cada segmento AB y BC, se traza una perpendicular, que donde corte las líneas que hemos trazado antes, serán los centros de los «arcos capaces» de los ángulos α_1, α_2 y la intersección es el punto (p) buscado.

Es necesario tener en cuenta que los ángulos α_1 y α_2 sumados, no se aproximen a 180° ya que el problema sería indeterminado.

a.4. FOTOGRAFIA AÉREA

El territorio español está cubierto por colecciones de fotografías aéreas.

El Servicio Geográfico Nacional dispone de vuelos a diferentes escalas, el más práctico y económico es el de escala: 1:30.000. Existen escalas más detalladas pero de zonas aisladas (municipios, zonas naturales, etc.).

Con estas fotos normalmente es bastante fácil situar las cavidades, ya que se puede reconocer perfectamente el terreno, sobre todo si son recientes, puesto que se aprecian los caminos o pistas nuevas. Muchas veces si no hay vegetación, en función de la magnitud de la base y de la escala de la foto, se puede ver directamente las simas.

Estas fotografías se solapan unas con las de al lado, para poder obtener la visión en relieve estereoscópico con unas lentes especiales llamadas **estereoscopios** (fig. 123).

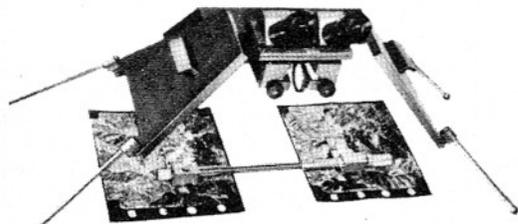


Fig. 123

Podemos hacer también un croquis de la situación (fig. 124), señalando los caminos, carreteras y la red hidrográfica. En general se puede distinguir los diferentes tipos de roca ya sean calizas, arcillas, etc., ya que las primeras dan formas abruptas, en cambio las arcillas dan formas más suaves y normalmente están ocupadas por los campos de cultivo.

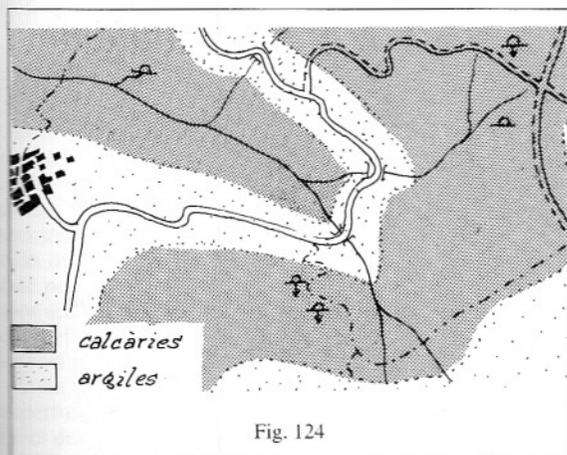


Fig. 124

a.5. POLIGONAL EXTERIOR

En caso de querer situar un sistema subterráneo importante con varias bocas, o situar sobre la misma topografía varias cuevas próximas, se construye una poligonal entre estos puntos, que cumpla:

1. Que sea cerrada
2. Utilizar aparatos lo más precisos posibles (a ser posible teodolito)
3. Enlazarla con los puntos conocidos en el mapa (casas, collados, picos, ...)

Esto nos puede ser muy útil para conocer si dos cavidades pueden enlazarse, a que distancia se encuentran diferentes galerías, etc. Por ejemplo en el Sistema de Arañonera (Pirineos centrales), se efectuó una poligonal cerrada con un teodolito, situando las cavidades que se conocían, y puntos conocidos en un mapa 1/10.000. De esta forma se consiguió:

1. Situar el sistema con exactitud en el mapa 1/10.000.
2. Saber la altura sobre el nivel del mar de las bocas
3. Saber exactamente el desnivel entre las bocas del T-1 y Sta. Elena, y las simas superiores, evitando los errores que se cometen en el interior de las cavidades.

4. Efectuar el enlace entre T-1 y Sta. Elena, ya que se vió que galerías eran las que se aproximaban más entre sí.

5. Conocer la declinación magnética de la zona, ya que al estar orientada con el Norte magnético, y al superponer la poligonal con el mapa, se pudo medir dicha diferencia entre ambos Nortes.

C1 b) COORDENADAS GEOGRAFICAS

Una vez situada la cavidad en el mapa, hay que buscar las coordenadas, ya que con estos datos se puede situar dicha cavidad en cualquier mapa. Como ya se ha visto anteriormente, las coordenadas vienen dadas por la **longitud** y la **latitud**. Ya que los meridianos y paralelos se consideran circunferencias, las medidas vienen dadas en ángulos. Puesto que el mapa es una porción muy pequeña de la Tierra, los lados pueden considerarse casi rectos, por tanto, para hallar las coordenadas, sólo es necesario coger una escuadra y deslizarla por el margen del mapa hasta que una línea pase por el punto situado. Se lee el ángulo en grados, minutos y segundos anotando, si es el eje horizontal como **longitud**, y como **latitud** si es el eje vertical.

En la fig. 125, el punto localizado tiene unas coordenadas de:

longitud = $1^{\circ}35'25''$ (Meridiano de Greenwich)

latitud = $41^{\circ}25'30''$

altura sobre el nivel del mar = 525 m.

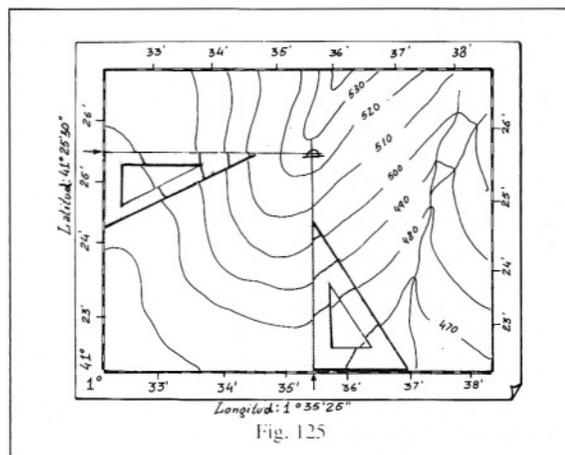


Fig. 125

La lectura es fácil: en un extremo están los grados, seguidos de unas divisiones que van de minuto en minuto; cada minuto está dividido en diez partes que corresponden a diez segundos cada una. En la longitud debemos especificar si es respecto al meridiano de Greenwich o al de Madrid. La mayoría de mapas antiguos de España están referidos al de Madrid, si se quiere pasarlo al de Greenwich hay que restar el siguiente valor: $3^{\circ}41'14''$.

La altura viene dada por la medida efectuada en el campo con un alfiler o más o menos por las curvas de nivel. En este caso el punto se encuentra entre las curvas 520 y 530, se puede tomar como altura aproximada 525 m.

Otro tipo de coordenadas son las **Lambert** (fig. 126). Estas vienen en los mapas del ejército. Constan de una

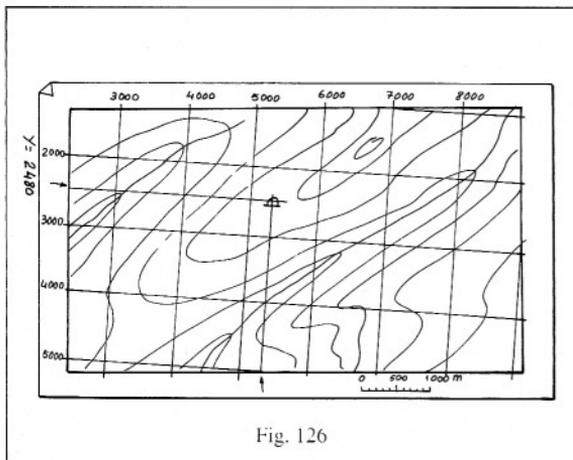


Fig. 126

cuadrícula de color azul ligeramente inclinada respecto de las coordenadas geográficas. La medida es en metros, y cada división es de 1.000 m normalmente, la medida se efectúa con la escala del mapa. Actualmente los mapas modernos incorporan las coordenadas U.T.M. de carácter universal, que también van en metros (ver capítulo B 2b).

C1 c) TOPOGRAFIA DE LA CAVIDAD

Hasta ahora se han visto los métodos para efectuar una topografía en general. En caso de tratarse de una cavidad, se aplica cualquiera de estos métodos para medirla y se va realizando un croquis de la misma intentando representar la forma de la cavidad lo más fielmente posible.

En general se puede definir la topografía espeleológica como una poligonal a lo largo de la cavidad envuelta por el croquis de la misma. Es como si fuese el esqueleto donde se apoya el dibujo de la forma.

En esta definición hay implícitos dos conceptos importantes:

1. La espeleometría
2. La espeleografía

1. El primero es el conjunto de técnicas que se utilizan para construir este «esqueleto», ya sean **poligonales**, **radiaciones**, **triángulos**, etc. Es donde hay que ser más cuidadoso para conseguir la mayor aproximación posible y evitar los errores. De aquí salen las medidas que cuantifican una cavidad: **recorrido** y **desnivel**, principalmente. Debe ser totalmente **objetivo**, o sea que el mismo trabajo hecho por diferentes personas debe dar el mismo resultado.

2. La espeleografía, sería la parte de representar gráficamente la forma de la cavidad. Es más **subjetivo**, ya que personas diferentes pueden ver las cosas diferentes, y resaltar distintos aspectos. Esta parte, muchas veces infravalorada, es casi tan importante como la anterior, ya que sobre un buen dibujo se pueden hacer estudios interesantes; como pueden ser los geomorfológicos, hidrológicos, estructurales, etc. Normalmente el espeleólogo que se esmera en hacer un buen dibujo también ha tomado las medidas cuidadosamente, y al contrario, una topografía mal presentada es sinónimo de mal topografiada.

c.1. CONCEPTOS DE PLANTA, ALZADO Y SECCIONES

Como ya se ha visto, una topografía es la proyección ortogonal de los puntos del espacio en un plano horizontal. En una cavidad esta proyección se le denomina Planta (fig. 127). Es como si mirásemos la cavidad desde arriba, donde se representan las paredes, el suelo, donde dibujaremos las curvas de nivel, tipos de sedimentos, bloques, etc.

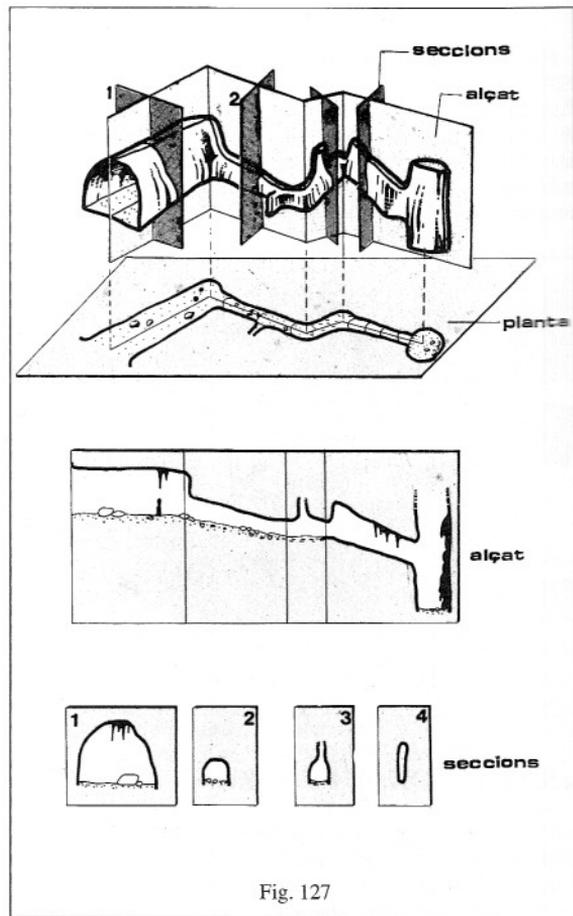


Fig. 127

Alzado: es un corte en un plano vertical que va resiguiendo la cavidad. En él vemos el techo y el suelo, por donde se pasa, si es inclinado, pozos, la magnitud que tienen, etc.

Secciones: son los cortes perpendiculares a la galería. Nos ayudan a ver la forma de la cavidad. La forma de la sección va íntimamente ligada a la formación de la galería. Se ve el techo, paredes y el suelo.

Una topografía completa tiene la planta, el alzado y las secciones. De todas formas según el tipo de cavidades se puede prescindir de alguno de los tres elementos. Por ejemplo, en las cuevas muy horizontales la planta es imprescindible, pero el alzado tiene poca importancia, y solo se ponen secciones. El número de éstas variará según cambie la forma de la galería. En una sima donde sólo hayan pozos, el alzado es imprescindible, aconsejándose

	PLANTA	ALÇAT	SECCIONS
COVA			
COVA-AVENÇ			
AVENÇ			

Fig. 128

dose poner las plantas. En casos intermedios, el criterio de «facilitar la comprensión de la cavidad a los demás» será lo que nos indicará los elementos necesarios.

c.2. PLANTA: TIPOS

Como se ha visto, la planta es la proyección de la cueva en el plano horizontal. En general es fácil dibujar la forma de las paredes de la cavidad a medida que vamos topografiando, pero en muchos casos se plantea el problema de si la planta es el dibujo del suelo exclusivamente (fig. 129,a), o a nuestra altura (fig. 129,b), o más arriba, ya que hay quien cree que la planta es como una sección del suelo. Realmente, como se trata de la proyección de todo, hay que tomar la anchura máxima, aunque esté por encima nuestro, y que por donde nosotros paseemos sea más estrecho; esto se representa mediante curvas de nivel o mediante el signo convencional adecuado que se verá más adelante. (fig. 130).

Esta proyección será **acotada**, o sea que hay una superficie de referencia llamada **cota cero** (equivaldría al nivel del mar en las topografías exteriores), normalmente se sitúa en la boca de entrada en la cavidad.

Al proyectar los puntos de la cavidad en este plano, cada uno tendrá una cota que será el desnivel entre él y el plano cero. Será positiva si es por encima o negativa si es

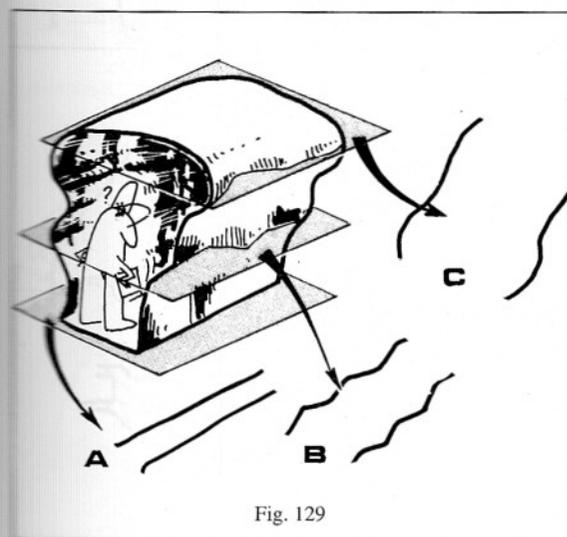


Fig. 129

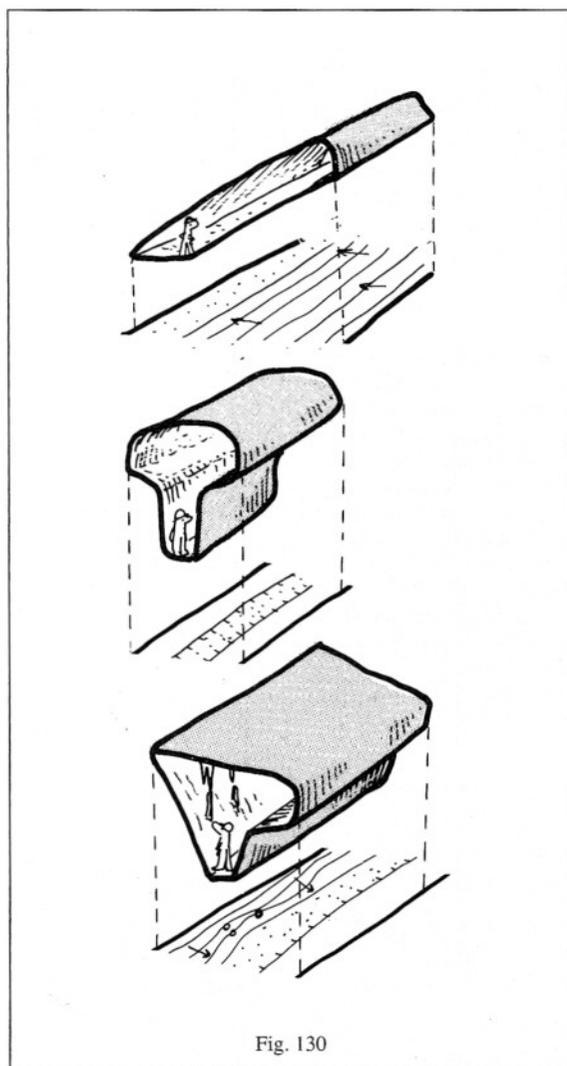


Fig. 130

por debajo. Si es una sima, a las cotas negativas se llamarán profundidad. Si es una cavidad con varias bocas, o con una galería ascendente, se utiliza el término desnivel.

Tipos de plantas: realmente tendremos tantos tipos de plantas como cavidades haya. Pero a grandes rasgos, se pueden hacer tres distinciones:

C.2.1. PLANTA UNICA

Es cuando la cavidad está formada por una o varias galerías que al proyectarse no se interfieren las unas encima de las otras. (fig. 131)

c.2.2. PLANTAS SUPERPUSTAS

Es muy corriente que haya varias galerías superpuestas, que al proyectarlas queden unas encima de las otras. Esto dificulta la comprensión de la topografía. Se pueden adoptar varios métodos:

1° Si la superposición es bastante limpia, distinguire-

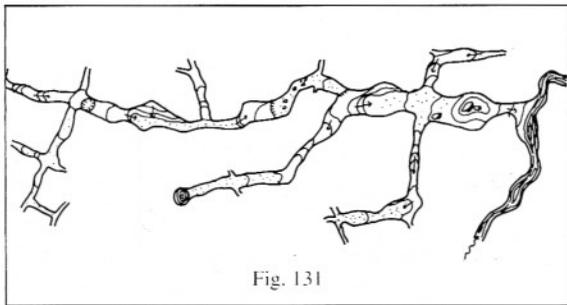


Fig. 131

mos con trazos diferentes cada nivel. El **nivel normal** lo representamos con un trazo continuo, como siempre. El **nivel superior** se representa con puntos (fig. 132). Y para el **nivel inferior** utilizaremos rayas discontinuas. Evidentemente el concepto de superior o inferior es relativo. Según cada cavidad aplicaremos criterios diferentes. Lo más corriente es que en una cavidad haya una galería principal. Si tiene alguna ramificación ascendente y que pasa por encima de esta galería, hablaremos de nivel superior. El nivel inferior puede ser: otra ramificación que pase por debajo, la propia galería principal que tuviese forma de espiral, o un pozo que comunicase con una galería inferior (fig. 132). Cuando se cruzan los dos niveles suprimimos los detalles de uno de ellos, representando sólo, las curvas, sedimentos, etc. del nivel principal.

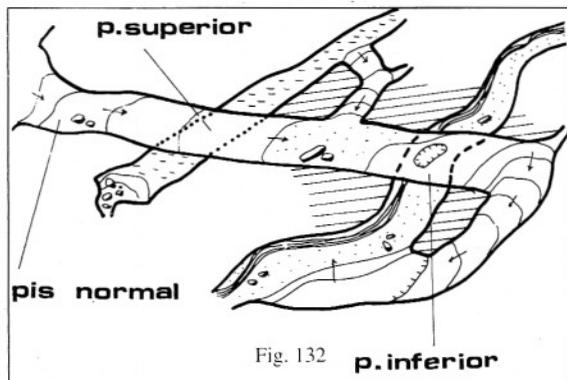


Fig. 132

2° Cuando se deben representar bastantes detalles de cada nivel y no se pueden suprimir como en el caso anterior, se efectúa un **desplazamiento** de plantas. Es interesante poner una planta general donde se vean todos los niveles superpuestos y otra con los niveles desplazados (fig. 133).

Hay que tener en cuenta las siguientes consideraciones:
 -Podemos cortar la planta por donde queramos y continuar el resto en el trozo desplazado.

-Es conveniente cortar un poco más abajo de la planta a desplazar, y la desplazada un poco más arriba, de esta forma tendrá una zona común que hará más fácil la comprensión (fig. 133).

-Todos los puntos comunes que tengan ambos niveles deben aparecer. Por ejemplo el signo de sima en una planta será el de chimenea en la de debajo (fig. 133).

-Unir las plantas por medio de líneas discontinuas (fig. 133).

-En el caso de no poner la planta general, al hacer el desplazamiento de plantas, se puede representar la continuación de la planta con un trazo más (fig. 134).

Las plantas complejas, son la parte más delicada de la topografía. De la buena habilidad del topógrafo dependerá que después se pueda entender o no la cavidad, que es lo que interesa. Debemos remarcar, pues, que todo lo que se haga para mejorar esta comprensión será positivo, ya sea con rayas uniendo puntos comunes, etc. Esto se consigue con la experiencia y observando muchas topografías y viendo como diversos autores han solucionado dicho problema.

c.2.3. PLANTAS DE POZOS

Quando se trata de un sima que está formada prácticamente por una serie de pozos, sin casi desplazamiento horizontal, la planta será muy reducida y no se podrá distinguir prácticamente nada. En estos dos casos el alzado es lo principal, pero una serie de plantas aisladas de los puntos más representativos de la sima, ayudarán a la visión de la misma.

En este caso podríamos considerar estas plantas como secciones, pero en horizontal. Los puntos más representativos pueden ser rellenos, enlaces entre pozos, etc. (fig. 135).

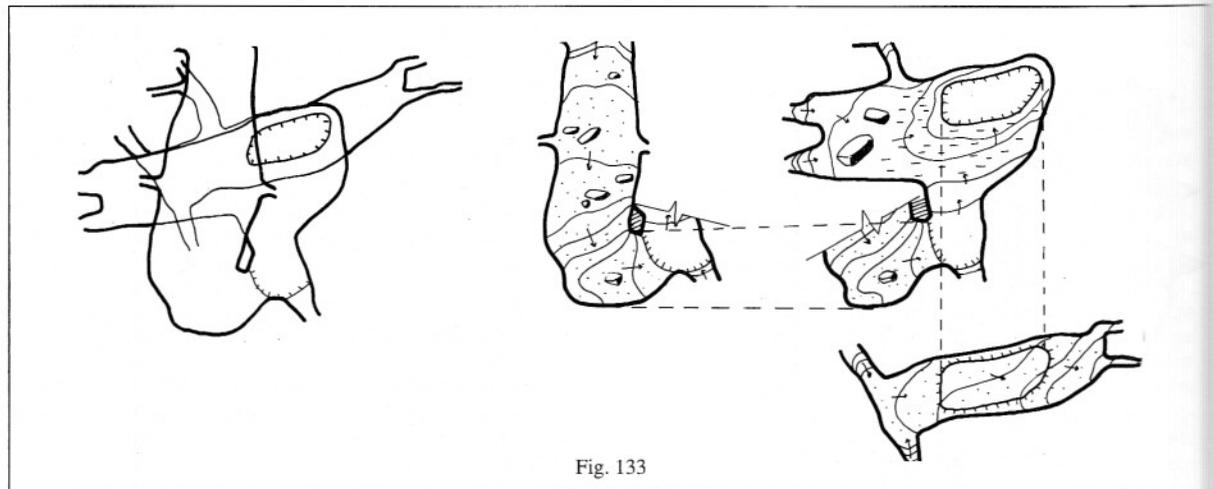


Fig. 133

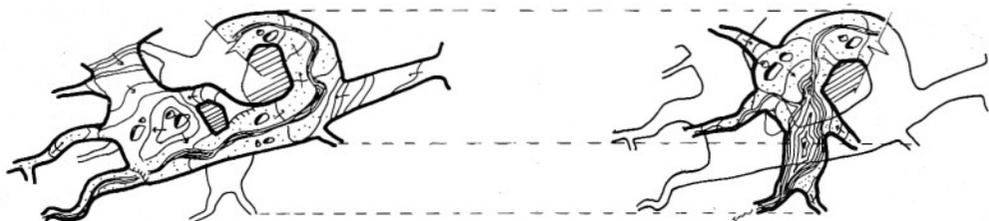


Fig. 134

También puede servir para representar un detalle como podría ser una boca de dimensiones reducidas. En este caso se escogerá la escala, colocando sus medidas en metros.

En el alzado señalaremos mediante unas letras o una rayita el punto por donde pasa el plano de la sección indicada (1-2: 3-4:...). Podemos hacer este plano irregular y que pase por diferentes cotas como en el caso de la planta 7-8 de la fig. 135.

c.3. ALZADO

Como ya se ha visto, es un corte que se efectúa según un plano vertical que va siguiendo la cavidad por donde hacemos la poligonal. Generalmente es interesante hacerlo siempre en las cuevas y es imprescindible en las simas y en las cuevas-simas. Se pueden realizar de dos formas:

c.3.1. ALZADO DESARROLLADO

Es el que sigue la poligonal de la cavidad utilizando las mismas medidas. Es como si se tratase de una serie de planos en zigzag y los estirásemos (fig. 136).

Tiene las siguientes características:

- Las medidas que observamos en este alzado son las reales.
 - La visión que obtenemos es la más parecida a la realidad y con la imagen que nos formamos de la cavidad.
 - El desnivel o profundidades son los reales.
 - Al no ser proyección no sirve para unir cavidades.
- A pesar de esta última consideración es el método más utilizado.

c.3.2. ALZADO PROYECTADO

Es el alzado que se proyecta ortogonalmente a un plano vertical determinado. Este plano de proyección puede tener la dirección que se desee, normalmente es la dirección general de las galerías (fig. 137).

- Las medidas que se observan no son las reales sino reducidas por la proyección.
- La visión puede ser un tanto extraña.

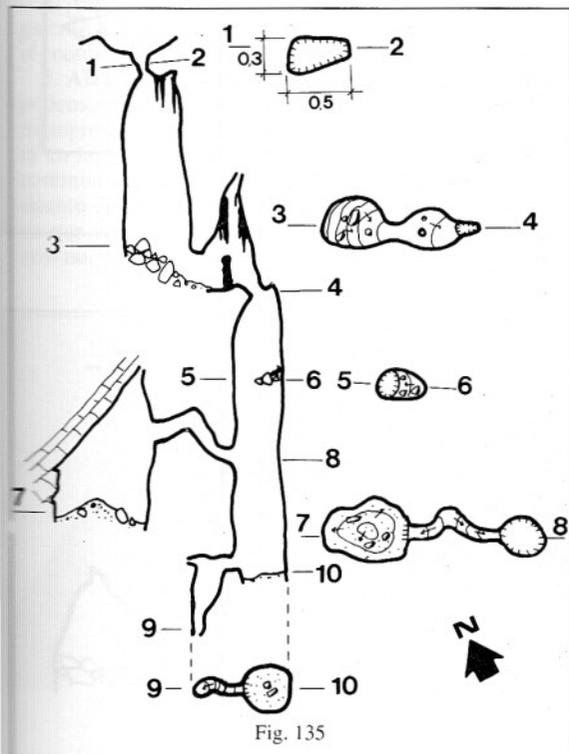


Fig. 135

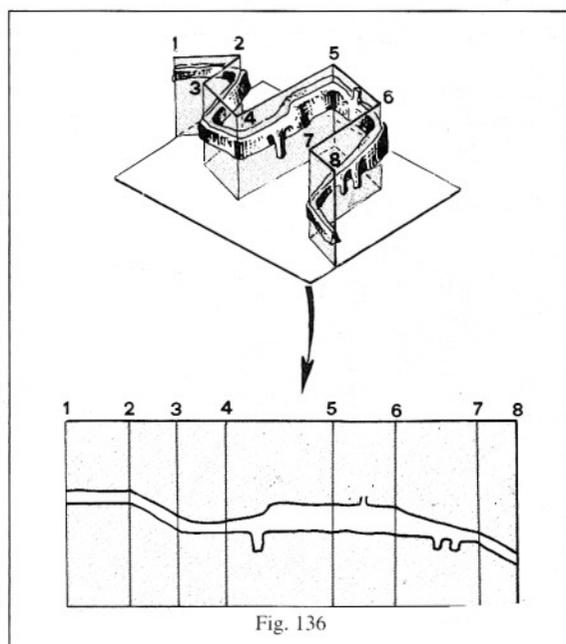


Fig. 136

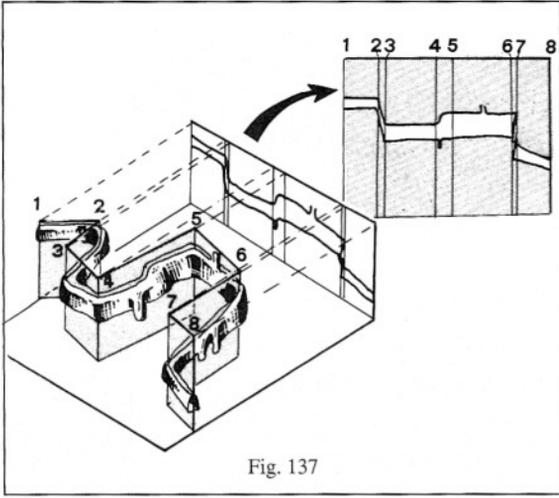


Fig. 137

- El desnivel o profundidades son las reales.
- En este caso, se pueden unir alzados de diferentes cavidades.

Por tanto, este método es más complejo y laborioso generalmente sólo se utiliza cuando se desea efectuar el alzado de varias cavidades situadas próximas entre sí.

c.3.3. CONSIDERACIONES GENERALES

El alzado es la representación de la cavidad en las dimensiones verticales, por tanto, es donde se observa la profundidad o desnivel de la cavidad. Normalmente se considera como **cota cero** la boca de entrada, o boca superior (en caso de haber varias). Las diferencias de nivel las llamaremos cotas, que serán positivas o negativas según estén por encima o por debajo de la cota cero (fig. 138). El dato más importante es el del punto más inferior **profundidad**. Si existen varias bocas o galerías ascendentes, se le denomina desnivel, es importante colocar varias cotas intermedias sobre todo al principio y en la base de los pozos, para saber lo que miden los pozos, aconsejándose poner lo que miden dichos pozos en metros, mediante una P y seguidamente los metros.

Si se observan los estratos es interesante representarlos, indicando el tipo de roca, y su buzamiento, teniendo en cuenta que el corte del alzado no tiene porque ir por la máxima pendiente, o sea que pueden ser buzamientos aparentes. En la fig. 139 el trozo de alzado (A) coincide con la máxima pendiente de los estratos, por tanto es el buzamiento real. En cambio el trozo (B) es prácticamente perpendicular, por tanto los estratos aparecen como horizontales; éste es un buzamiento aparente.

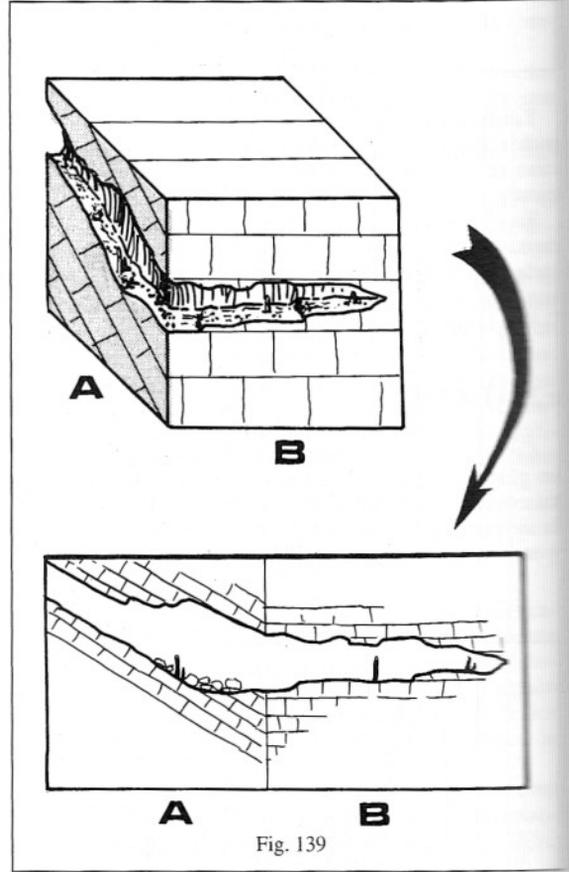


Fig. 139

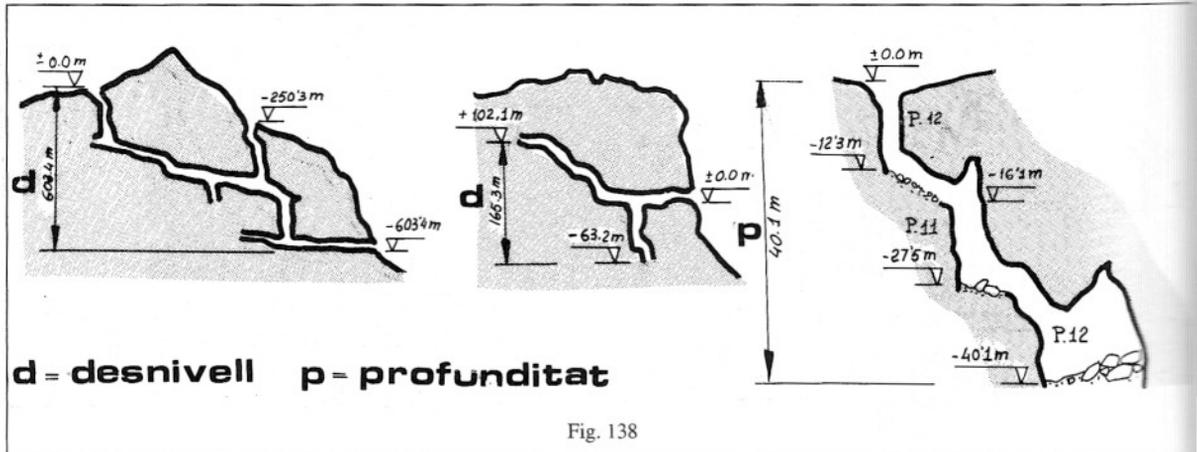


Fig. 138

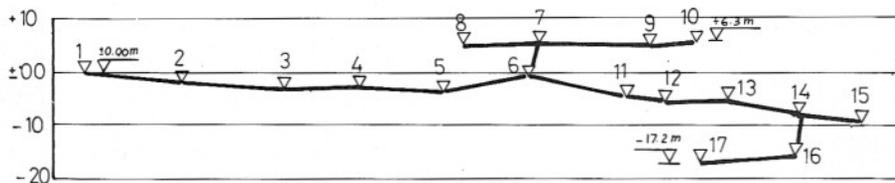


Fig. 140

c.3.4. TIPOS DE ALZADOS:

Al igual que en el caso de la planta, habrá tantos tipos de alzados como cavidades, pero para simplificar, se puede distinguir cuatro grupos generales:

c.3.5. ALZADOS DE CUEVAS:

Si la cueva es bastante horizontal, y el dibujo del alzado no tiene excesivo interés (prácticamente uniforme sin accidentes importantes) se puede sustituir por una poligonal como la de la fig. 140.

c.3.6. ALZADO DE CUEVA-SIMA:

En estos casos es prácticamente imprescindible la confección del alzado juntamente con la planta. Dependiendo de las galerías se puede utilizar una de estas tres soluciones:

1. **Alzado único:** cuando la situación de las galerías no interfieren las unas con las otras (fig. 141).
2. **Alzado cruzado:** se utiliza en caso que se crucen dos galerías casi ortogonales y el dibujo no resulta enojoso sino al contrario, hace más visible esta estructura (fig. 142).
3. **Alzado desplazado:** como en el caso de las plantas, podemos desplazar el alzado en el sentido que queremos. Siempre habrá un punto común, que evidentemente estará en la misma cota, que señalaremos con una línea discontinua (fig. 143). En dicha figura vemos con el buzamiento de los estratos varía según el corte que hagamos, ya que uno es según la máxima pendiente, en cambio el otro no, como hemos visto en la fig. 139.

c.3.7. ALZADO DE SIMAS

Si la sima está formada por una serie de pozos, prácticamente enlazados unos con otros y varía su dirección, no podemos utilizar un sólo plano de alzado, por lo tanto, utilizaremos el sistema de alzados desplazados. Estos forman una serie de cortes más o menos perpendiculares

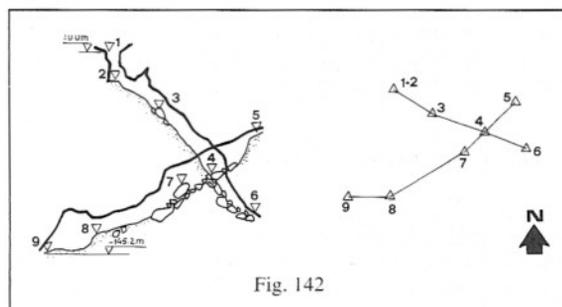


Fig. 142

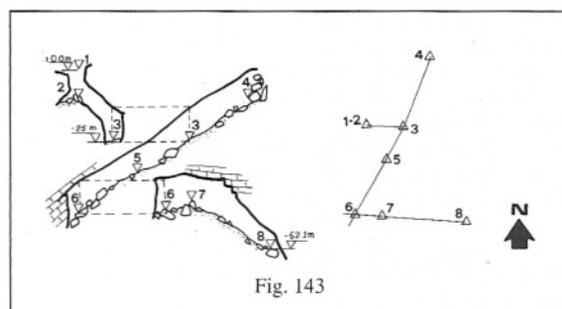


Fig. 143

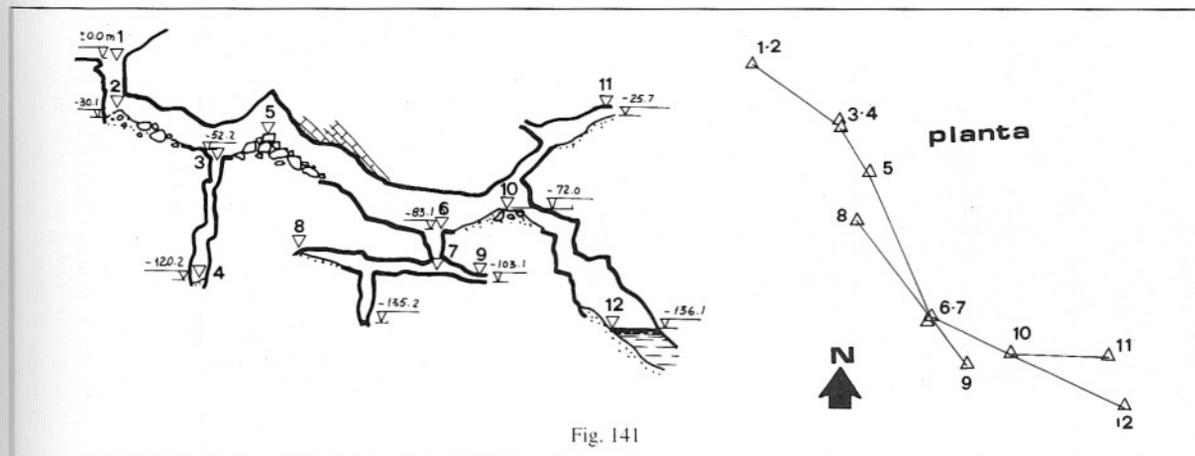


Fig. 141

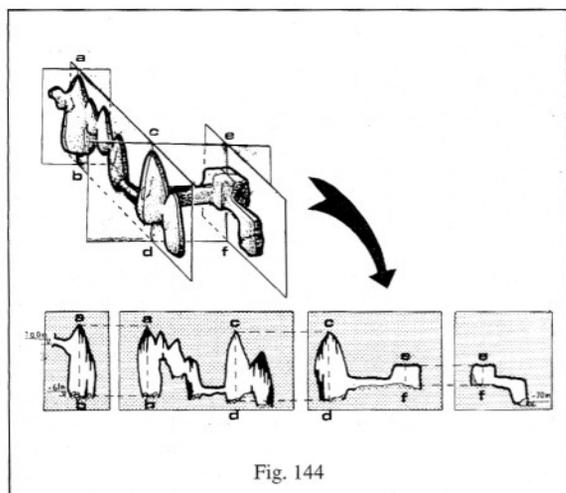


Fig. 144

entre sí, y unidos por líneas de puntos, situando claramente los puntos de la poligonal. Es aconsejable añadir letras para facilitar su comprensión (fig. 144).

c.3.8. OTROS ALZADOS

1. **Alzados de grietas:** existe un tipo de cavidades que son **grietas de desprendimiento**, producidas por el desplazamiento de la roca atraída por la gravedad, en las proximidades de los acantilados. Estas cavidades tienen el problema de que al ser una grieta, el corte del alzado no corta el techo. El suelo tampoco está nunca bien definido, ya que se trata de una especie de rellanos formados por bloques encajados.

En la mayoría de casos tenemos un espacio bien diferenciado; el normal por donde nos movemos, y donde la grieta se hace impenetrable; entonces podemos tomar como límite del alzado la intersección de un plano (fig. 145) con la pared, obteniendo una línea continua, como la zona X y A de la fig. 146.

Si estos espacios no quedan bien definidos debido a que la grieta se va estrechando poco a poco, sería el caso B de la fig. 145, entonces podemos dibujar una línea discontinua orientativa (fig. 146 WZ) ya que no es la forma real de la cavidad.

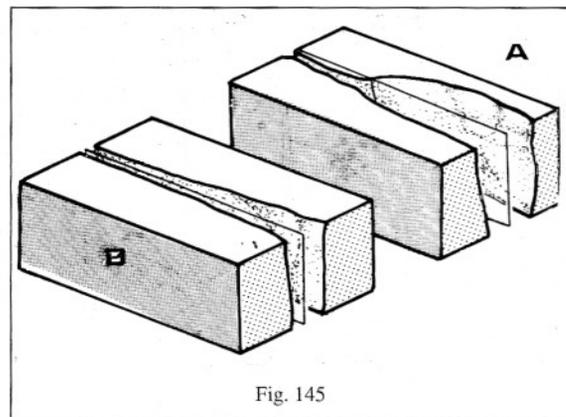


Fig. 145

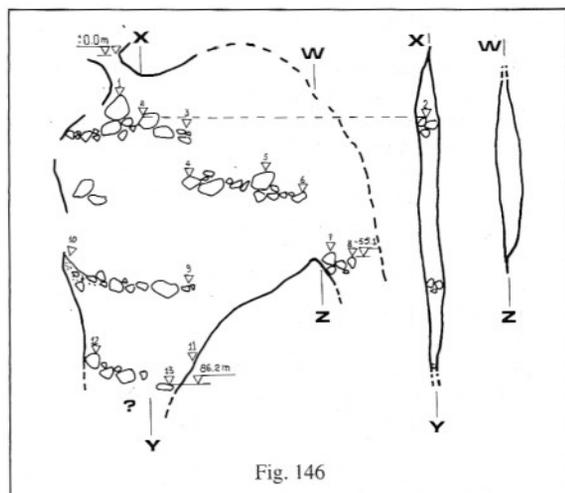


Fig. 146

Es conveniente efectuar como mínimo una sección perpendicular en forma en alzado desplazado (fig. 146).

2. **Alzados esquemáticos:** A pesar de que el alzado sea un corte y teóricamente solo se representa el contorno de la cavidad producto de este corte, a veces se dibujan muy esquemáticamente, con líneas finas, las formas principales que veríamos si pudiésemos mirar la cavidad después de cortada. De esta manera pueden ayudar a facilitar la representación de la cavidad. Es un sistema de representación característico de los topógrafos franceses, sobre todo en el caso de grandes cavidades, presentando un dibujo claro y limpio (fig. 147).

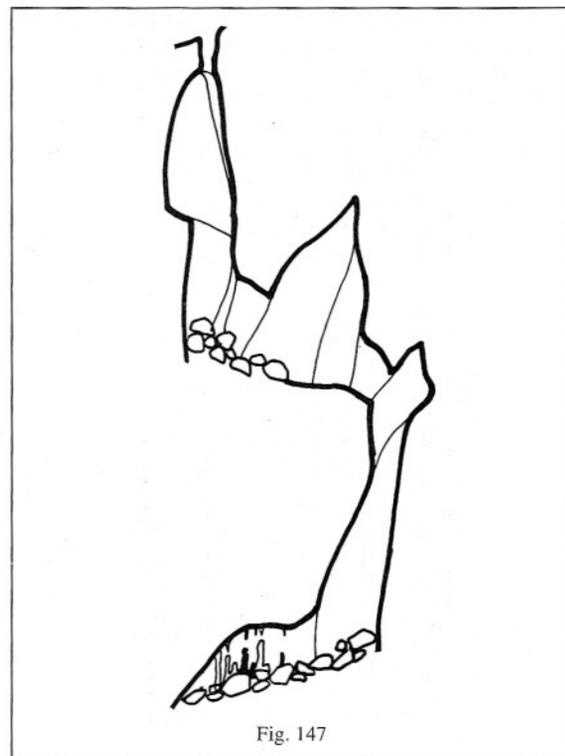


Fig. 147

c.4. SECCIONES

Aunque no imprescindibles, sí son muy necesarias para entender la morfología general de la cavidad. Son muy importantes en las cuevas y cuevas-simas. En las simas no tanto, aunque en muchos casos es conveniente ponerlas como es el caso de la grieta por desprendimiento.

Son cortes verticales, perpendiculares a la dirección de la galería. Cuantas más secciones mejor será la topografía. En algunas cavidades, gracias a un estudio estadístico de centenares de secciones, se ha podido establecer una evolución morfológica de la cavidad.

Normalmente se efectúa en puntos característicos según diferentes criterios. Estos pueden ser: (fig. 148 -a, b, c....).

-Para evidenciar alguna dificultad (dimensiones reducidas (a) formas extrañas, (b) laminador vertical, (c) etc..

-O al contrario, formas grandes (d), chimeneas (e), zonas profusamente adornadas por concreciones (f), etc.

-Para resaltar las formas y accidentes geológicos como fallas (g), diaclasas (h), estratos (i), formas de erosión características (j, k, l), sedimentos (m) etc...

Siempre se señalan en la planta o en el alzado, o bien en los dos sitios, con una línea fina por donde se ha hecho la sección, colocando unas letras o números en los extremos, que deben coincidir con las de la sección correspondiente. La forma de efectuarlo puede variar, en la fig. 148, se utilizan tres sistemas, el más correcto es el de las secciones m, k, l, ya que coge toda la anchura de la galería, especialmente recomendado para galerías con suelo inclinado como (c, i).

Normalmente se utilizan escalas diferentes para la planta y para las secciones, para aumentar el grado de detalle. En la fig. 148 las secciones son el doble de la escala de la planta.

C1 d) METODOLOGIA

Hasta ahora se ha visto una serie de conocimientos teóricos de como se efectúa una topografía, ya sean en el exterior como en el interior. Seguidamente veremos esta teoría aplicada en el caso de una cavidad, y cuales son los criterios que han de tener en cuenta.

1º Para poder topografiar correctamente una cavidad, hay que conocerla lo mejor posible. Dependiendo del tiempo de que dispongamos, primero se intentará hacer la exploración lo más cuidadosamente posible, y después la topografía. Si no disponemos de mucho tiempo, o sea un ataque con ciertas dificultades, el sistema a adoptar será el de ir topografiar a medida que volvemos a la superficie, a pesar de que esto implica un esfuerzo superior.

Este sistema solo se utilizará en condiciones determinadas ya que se gana tiempo pero repercute en la precisión del plano. A veces es más rentable organizar dos grupos de dos espeleólogos cada uno. El primero es el que realiza el ataque propiamente dicho, y el segundo, separado por un periodo de tiempo, tendrá como tarea el levantamiento topográfico de fuera hacia dentro.

2º Una vez se tiene una idea de las características de la cavidad, se clasifican mentalmente en función de dos factores:

TOPOGRAFIA en función de:

- | | |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> - importancia cavidad <li style="padding-left: 20px;">- *científica (geología, arqueología,...) <li style="padding-left: 20px;">- *métrica (profundidad, recorrido) - dificultad: frío, agua, pozos, | <ul style="list-style-type: none"> - Método - Instrumentos |
|---|--|

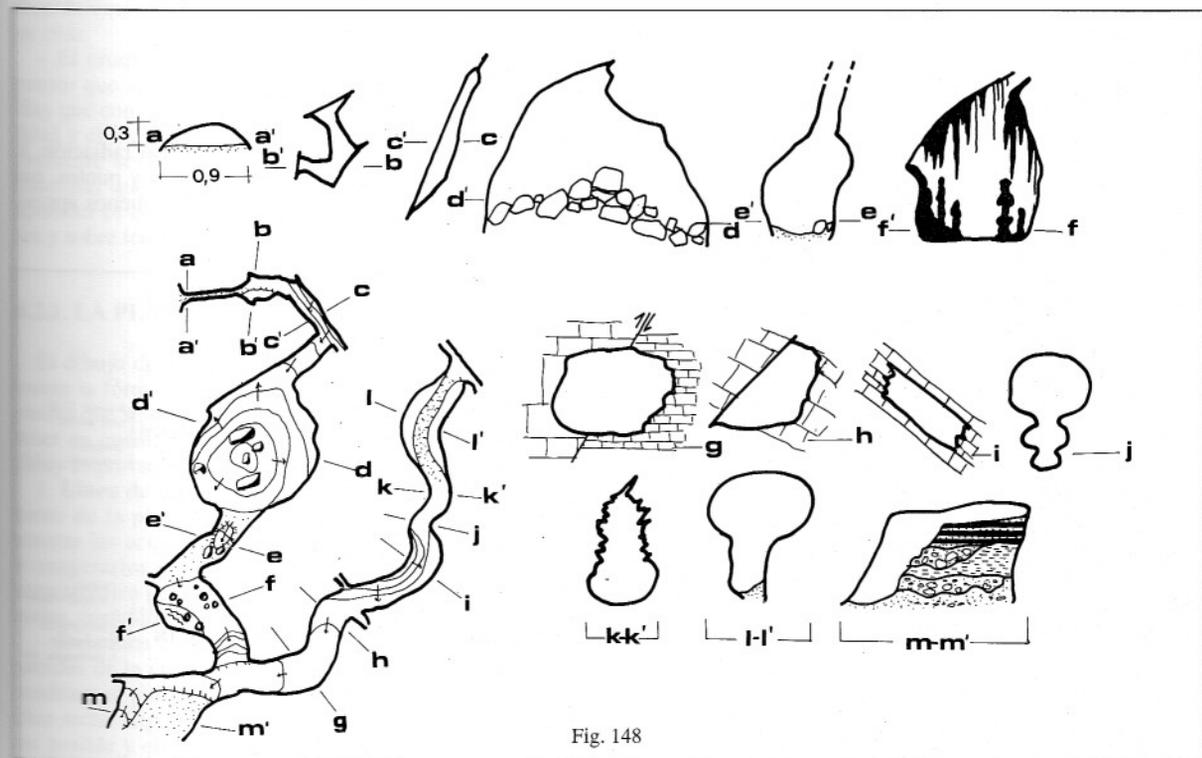


Fig. 148

A partir de entonces, decidimos que método e instrumentos utilizaremos para poder conseguir un error aceptable.

Por ejemplo el caso de una gran cavidad como es la Piedra de San Martín, por donde circula un importante río subterráneo se contempló la posibilidad de utilizarlo como recurso energético para la producción de electricidad. Por esta razón se proyectó un túnel para poder acceder a la sala de la Verna. La topografía se realizó con los medios normales en espeleología. El resultado no fue suficientemente preciso puesto que después de hacer varios túneles, ninguno llegó a la sala. Fue necesario volver a efectuar la topografía con un aparato más preciso (taquímetro), para conseguir enlazar con el túnel. A pesar de las dificultades de la sima, se vio como única salida la realización de un levantamiento preciso.

En el caso del sistema Arañonera (Pirineo Central) se había topografiado una sima hasta los 400 m. y una cueva remontando en dirección a la sima. Una corriente de aire evidenciaba que se trataba ambos del mismo sistema, pero al explorar varias vías, ninguna enlazaba. Fue necesario realizar una poligonal exterior con un taquímetro enlazado las dos bocas, para saber cual era la vía que conectaba a ambas y el desnivel exacto; y evitar así el error cometido en la anterior.

En los grandes sistemas, debido a la importancia que tiene el levantamiento topográfico, es imprescindible utilizar un método y aparato lo más precisos posible. En cavidades más pequeñas, también puede ser necesaria una gran precisión en el levantamiento debido a un interés científico, como por ejemplo un yacimiento arqueológico. En los casos intermedios seremos nosotros mismos los que estableceremos la escala de valores de su importancia y del error que podemos cometer. En la revista Spelunca n° 2 de 1972, apareció una escala de valores según la precisión del 1 al 7:

1. esquema de memoria
2. dibujo sin instrumentos
3. pequeña brújula (10° en 10° grados) cuerda con metros
4. brújula de prisma con divisiones de 1 o medio grado, cinta métrica o «topohilo»
5. brújula de prisma corregido, cinta metálica
6. brújula con trípode.
7. taquímetro.

Así pues, podemos representar en un gráfico fig. 149, unos valores imaginarios de 0 a 10, según la **dificultad** y la **importancia**. En función de estas dos variables podemos efectuar tres grandes tipos de levantamientos.

A - **croquis topográficos**: corresponde a las cavidades que tienen muy poca importancia (= 1 unidad) y una gran dificultad (9 unidades). También correspondería a un croquis realizado en un ataque a una cavidad muy difícil (importancia = 3, dificultad = 9). Corresponde más o menos a los números 1-2-3 de la escala antes señalada, con un error de más de 1%.

B- **topografías normales**: a este apartado pertenecen la mayoría de cavidades que oscilan dentro de unos márgenes más o menos variables de dificultad e importancia, pero que implica el uso de un material y técnica más cuidada. Se puede subdividir en dos apartados correspondientes a los números 4-5, según aumenta la importancia de la cavidad.

C- **topografías de precisión**: debido a la gran importancia (valores más altos de 5), es inevitable la realiza-

ción de un trabajo preciso, llegando a ser máximo (número 7), en los casos en que sea de vital importancia la precisión (como el ejemplo visto de la Piedra de S. Martí) donde a pesar de la gran dificultad, la utilización del taquímetro fue imprescindible (valores de importancia = 9 y de dificultad = 9). En el gráfico podemos observar el caso de una cavidad no muy importante = 4, pero sin ninguna dificultad = 1, la cual merece también un buen levantamiento, aunque sea como práctica para cavidades con más mayor dificultad.

3° Una vez sabemos los instrumentos y el método que utilizaremos, debemos decidir la forma de representar la cavidad. Como hemos visto en la fig. 128, según se trate de una cueva, cueva-sima, o sima, se representará con la planta, alzado y secciones, según se crea más conveniente.

En muchos casos la solución de representación es un tanto complicada, pudiéndose resolver muchas veces con un cierto grado de ingenio. Por tanto lo más aconsejable, es ver el mayor número de topografías de diferentes autores y grupos, ya sea en los archivos o en las publicaciones.

d.1. ELECCION DE LA TÉCNICA

Una vez conocidas las características de la cavidad decidiremos la técnica a utilizar para realizar el levantamiento, teniendo en cuenta lo visto anteriormente.

- Precisión: -poligonal con trípode, mira y jalones
-triangulaciones
-coordenadas cartesianas realizando una red de cordeles
- Normal: -poligonal sin trípode
-radiaciones en salas grandes
- Croquis: -dibujo a mano levantada y
mediadas a ojo.

d.2. EL DIBUJO

CONSIDERACIONES GENERALES:

- Ya sea una poligonal, triangulación, o radiación, lo que tendremos será un esqueleto de líneas y puntos, que es necesario rellenar con el dibujo más o menos aproxima-

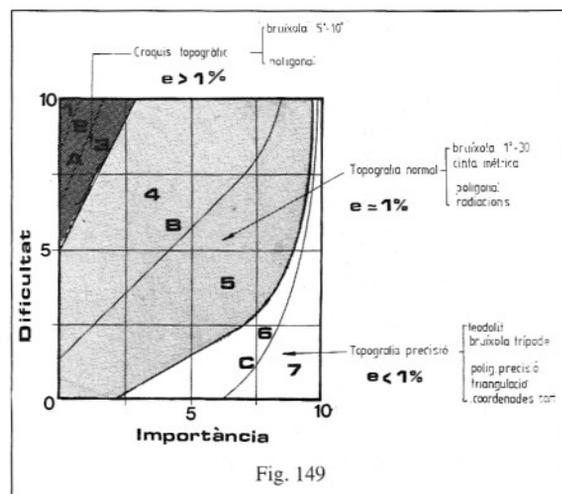


Fig. 149

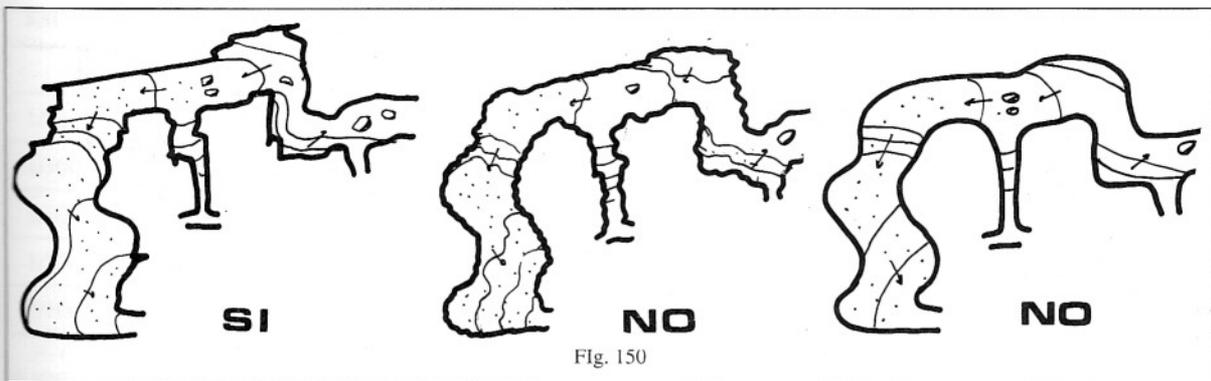


Fig. 150

mado de las formas de la cavidad con los signos convencionales correspondientes.

– El dibujo o croquis se efectúa sobre el terreno a medida que se va avanzando con la poligonal.

– Se utiliza un lápiz no muy duro, (nº 2 o HP) encima de papel cuadrículado, o mejor milimetrado.

– Sobre el dibujo también representaremos los puntos topográficos aproximadamente, aunque la verdadera forma no se obtendrá hasta que pasemos la topografía a limpio. También se representan: las curvas de la galería, bifurcaciones, ensanchamientos, etc.

– Es aconsejable, aunque no imprescindible, hacer el croquis a escala, con ayuda de la cuadrícula del papel. Esto nos evitará problemas a la hora de pasarlo a limpio.

– El dibujo debe ser limpio y claro (todo lo que la cavidad permita) para evitar confusiones.

– Hay que tener en cuenta que la memoria juega un papel bastante importante, por tanto es aconsejable pasar las topografías en limpio lo más pronto posible, ya que recordaremos muchos más detalles que podemos reflejar en ellas.

– El croquis es la parte más difícil de la topografía puesto que se trata de la parte más subjetiva y personal. Hay que conseguir un equilibrio entre el dibujo de la realidad y el artístico, ya que una topografía se juzga principalmente según esté bien o mal dibujada aparte de la exactitud que pueda tener. Por tanto la única forma de aprender es con la **observación** de muchos tipos de dibujos y sobre todo con la **práctica**.

d.2.1. LA PLANTA

El dibujo de la planta se realiza observando principalmente la forma de las paredes de la cavidad, teniendo en cuenta que se trata de una proyección, por tanto debemos tener en cuenta lo que se ha visto en las fig. 129 y 130 (Muy importante).

1. **Línea de contorno:** La línea que representa el contorno de la planta debe ser seguida y segura, haciendo constar los accidentes que observemos, llegando incluso a exagerarlos un poco, sobre todo cuando son alguna característica geológica (grietas, diaclasas, formas erosionadas, corrosionadas, etc.).

– Debemos evitar los errores típicos de dibujar las paredes de la cueva todas con ondulaciones como si nos temblara el pulso, ó al contrario, como si fueran salchichas rectas (fig. 150). Debemos intentar ser lo más realistas posible y observar todos los detalles. Tendremos pre-

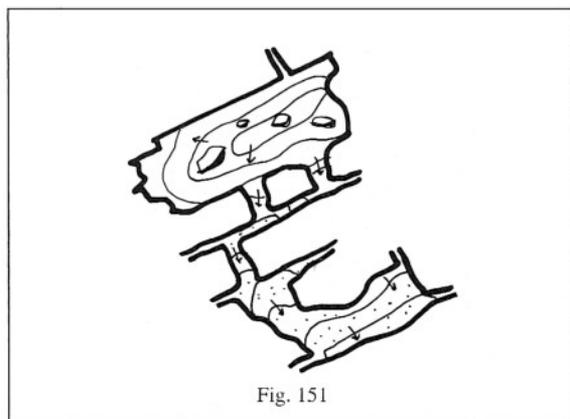


Fig. 151

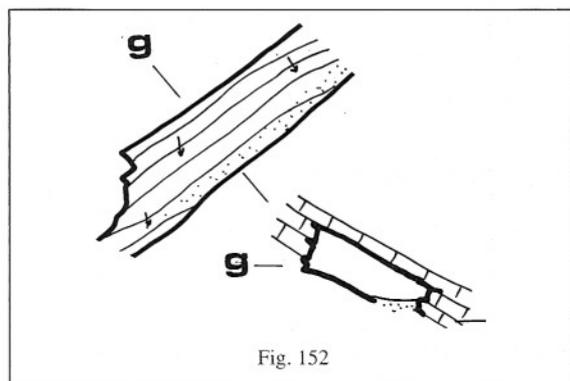


Fig. 152

sente que todas las formas corresponden a algo, no son porque sí.

– **Formas rectas:** corresponden a ruras (diaclasas, fallas, etc.). Generalmente en una zona predominan dos o tres «familias» de fracturas, por tanto, tendremos dos o tres direcciones principales de líneas rectas (fig. 151). También pueden ser debidas a la estratificación aunque en la planta se manifiesta menos que en el alzado (fig. 152).

– **Formas curvilíneas y lisas:** son típicas de erosión, pueden ser de curvas suaves o de formas acentuadas (fig. 153).

– **Formas irregulares:** generalmente están relacionadas con procesos corrosivos. Pueden ser hasta muy agudas y cortantes (fig. 154).

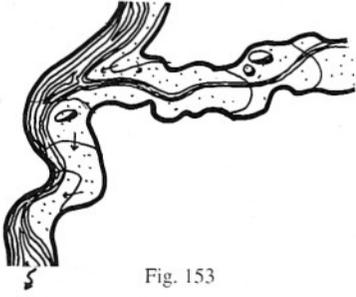


Fig. 153

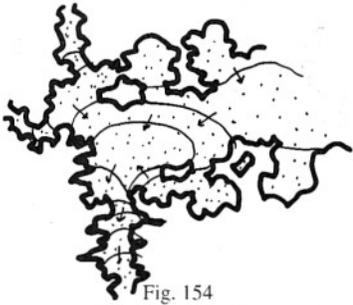


Fig. 154

2. Interior: Una vez hecho el contorno, se completa el interior, y con los signos convencionales adecuados donde se representa el tipo de tierra del que se trata (arena, arcilla, bloques,...), resaltes, pozos, concreciones, etc.

Consideraciones que han de tener en cuenta:

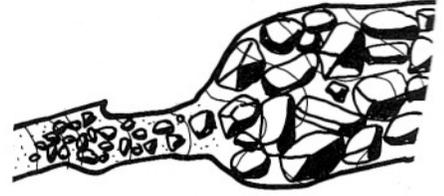
- La densidad del signo convencional debe estar en función de la reducción que puede sufrir el plano al ser publicado. Ya que si marcamos unos puntos demasiado juntos, al reducir la fotografía se juntará y quedará demasiado oscuro. En la fig. 213 hay una escala progresiva de densidad según la reducción. En cada caso escogeremos la densidad más adecuada.

- Los signos que se utilizan son orientativos; por ejemplo si una sala está llena de bloques, dibujaremos el signo: algún bloque repartido de forma más estética, clara y sencilla, y no llenaremos toda la topografía de bloques. La forma que pueda tener el amontonamiento de bloques la representaremos con curvas de nivel (fig. 155). También debemos tener en cuenta su magnitud, para representarlos más o menos a escala, según sean grandes o pequeños.

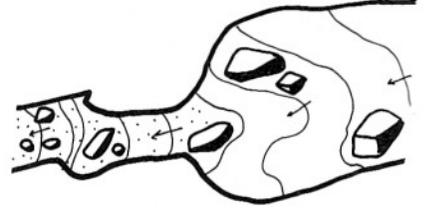
- **Las curvas de nivel.**

El relieve del suelo de la cavidad se representa mediante las curvas de nivel. No es necesario que sea muy preciso, pero sirve para dar una idea aproximada de la inclinación y formas del suelo. Para más cuestiones teóricas ver el capítulo dedicado a este tema.

***Equidistancia:** generalmente se utiliza una equidistancia de 1 m. o 0,5 m. En el primer caso sabiendo el desnivel entre los dos puntos, sabremos que debe haber tantas curvas como metros de desnivel. Si es de 0,5 m., el número de curvas será el doble. Por ejemplo (fig. 156) entre A y B, hay 3 m. de desnivel, con una equidistancia de 1 m., por tanto serán tres curvas, y si fuera de 0,5 serían 6. Entre B y C hay 5 m., a equidistancia 1 m. serán 5



NO

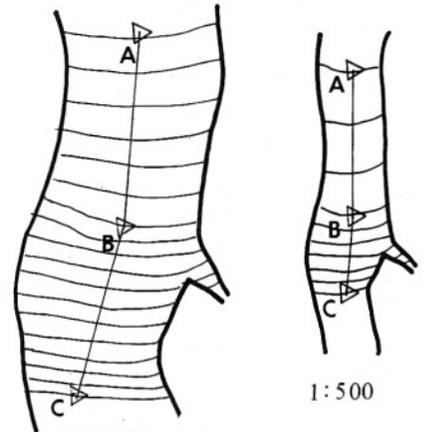


SI

Fig. 155

curvas y a 0,5 serían 10. Observamos que las curvas entre B y C están mucho más juntas que entre A y B, esto nos manifiesta gráficamente que la pendiente es mucho más fuerte.

La elección de la equidistancia está en función de la escala de la topografía y de la pendiente. Si los desniveles son muy pequeños, podemos utilizar una equidistancia de 0,5, 0,2 y hasta 0,1 si se quiere obtener una gran precisión. Normalmente se utilizan de 1m, 2 m, 5m y hasta 10m en grandes cavidades. En el siguiente cuadro se han representado valores de equidistancias en función de la escala y de las pendientes medias de la cavidad. Son valores orientativos, ya que en cada caso se verá cuál es el valor más adecuado.



1:200 Fig. 156

1:500

ESCALA PENDIENTE MEDIO DE LA CAVIDAD

	1°-5°	5°-10°	10°-20°	20°-30°	30°-50°	50°
1/50	0,1	0,2	0,5	1	1	1
1/100	0,2	0,5	1	1	1	1
1/200	0,5	1	1	1-2	1-2	1-2
1/500	1	1-2	2	2	2-5	2-5
1/1000	1-2	2	2-5	2-5	5	5-10

(*) Cuando las curvas queden demasiado juntas (más de una curva/mm. de planta) se utiliza el signo de resalte vertical.

Trazado de curvas: generalmente se hace a ojo, teniendo en cuenta lo que se ha visto: la equidistancia y el desnivel entre los puntos. En caso que en una sala quisiéramos hacer un trazado bastante preciso de las curvas, seguiremos el siguiente método: (fig. 157)

1. Desde el punto más alto realizaremos una radiación, cuantos más radios, más precisión. Estos radios deben amoldarse al relieve, y hacer tantos tramos como cambios de pendiente haya.
2. Una vez hecha la topografía se divide cada radio en el número de segmentos que correspondan, según la equidistancia.

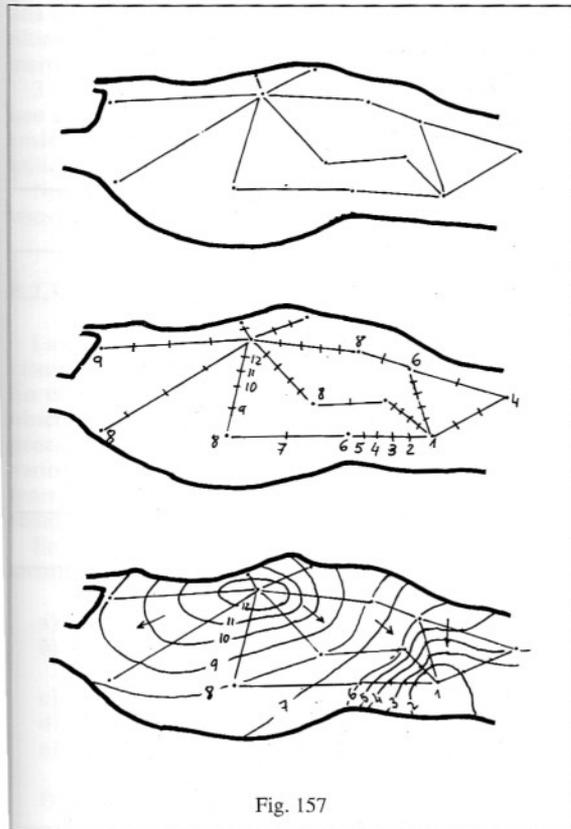


Fig. 157

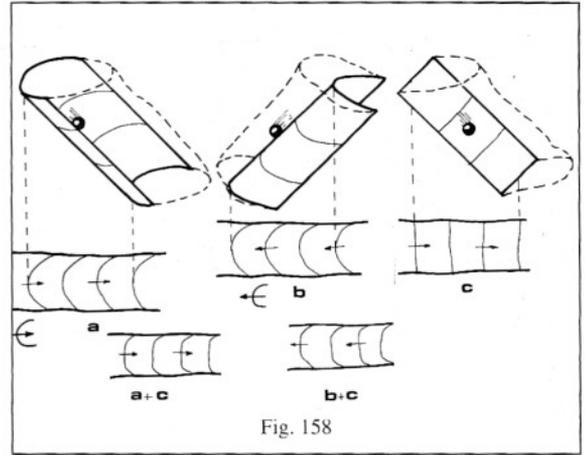


Fig. 158

3. Se unen las divisiones de igual cota con su curva correspondiente.

Formas generales en galerías: a grandes rasgos, las formas más normales de las curvas en las galerías, son la **cóncava**, la **convexa** y la **plana**. Para distinguir si se trata de una o la otra, es imprescindible poner una pequeña flecha en el sentido de la pendiente, o sea en el sentido que rodaría una bola si la dejásemos libre en el suelo de la galería (fig. 158). En realidad se pueden dar casos intermedios, pero podemos simplificar utilizando una de las tres formas.

- **Cóncava:** Cuando el suelo de la cavidad es curvado como si se tratara de un tubo (fig. 158 a) es la que en topografía exterior se parece a los torrentes. Se distingue porque la flecha señala hacia el interior de la curva.

- **Convexa:** es el contrario, con la curva hacia el centro de la galería. Se parece a las laderas de las montañas (fig. 158b). En estos casos la flecha señala hacia el exterior de la curva. (Ver detalle de la fig. 158).

- **Plana:** es la forma que se aproxima más a una rampa de suelo llano (fig. 158c). Los casos compuestos serán la suma de dos o más formas, las más corrientes son plano-cóncava (fig. 158 d) y plano-convexa (fig. 158e).

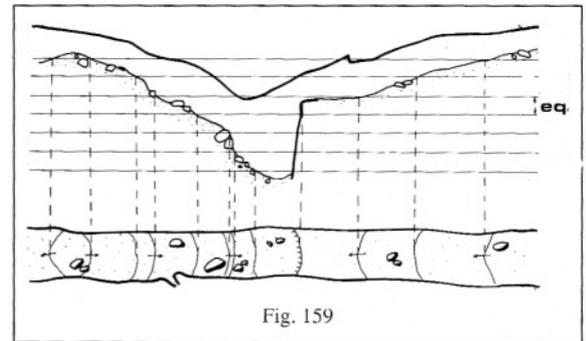


Fig. 159

- **Resaltes:** los cambios de pendiente (más suaves o más fuertes), se manifestarán con las curvas más separadas o más juntas. Cuando sean resaltes, quedarán las curvas prácticamente unas encima de las otras. En estos casos, o en rampas fuertes se representará con un signo adecuado, como el de la Fig. 159.

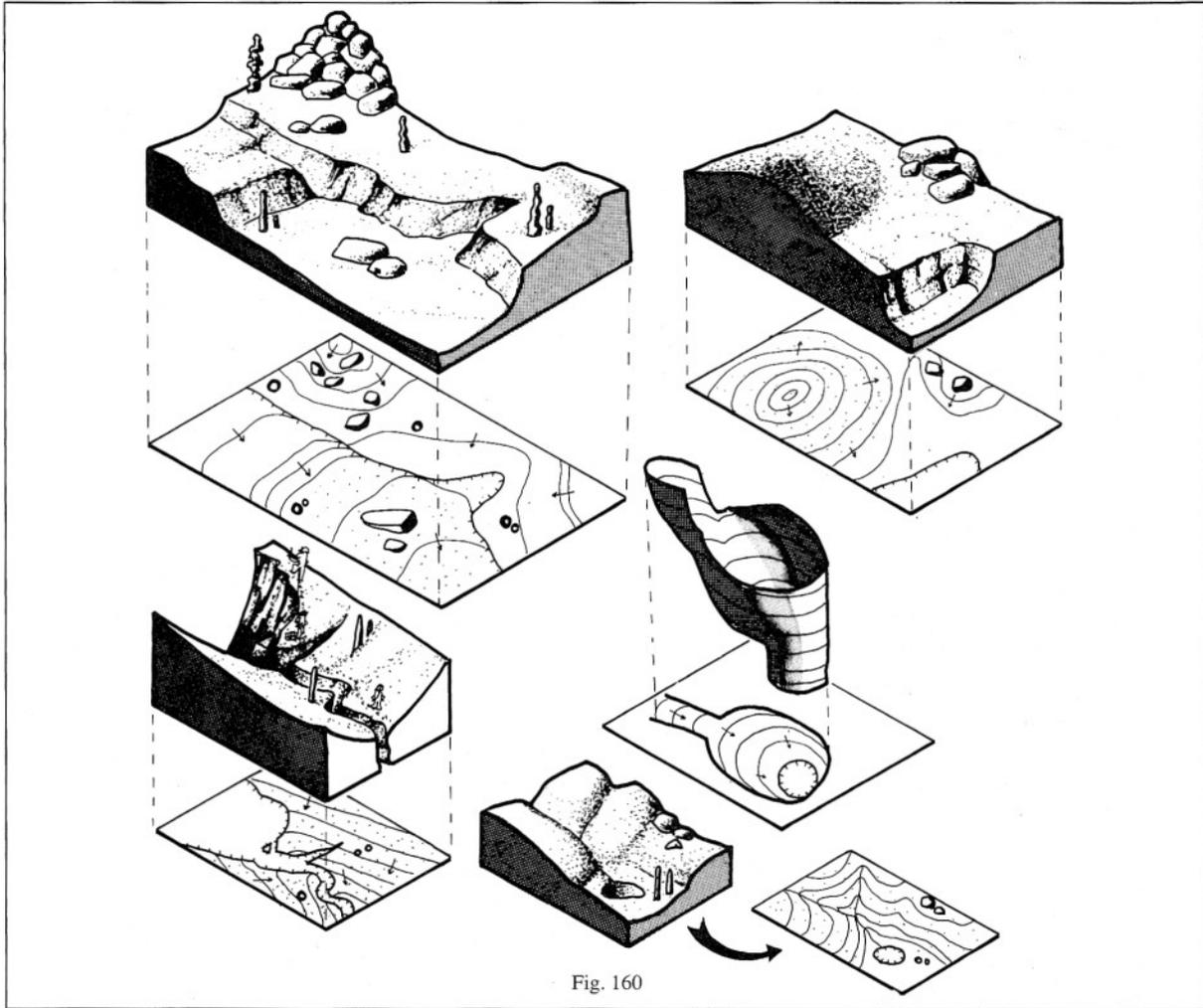


Fig. 160

- **Formas en salas:** en salas o zonas amplias, la representación se hace como hemos visto anteriormente, aproximadamente a ojo. En la fig. 160 hay varios ejemplos.

d.2.2. EL ALZADO

El proceso es idéntico al de la planta, únicamente hemos de imaginar como si cortásemos verticalmente la cavidad con un cuchillo, a medida que vamos caminando haciendo la poligonal.

1 - **El techo:** generalmente la línea del techo corresponde a roca firme, mientras que las líneas del suelo son principalmente sedimentos, bloques, etc. aunque muchas veces puede tratarse de una galería sin sedimentos, por tanto el suelo también será roca desnuda. Las formas son iguales que en la planta:

- **Líneas rectas:** corresponden a planos de estratificación o fracturas. Generalmente, debajo de un techo plano hay una acumulación de bloques provenientes de desprendimientos del techo. (fig. 161).

- **Líneas curvas:** pueden ser producto de la erosión. Pueden ser suaves o acentuadas. Si hay erosión serán formas irregulares. También el hundimiento de una sala tiende a una forma elíptica de equilibrio (fig. 162).

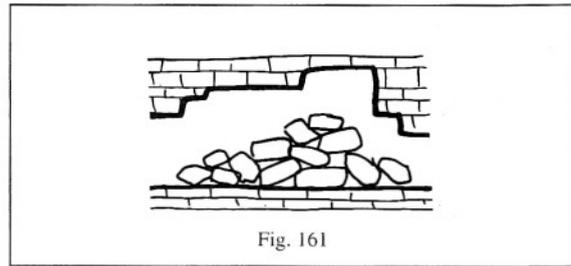


Fig. 161

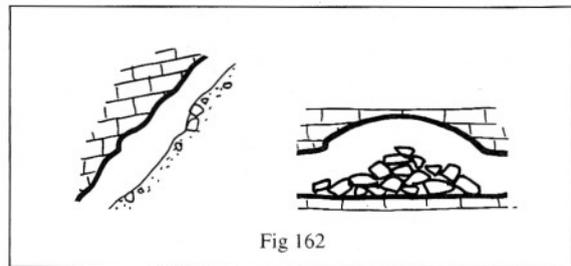


Fig. 162

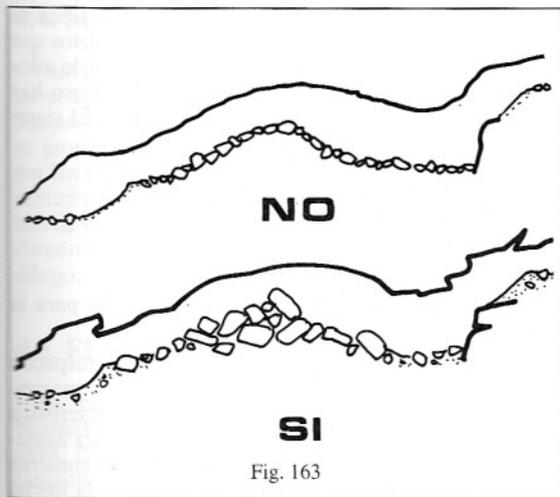


Fig. 163

2 - **El suelo:** a excepción de las galerías donde hay una fuerte acción del agua, las cavidades tienen el suelo cubierto de sedimentos. Como a tal hemos de representarlo. Generalmente es bastante fácil deducir cuando se trata de acumulaciones de bloques o de arenas, y podemos dibujarlo continuando los sedimentos por debajo aunque no lo veamos, y no conformarnos en dibujar exclusivamente lo que vemos. En la fig. 163 vemos dos casos; en el primero se han limitado a representar o dibujar lo que se ve, como si fuese un «rosario» de bloques. En el caso de la derecha se ha interpretado los bloques como un hundimiento, y las acumulaciones de arenas con una cierta potencia. Debemos observar también que en el último dibujo el techo refleja más la realidad que el primero, igual que en los casos de la fig. 150.

3 - **Gruesos de las líneas:** es importante distinguir lo que es roca y sedimentos con gruesos de tinta diferente (más adelante se vuelve a recalcar). Nunca deberemos utilizar el mismo grueso, ya que crea confusión.

Normalmente se utiliza 0,8-1 mm. para la roca madre, y unos 0,3-0,4 mm para los sedimentos y bloques (fig. 164).

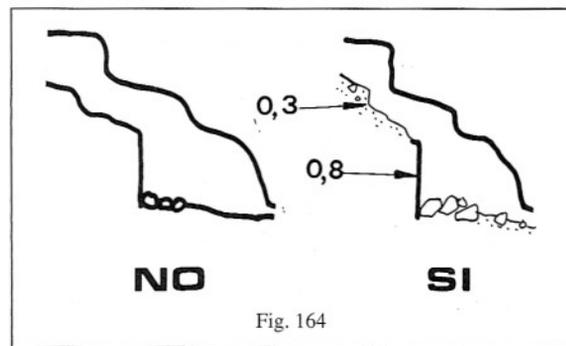


Fig. 164

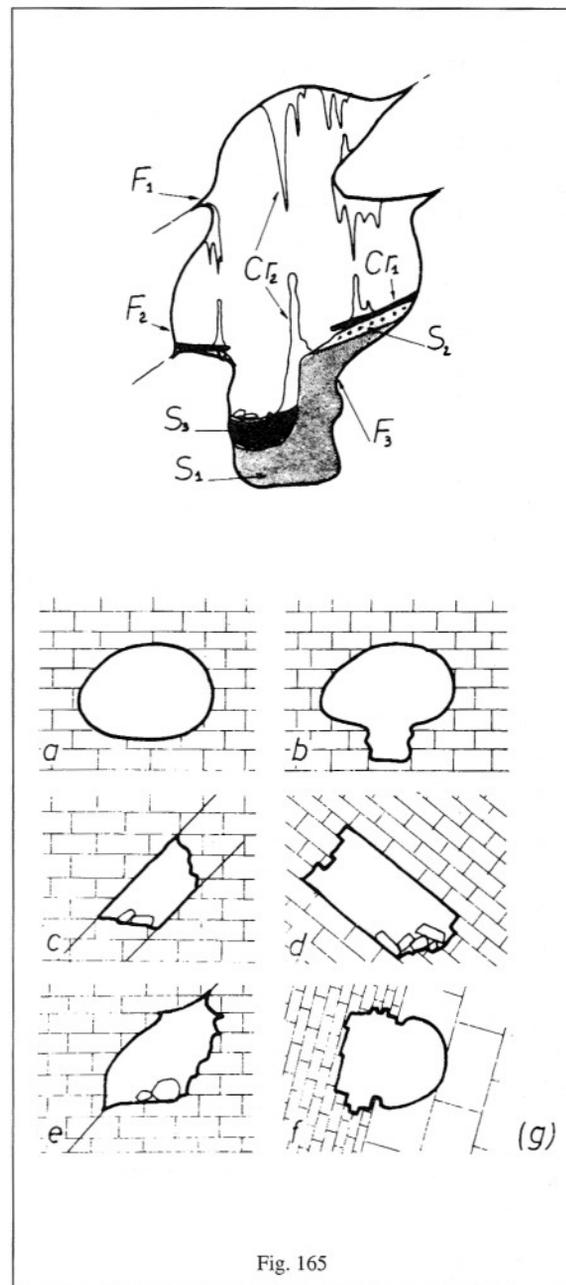


Fig. 165

d.2.3. LAS SECCIONES

La necesidad de representar el mayor número de secciones en una topografía es obvia, sobre todo en cuevas. En ellas debemos representar todos los detalles que se observen ya que todas las formas corresponden con la génesis o estructura. En la fig. 148 se han representado varios tipos diferentes. Igual que en el alzado debemos tener en cuenta el grueso de tinta según sea roca madre o sedimentos.

En la fig. 165 podemos distinguir varias formas características:

- a) forma producida por la conducción a presión.
- b) después de la conducción a presión, el régimen de aguas pasa a libre.
- c) forma debida a diaclasa
- d) forma según los planos de estratificación
- e) forma mixta donde se aprecian los estratos y la diaclasa.
- f) as calizas masivas dan formas redondeadas y las tubulares formas recortadas.

g) una buena sección puede revelar muchos datos, en esta sección podemos distinguir varias cosas:

- formas de erosión: la F_1 , F_2 , y F_3 , correlativamente, primero estructuradas en la diaclasa y después de régimen libre.

- formas de sedimentación: después de la erosión se depositan sedimentos. Primero S_1 , y encima el S_2 , una posterior erosión de estos sedimentos deposita los sedimentos S_3 .

- formas reconstructivas: formadas por la croata estalagmítica Cr_1 , que encima de los sedimentos S_2 , y la última fase, las estalagmitas y estalactitas Cr_2 que lo cubren todo.

En algunos casos, podemos representar en la sección algún elemento que no quede seccionado. Representándolo con un trazo más fino. En la fig. 166, en el caso (a), se trata de poner en una sección lo que se podría hacer en dos (a y a'), de hecho el puente de roca es una modificación en un punto de la galería, si bien la forma general no cambia, por tanto debemos hacer la sección de la forma característica y representar el puente de roca con un trazo más fino. El caso (b) es la representación de una galería que queda a media pared.

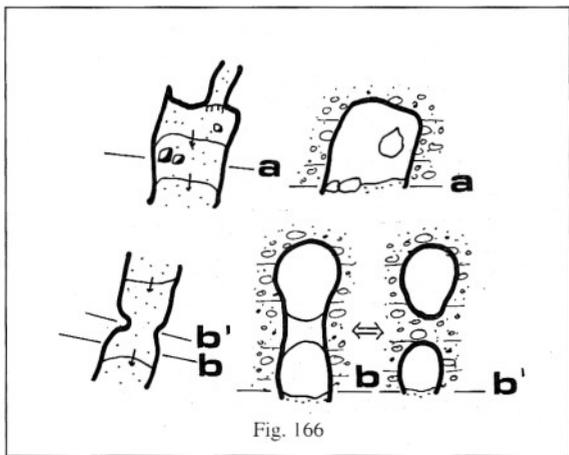


Fig. 166

d.3. LA LIBRETA TOPOGRAFICA

Normalmente las topografías se hacen en un papel milimetrado o cuadrículado, encima de un soporte llamado «plancheta», que puede ser de madera, plástico o metálica. En un lado se marca una columna donde se apuntan los datos de la poligonal, y al lado se hace el dibujo. En pequeñas cavidades este sistema es válido, pero en cavidades complejas y en general, es aconsejable utilizar una libreta donde van impresas las casillas de los datos, y en el reverso se dibuja el croquis. Con esto se consigue:

1. Unificación en la toma de datos en cavidades donde trabajan varios equipos de topografía.
2. Tener en la misma hoja los datos de campo y los obtenidos en los cálculos (coordenadas, profundidades).
3. Mejor archivo de datos.

Realmente se trata de una adaptación de las libretas taquimétricas que se utilizan en topografía profesional.

Un modelo puede ser el de la fig. 167. Está dividida en dos partes, la de la izquierda corresponde a los datos que se miden en la cueva. La de la derecha corresponde a los datos que se calcularán en el gabinete. En el reverso hay impreso un milimetrado para facilitar el dibujo. El significado de cada casilla es el siguiente:

ANVERSO

1. **Hoja n°:** numeración de las hojas.
2. **Fecha:** día del levantamiento. Importante para la declinación magnética.
3. **Cavidad:** nombre de la cavidad. Hay que respetar al máximo la toponimia del lugar. Si no tiene, o preguntar el nombre de la zona, o si hay alguna característica destacable (por ejemplo un pino solitario, una roca agrietada, etc.). En zonas grandes de prospección se numeran las cavidades según un código, como puede ser la inicial de la zona, seguido del número que le corresponde: por ejemplo «Sima T-1» = Sierra de Tendeñera n° 1.
4. **Término Muni:** término municipal y provincia o comarca.
5. **Visuales:** en el caso que se haya situado la cavidad por intersección inversa, se anotará aquí las visuales de los puntos observados. Por ejemplo: La Reclota 310°30'; M. Moragues 354°45'; La Espluga 62°30'; Poblet 4°30'.
6. **Topografía:** nombre de los componentes del equipo topográfico.
7. **Puntos:** número de la estación de la poligonal.
8. **Dist. Geom. (D):** «Distancia geométrica» = es la medida entre dos puntos directamente en el terreno.
9. **Ángulos H2 (α):** «ángulos horizontales» = el medido con la brújula o con un goniómetro (teodolito, taquimetro).
10. **Ángulos V (ϕ):** «ángulos verticales» positivos o negativos = es el que se mide con el clinómetro o nivel. Será positivo o negativo según ascienda o descienda.

11. **Anchura:** ancho de la galería desde el punto de la poligonal hasta las paredes, distinguiendo a la derecha o a la izquierda del topógrafo en sentido de la marcha de la topografía.

12. **Altura Gal:** Altura de la galería en el punto de la poligonal.

13. **Dist. Hoz. (Dh):** «Distancia horizontal»: es la proyección de la distancia geométrica sobre el horizonte.

14. **Zba:** «Desnivel parcial entre los dos puntos» = puede ser negativo o positivo.

15. **Coord. Parc. X-Y:** «coordenadas parciales» = son las coordenadas entre los dos puntos.

16. **Coord. Total X-Y:** «coordenadas totales» = son la suma algebraica de las parciales.

17. **Cotas finales:** es la cota final de cada punto respecto la boca de entrada.

REVERSO

18. Hoja cuadrículada o milimetrada para hacer el dibujo o croquis.

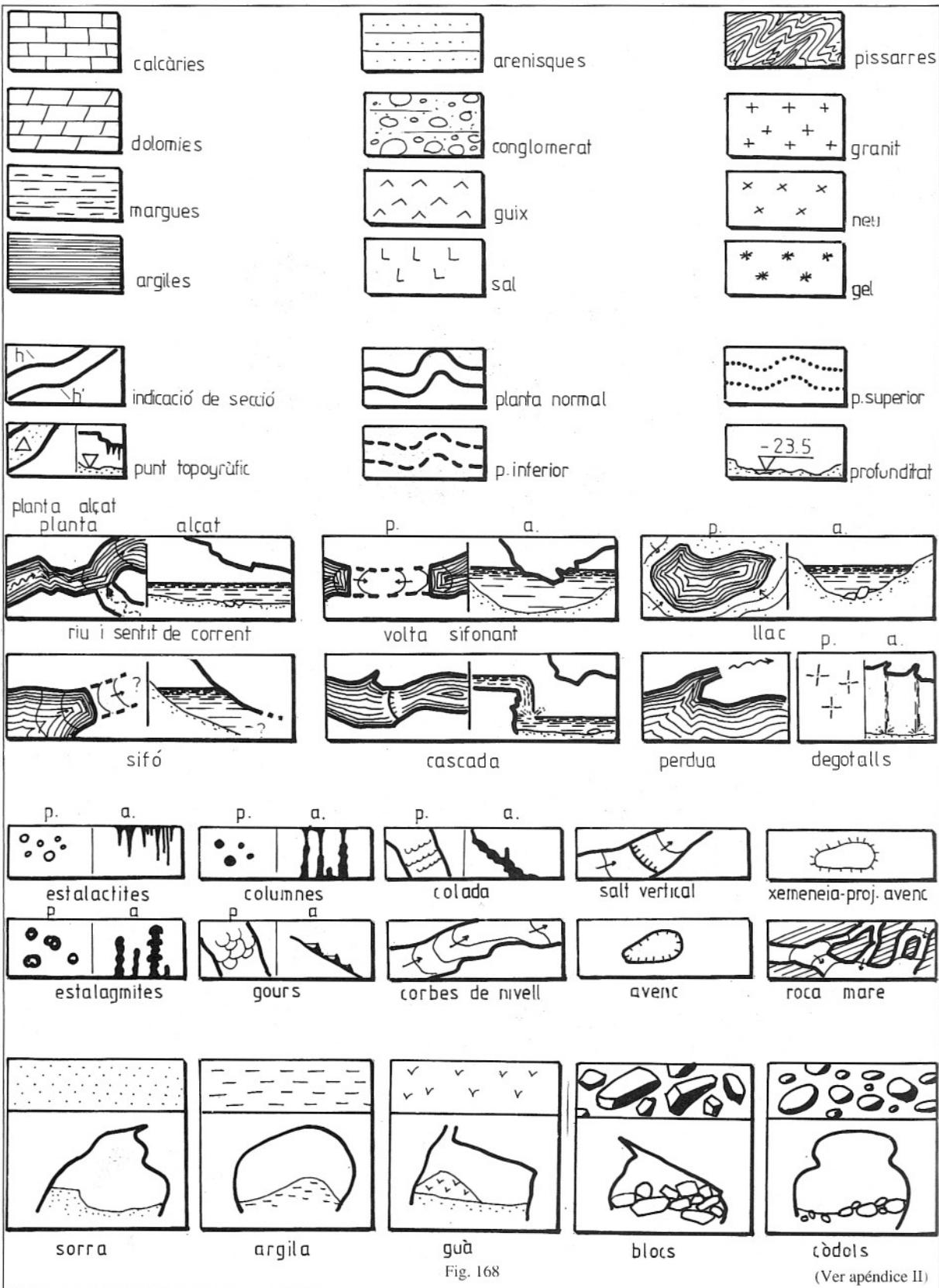


Fig. 168

(Ver apéndice II)

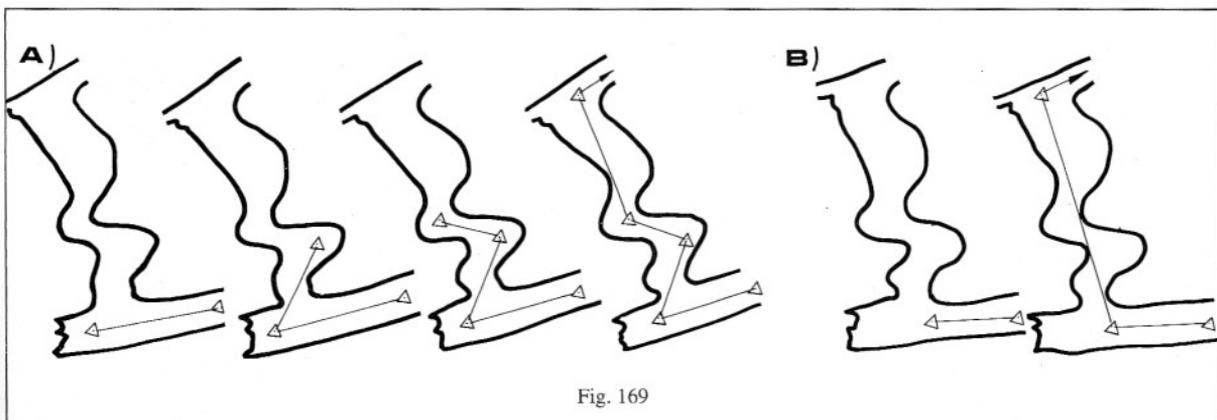


Fig. 169

ro de tramos y lo más largos posibles. A excepción de querer hacer un estudio minucioso de todas las formas de la cavidad, caso en el cual deberíamos reseguir todos los accidentes como en la fig. 169-a.

d.7. SENTIDO DE AVANCE

Es muy importante tener presente siempre en qué sentido se efectúa el avance de la topografía (ya sea de dentro a fuera o de fuera hacia dentro). En el caso de una topografía hecha en varios trozos hay que tener claro el sentido de cada trozo.

d.7.1. ÁNGULOS HORIZONTALES

El que efectúa la lectura del ángulo horizontal con la brújula siempre se situará en el punto de orden inferior. O sea se colocará en el punto n° 1 y mirará al n° 2.

Después se trasladará al n° 2 y desde éste efectuará la visual al punto n° 3, y así sucesivamente. En la fig. 170-a, la lectura es de 290°. Si hiciésemos la lectura desde el n° 2 al n° 1, el ángulo sería de 110°, lo cual podría provocar una gran equivocación (fig. 170-b).

Si se diera el caso, que por algunas circunstancias, nos fuese más cómodo efectuar la lectura del número más alto al más pequeño, por ejemplo del n° 2 al n° 1 (fig. 170-c), deberemos sumarle 180° o restarlos, en el caso que fuese más grande de 180°, la cantidad que nos dé, será el ángulo desde 1 a 2, y es la cantidad que anotaremos en la libreta.

d.7.2. ÁNGULOS VERTICALES

El sentido del avance de la topografía será el que nos indicará si los ángulos verticales son positivos o negativos. Si la topografía es de la boca hacia adentro, los signos (+) o (-) son realmente los correctos (fig. 171-a). En

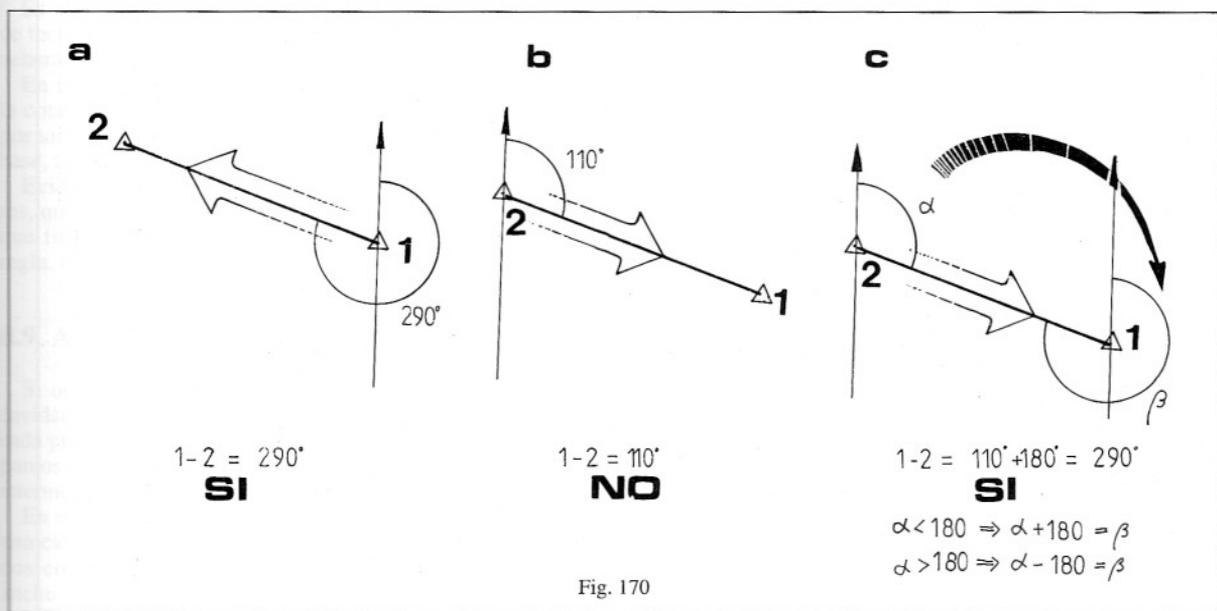


Fig. 170

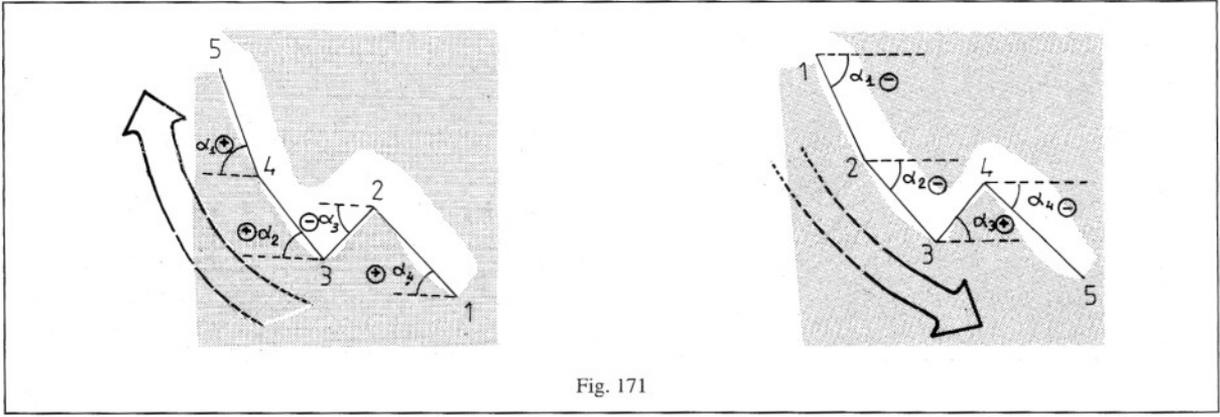


Fig. 171

caso contrario, las subidas (+) son realmente bajadas (fig. 171-b), y al revés, pero si tenemos presente el hecho del sentido del avance no hay problema. Es aconsejable, para evitar errores, poner siempre el signo real en aquel momento, después, en función del sentido de la topografía restaremos o sumaremos las cotas.

d.8. ALTURA DEL APARATO

Este factor, muchas veces no considerado, puede ser fuente de grandes errores. (Ver capítulo de errores). Teóricamente los puntos de la topografía están en el suelo, pero nos es mucho más cómodo tomar las medidas estando de pie, por tanto el aparato con que mediremos (brújula y clinómetro) queda a una cierta altura que en topografía se llama «altura del aparato» (i). Otro dato es la altura del suelo al punto donde miramos (en topografía «altura de la mira (m)» (pág. 50). Estos dos datos se deberían medir cada vez que hacemos estación, de esta forma el desnivel entre dos puntos es la suma algebraica de H (será + o - según el sentido de la pendiente), i, m (fig. 172):

$$Z = \pm H + i - m$$

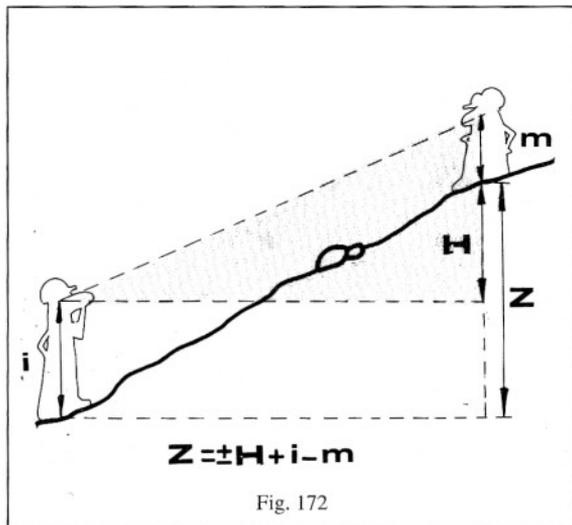


Fig. 172

De la anterior fórmula se deduce que si dos espeleólogos son más o menos de la misma altura quedará: $i = m$

$$Z = H$$

Por tanto, por regla general, deberemos buscar dos personas aproximadamente de la misma altura. En el caso de que sean diferentes, quien tomará las medidas será siempre el más bajo (fig. 173-a), que mirará al punto que esté a la altura de sus ojos. Lo ideal sería que quien efectúa la lectura tuviese la altura de sus ojos en la altura de la luz del casco del segundo espeleólogo, ya que es a donde se realiza la visual (fig. 173-b).

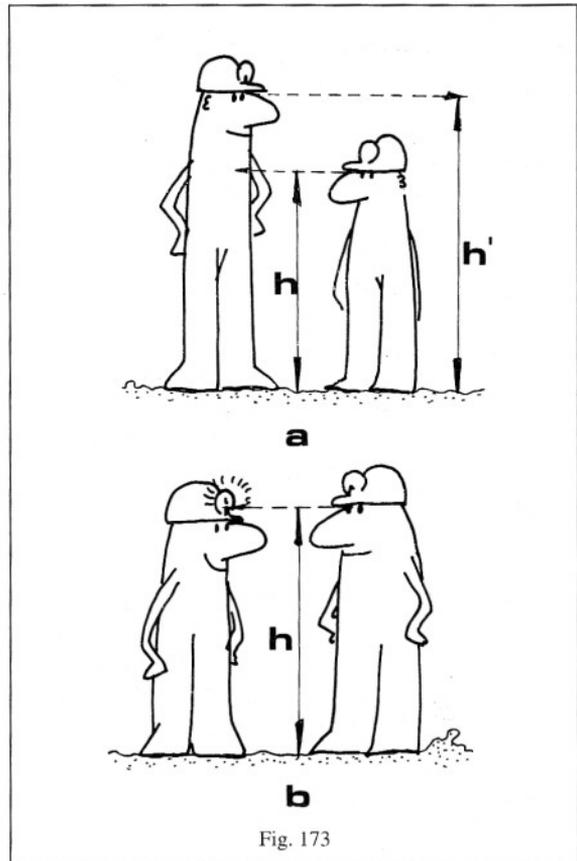


Fig. 173

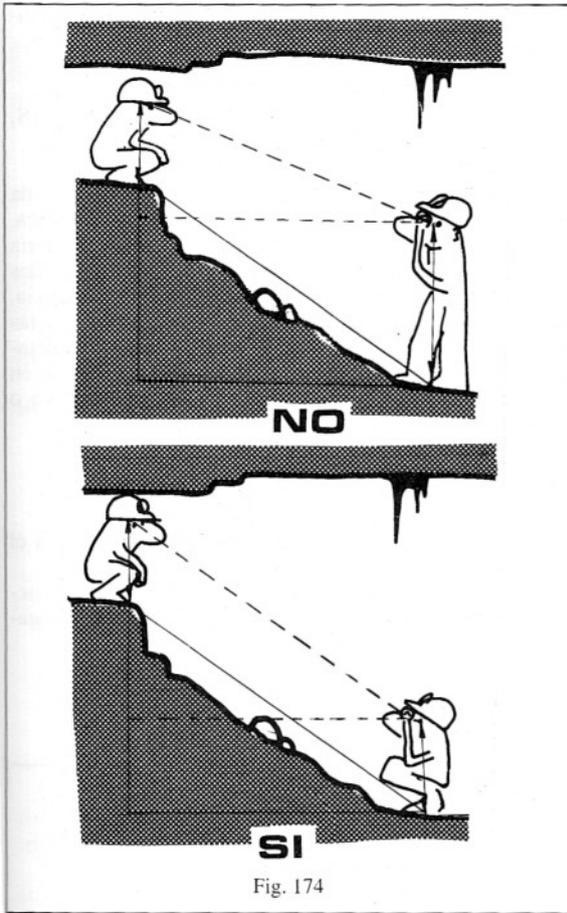


Fig. 174

Es muy importante que los dos topógrafos siempre estén a la misma altura para que se cumpla la fórmula anterior; por tanto, debemos recordar en todo momento el guardar la igualdad de altura.

Es muy frecuente que uno de los dos esté en un lugar de techo bajo y el otro no, en este caso (fig. 174) los dos deberán agacharse para mantener la igualdad.

En la medida de los pozos debemos tener presente que la cota de los puntos está a nuestros pies, no en los ojos, por tanto debemos medir desde la boca del pozo hasta la base, tal como vemos en la fig. 175.

Evidentemente con este método existen muchos errores, que sólo se solucionarían utilizando un trípode, aunque fuese de máquina de fotografiar, y un jalón o una regla. (Fig. 176) (ver errores de centrado).

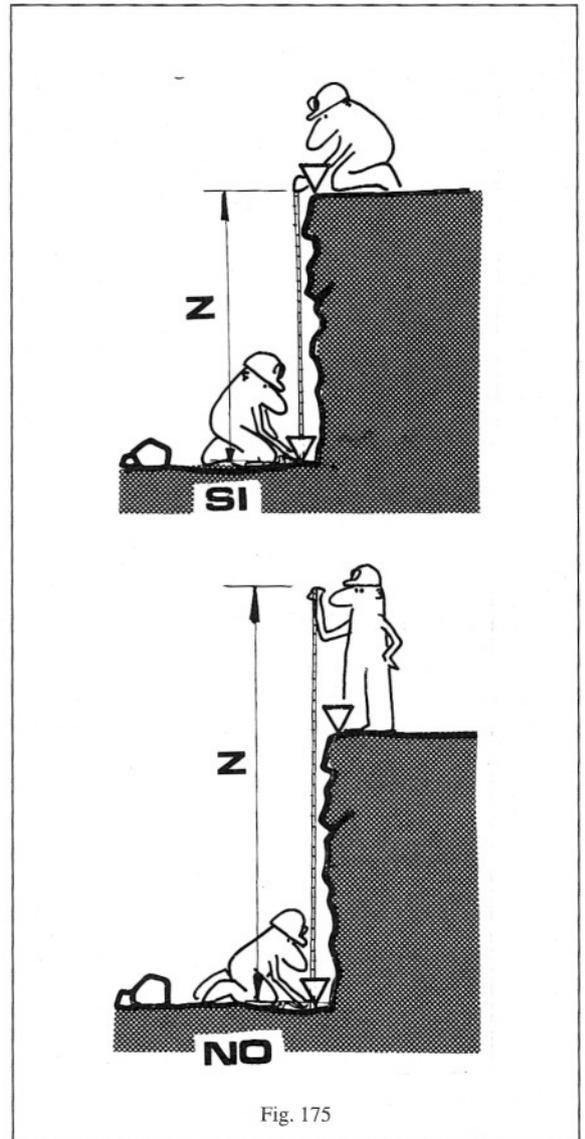


Fig. 175

1.9. ANCHURA DE LA GALERIA

Si queremos representar con exactitud la forma de la avidad, deberemos tomar el mayor número de anchuras de cada punto de estación, y el tramo que quede entre los dos puntos calcularlo a ojo (si no varía mucho), o tomar alguna intermedia, en caso que tuviese una forma anómala.

En el ejemplo de la libreta topográfica (fig. 167) hay una casilla destinada a las anchuras. Ésta está dividida en dos columnas: «derecha» y «izquierda». Se trata de la anchura desde el punto de la poligonal a la pared de la

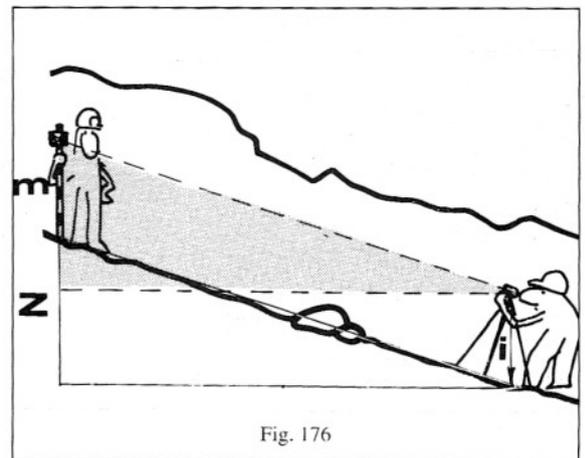


Fig. 176

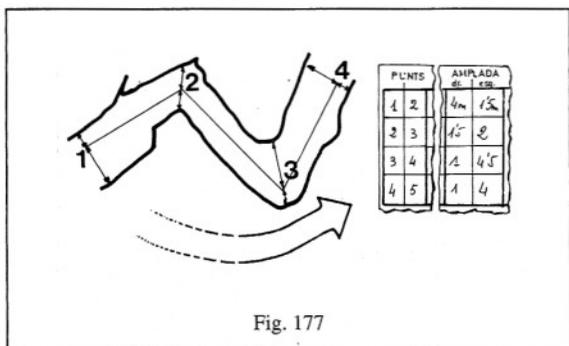


Fig. 177

galería, hacia la derecha o izquierda, según el sentido de avance de la topografía (fig. 177). Por convenio, la anchura anotada se refiere al n° más pequeño. Por ejemplo, 1-2 = 4 m. - 1,5 m., es la del n° 1. Evidentemente el último no tendrá casilla.

d.10. EJEMPLO PRACTICO: TOPOGRAFIA DE UNA CAVIDAD IMAGINARIA

Como resumen de lo que se ha visto hasta ahora, os proponemos la topografía de una cavidad «ideal», en donde se vean los casos más típicos de las cavidades. El

equipo será el mínimo: dos personas, una brújula, un clinómetro, una cinta métrica y la libreta topográfica.

d.10.1 BIFURCACIONES, RESALTES, CONCRECIONES: PLANTAS SUPERPUESTAS, POLIGONALES (FIG. 178)

El primer espeleólogo se sitúa en la boca de entrada (punto 1), mientras el otro, extendiendo la cinta métrica, se sitúa en un punto donde podrá ver una pequeña galería inferior y la continuación de la galería principal. Los dos están de pie. El primero toma las medidas de la distancia, ángulo horizontal y vertical (en este caso negativo), y las anchuras, y lo apunta. En todos los ejemplos, las anotaciones serán en el siguiente orden: Puntos, Distancia en metros, Ángulo horizontal, Ángulo vertical positivo o negativo.

1-2	15 m.	275°	+	-15°
-----	-------	------	---	------

Al haber un pequeño resalte en la planta se dibuja el signo correspondiente.

El primero se desplaza hasta el punto 2, y el otro penetra en la galería inferior. Al ser el techo bajo, éste se agacha, y por tanto el otro también.

2-3	8 m.	120°	-	-6°
-----	------	------	---	-----

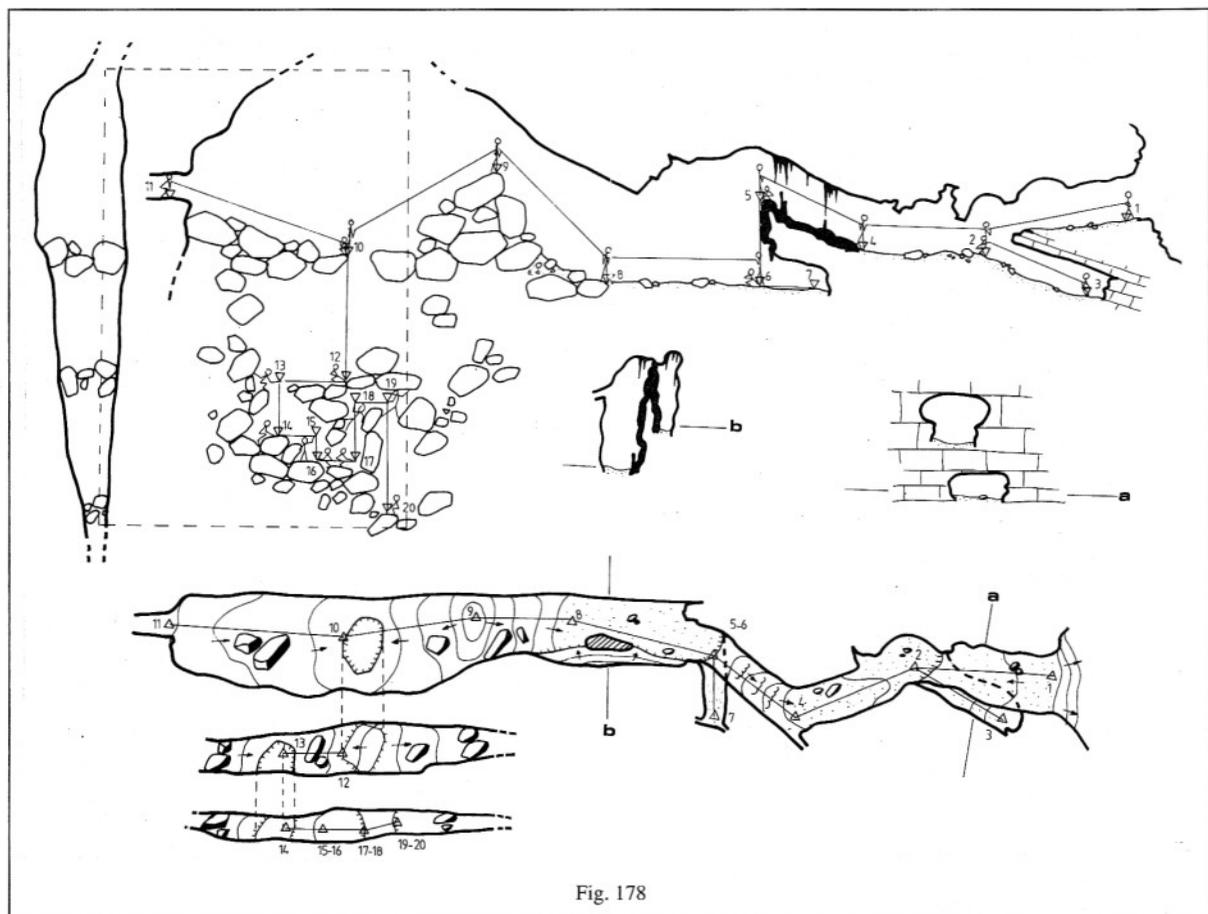


Fig. 178

Sin moverse de su sitio, el espeleólogo que está en el punto n° 2, espera que el otro salga hasta el punto n° 4. Hay que tener presente que al tratarse de una bifurcación, esta tirada es:

2-4	20 m.	250°	-	-
-----	-------	------	---	---

(bifurcación)

Al quedar la galería debajo de la principal y debido a su poca importancia, podemos hacerlas superpuestas con el signo de rayas discontinuas.

Las bifurcaciones pueden ser fuente de errores, por tanto es conveniente anotarlos en las observaciones.

Del punto 4 pasamos al 5, este caso es una rampa ascendente con gran cantidad de concreciones.

5-6	9 m.	-	-	90°
-----	------	---	---	-----

Una nueva bifurcación. Desde el punto n° 6 se efectúa la tirada hasta el n° 7, que se trata de una pequeña galería, y también desde el n° 6 se mide el punto n° 8, tal como hemos visto anteriormente.

6-7	6,3 m.	180°	-	-
6-8	23 m.	280°	-	-

Esta pequeña galería, aunque quede perpendicular, podemos integrarla también en el alzado, ya que no dificulta su visión.

A lo largo de la topografía se han hecho varias secciones, buscando las formas más representativas. La sección sirve no sólo para ver la forma de erosión de la galería (primero a presión y después a circulación libre), sino también para ver en un corte la galería inferior. También se ha representado el buzamiento de los estratos. La sección b nos sirve para ver el resalte vertical y mostrar las concreciones.

d.10.2. CAOS DE BLOQUES, GRIETAS DE DESPRENDIMIENTOS: PLANTAS DESPLAZADAS, MEDIDAS PARA VERTICALES Y HORIZONTALES.

Cambia la forma de la cavidad, la galería se transforma en una grieta en la que el suelo está lleno de bloques que forman una especie de piso, y en medio de ellos hay varias aberturas que dejan paso a un nivel inferior, también formado por los bloques aprisionados en la grieta.

Primero realizaremos 8-9, hasta encima de los bloques y bajaremos hasta el 10, boca de un pozo (bifurcación), del 10 seguimos hasta el 11. Todas estas medidas las hemos tomado de pie, pero en la 10-11 ambos espeleólogos se agachan puesto que es una gatera.

8-9	15 m.	275°	+38°	-
9-10	13 m.	260°	+35°	-
10-11	18 m.	280°	+ 8°	-

Volvemos al punto 10 y bajamos al pozo y lo medimos (10-12), seguidamente, debido a su estrechez, nos es más fácil medir entre los bloques horizontalmente y verticalmente. Realizamos 12-13 (horizontal) y desde el punto 13, dejamos caer la cinta hasta el 14, desde este último medimos hasta el 15 horizontalmente, del 15 al 16, otra vertical, etc. Este sistema se utiliza cuando no hay mucho espacio y los puntos se fijan directamente a las paredes o encima las rocas, ya que tan sólo debemos controlar que la cinta esté horizontal (con el clinómetro o un nivel de burbuja), ya que las verticales vienen del propio peso de la cinta. En la libreta, cuando sean horizontales, sólo habrá la orientación y la pendiente será cero; en cambio en las verticales no habrá orientación y la pendiente será de 90°, positivo o negativo según sea ascendente o descendente, teniendo en cuenta el avance de la topografía.

10-12	10 m.	-	-	-90°
12-13	7,5 m.	276°	-	-
13-14	6 m.	-	-	-90°
14-15	5,4 m.	112°	-	-
15-16	2,3 m.	-	-	-90°
16-17	3,1 m.	102°	-	-
17-18	5,2 m.	-	+90	
18-19	2,5 m.	82°	-	-
19-20	11,2 m.	-	-	-90°

En el alzado, prácticamente sólo figuran los bloques que actúan de superficie pareciendo que estén flotando. Es importante situar los puntos de la topografía, ya que ayuda a comprender el camino lógico de penetración.

Respecto a las plantas podemos distinguir tres niveles más o menos diferenciados, que para representarlos utilizaremos el sistema de «plantas desplazadas». La primera planta es el nivel por donde discurría hasta ahora la cavidad. El suelo lo representamos por curvas de nivel y algún bloque. El acceso al nivel inferior se representa con signo de sima. Utilizamos esta boca, como elemento común entre ambas plantas para desplazarlas, teniendo en cuenta que la planta inferior será la proyección de dicha boca; efectuamos el mismo procedimiento para enlazar con la tercera planta. Los puntos topográficos ayudan a entenderlo mejor. Una sección transversal situada a partir del alzado por un trazado discontinuo nos da la visión completa de la cavidad.

d.10.3. BIFURCACION, ALZADO SUPERPUESTO, NIVELACION CONSTANTE

Volvemos al punto 11 y continuamos hasta el 21, (agachados, puesto que se trata de una gatera). Una bifurcación divide la galería en dos. Debido que el dibujo es relativamente simple podemos poner los dos alzados superpuestos, tal como vemos en la fig. 179. La galería secundaria en su intersección queda representada por un trazo más fino.

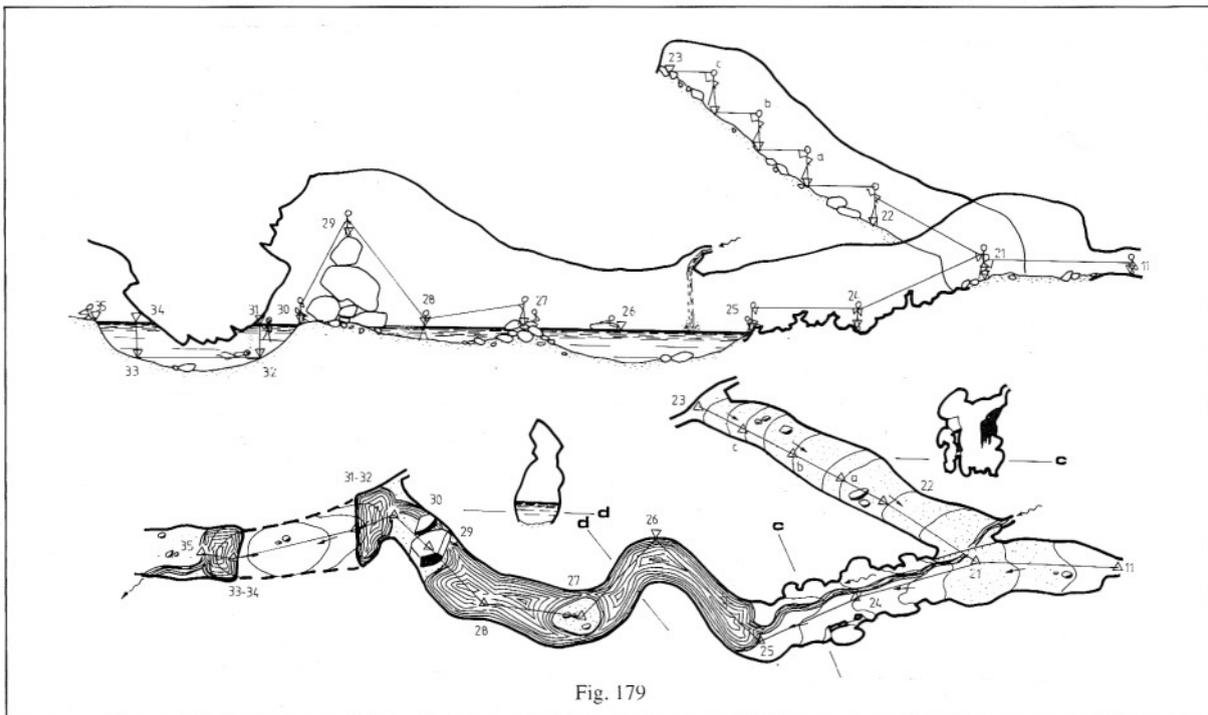


Fig. 179

Aquí podemos utilizar el sistema de nivelación constante, que consiste en colocarse en un punto (en este caso en el 23), efectuar una visual horizontal (con el clinómetro o del nivel), y medir con la cinta métrica la distancia de nuestros ojos hasta el punto donde corta la horizontal con la rampa. Entonces nos trasladamos a este punto y volvemos a repetir la operación, y así hasta el punto 23. Este método nos permite saber el desnivel de una rampa en la misma cavidad, ya que sólo es necesario multiplicar nuestra altura por el número de observaciones. En nuestro ejemplo será (suponiendo una altura de 1,6 m.)

En caso de no disponer de un clinómetro y realizar un «croquis topográfico», se puede utilizar este sistema haciendo la horizontal a ojo.

Volviendo a la galería principal sigue una rampa descendente con evidentes formas de corrosión y concreciones.

d.10.4. GALERIA INUNDADA, BOVEDA SIFONANTE

Situamos un punto al lado del agua (n° 25). Si utilizásemos botes neumáticos, el otro espeleólogo se aleja con la cinta hasta un lugar seco, o haciendo un punto intermedio. La cinta debe estar paralela al agua ya que así estará horizontal. Para efectuar la siguiente tirada es imprescindible que el segundo espeleólogo disponga de otro bote para trasladarse al punto 26. Es aconsejable situar los puntos en la pared, haciendo alguna señal.

El segundo se traslada al punto 26, mientras el primero sigue con la cinta hasta el n° 27, en este caso fuera del agua.

Suponiendo que el agua no cubra, lo más cómodo es introducirse en ella, como en el caso del n° 28. Unos bloques nos obligan a efectuar un punto en lo alto de ellos (n° 29) y bajar (n° 30).

Si la bóveda es sifonante, el método de topografía es igual (pág. 87), lo único que varía es el material. Debemos disponer de una plancheta especial para poder escribir debajo del agua, una brújula sumergible y un profundímetro (de aire para poca profundidad y de aceite para más de 10 metros).

La forma de representarlo es tal como vemos en la fig. 179 puntos 30, 31 y 32. Generalmente el sistema más adecuado es por horizontales y verticales, como hemos visto en la fig. 178.

El río desaparece por un lado de la galería tal y como vemos en la figura (pérdida).

d.10.5. SALA GRANDE: RADIACION, ALTURA DEL TECHO, PUNTOS INACCESIBLES.

Siguiendo la topografía se encuentra una sala de grandes dimensiones. Para topografiarla nos situamos en el punto más elevado (punto 37) y hacemos una radiación a los lados o puntos representativos de la sala, midiendo la orientación y distancia.

36-37	23 m.	270°	+23,5	
37-38	16 m.	120°		-20°
37-39	11 m.	210°		-18°
37-40	13 m.	260°	+10°	
37-41	16 m.	295°		-14°
37-42	22 m.	318°		-13°
37-43	20 m.	342°		-20°
36-44	18 m.	52°		-36°

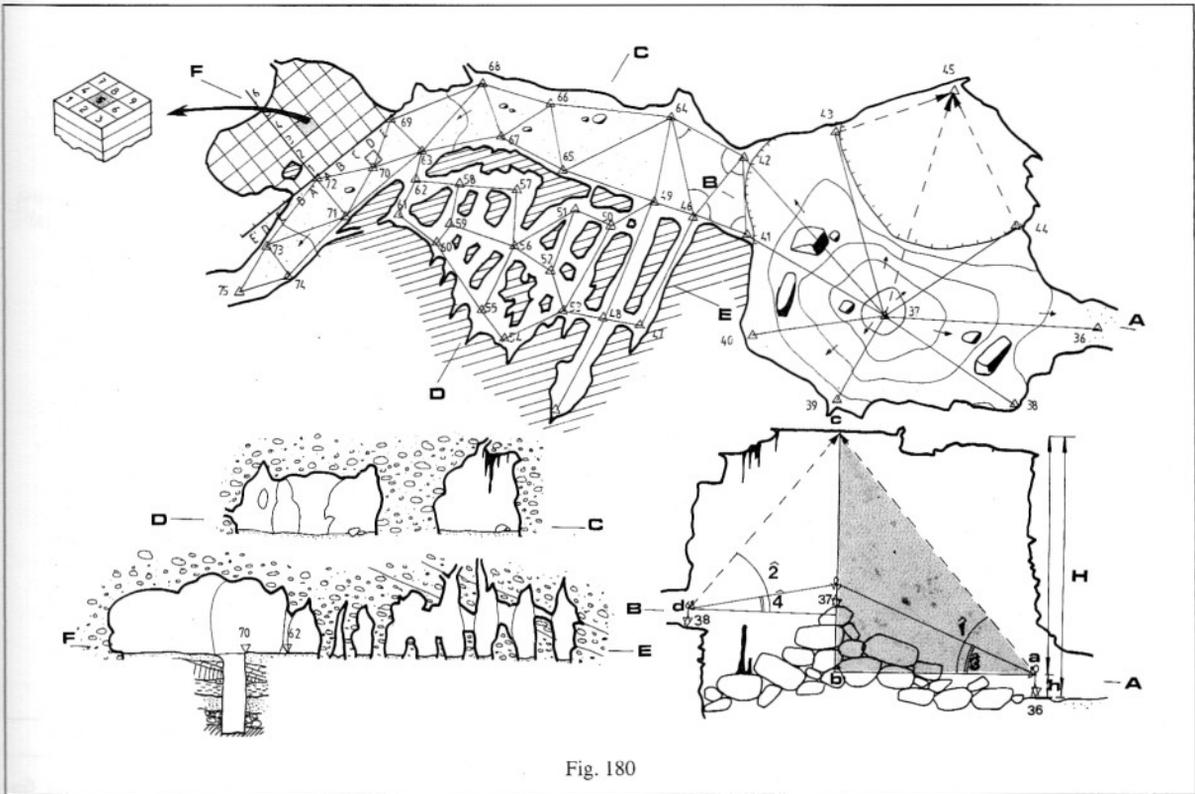


Fig. 180

Para medir la altura de la sala se realiza la siguiente operación: un espeleólogo se sitúa en el punto 37 y con una linterna enfoca el techo, prolongado por una línea vertical imaginaria. Desde el punto 36, otro mide el ángulo 1, de esta forma tenemos el triángulo rectángulo abc (fig. 180), del cual conocemos el ángulo y el lado ab, ya que primero hemos medido, al efectuar la topografía la distancia entre el n° 36-37 y su pendiente.

36-37	23 m.	270°	+23,5°	-
-------	-------	------	--------	---

En este caso ab tiene 22 m. y el ángulo 1 es de 50°, por tanto Z será 25,5 m., la altura total será Z más la anchura del espeleólogo (h).

$$H = Z + h$$

$$H = 25,5 + 2 = 27,5 \text{ m.}$$

Podemos hacerlo igualmente desde el punto 41, o desde los dos y efectuar la media de los dos resultados.

En la zona norte de la sala se abre una gran sima que nos impide medir el punto 45, la solución está en efectuar visuales desde 37, 43 y 44. Al tener estos puntos ya situados sobre la topografía, la intersección de los tres puntos, será el punto 45.

d.10.6. RED DE GALERIAS. POLIGONAL CERRADA

A partir del punto 46, encontramos un sistema de galerías laterales que forman una pared de galerías cruzadas. Para topografiarlas realizamos una serie de poligonales

cerradas en las que la mayoría de puntos están unidos entre sí. Es la mejor forma de topografiar, ya que al cerrar el polígono sumamos los ángulos interiores y podemos saber el error cometido y compensarlo. También podemos utilizar este sistema en grandes salas, y siempre que las cavidades lo permitan, puesto que es la única forma de saber el error cometido.

En las secciones DC y EF se ha representado el signo de la roca (conglomerados). Las líneas que son del corte de la roca se representan en grueso (0,8 mm.), pero también se han representado unas líneas finas que corresponden a las formas de la galería que no está cortada, como si nos mirásemos la cavidad una vez cortada; generalmente corresponden a formas de arcos o inicios de galería.

d.10.7. TRIANGULACION

Si queremos obtener una gran precisión en la topografía utilizaremos el sistema de triangulación. Como hemos visto en el capítulo de Planimetría, consiste en hacer una red de triángulos y en cada uno medimos los tres ángulos interiores y las medidas de los lados. Es un trabajo muy laborioso pero es muy preciso. Los triángulos han de ser lo más parecidos posible a los equiláteros. En este caso hemos hecho una triangulación desde el punto 41 hasta el 75.

d.10.8. YACIMIENTO ARQUEOLOGICO. COORDENADAS CARTESIANAS.

Supongamos que se localiza un yacimiento arqueológico importante; es necesario realizar un sistema preciso, no sólo para representar la cavidad, sino para localizar

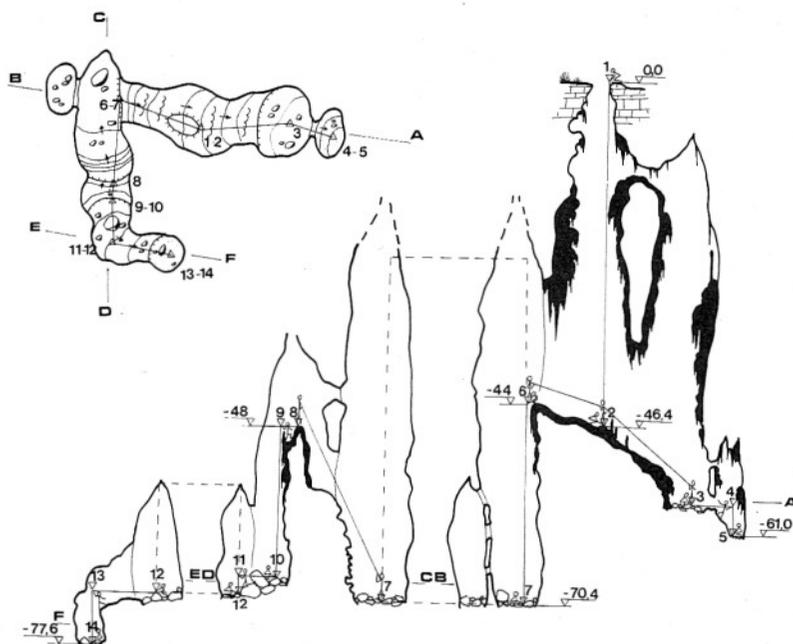


Fig. 181

las piezas encontradas en la excavación. Se utiliza el sistema de coordenadas cartesianas de G. Laplace. 1954.

Buscamos un punto de origen (en este caso el n° 72), se efectúan dos ejes perpendiculares entre ellos (con una brújula o una escuadra de agrimensor) y se fijan en la pared o en el suelo. Seguidamente se teje una red con cordeles, haciendo una serie de cuadros de un metro de ancho. Los del eje x, llamados A, B, C,... a la derecha, y A', B', C',... a la izquierda. Los del eje y, son conocidos por números, de esta forma cada cuadro tiene la denominación de una letra y un número (p.e. B-3). Cada uno se divide en 9 cuadrados (diviéndolo cada lado en tres partes), numerándose como vemos en la fig. 180 y se escribe entre paréntesis. En profundidad se dividen en decímetros y se denominan **tallas**. La mitad de una talla (5 cm.) es una **semitalla**, distinguiéndose la superior entre 0 y 5 cm. y la inferior de 5 cm. a 10 cm. y así sucesivamente. De esta forma la talla 2, es entre los 10 y 20 cm., la 3 entre los 20 y los 30 cm. etc. La semitalla 2 superior entre 10 y 15 cm., y se escribe 2 y la inferior 2.

En el caso de la fig. 180, el ejemplo B-3 1(5).

d.10.9. SIMA DE POZOS ENLAZADOS, POLIGONAL, MEDIDAS VERTICALES, ALZADOS DESPLAZADOS (FIG. 181).

En el caso de las simas con predominio de pozos la topografía puede ser similar al caso de la fig. 181. Desde el punto 1 medimos el pozo hasta el 2. Si la cinta es suficientemente larga lo haremos directamente; si el pozo es más largo se puede hacer en varias etapas aprovechando si algún espeleólogo está bajando por el pozo. En este caso son muy prácticos los «topohilos» que ya hemos visto. Otro sistema es hacer una marca a la cuerda y des-

pues medirla. No es aconsejable, ya que no es muy fiable. La medida del pozo es la del labio superior hasta la base. Desde el punto 2 seguimos al 3 tomando una medida inclinada. Del 3 al 4 nos agachamos y hacemos una horizontal para medir la vertical del 4 al 5. Volvemos al 2 para hacer la tirada hasta el n° 6 (los dos de pie). Se agacha el espeleólogo y desde los pies del punto 6 se mide el siguiente pozo hasta el n° 7.

1-2	46,4 m.	-	-	-90°
2-3	16 m.	70°	-	-40°
3-4	6 m.	100°	-	-
4-5	4 m.	-	-	-90°
2-6	9 m.	290°	+7,5°	
6-7	26,4 m.	-	-	-90°

Como la dirección cambia prácticamente 90° efectuamos otro corte, teniendo el punto n° 7 común a los dos cortes; la línea de puntos lo une e indica por donde se cruzan los dos cortes. Seguimos del 7 al 8 con una línea inclinada. Del 8 al 9 con una horizontal para desplazarlo lo suficiente para efectuar la vertical del pozo (9-10), y así sucesivamente hasta el final de la sima. Las masas estalagmíticas y las coladas tienen un grueso aproximado según la forma hipotética de la sima.

Las letras indican los cortes y la situación de los puntos topográficos en el alzado y en la planta y ayudan a comprenderlos mejor.

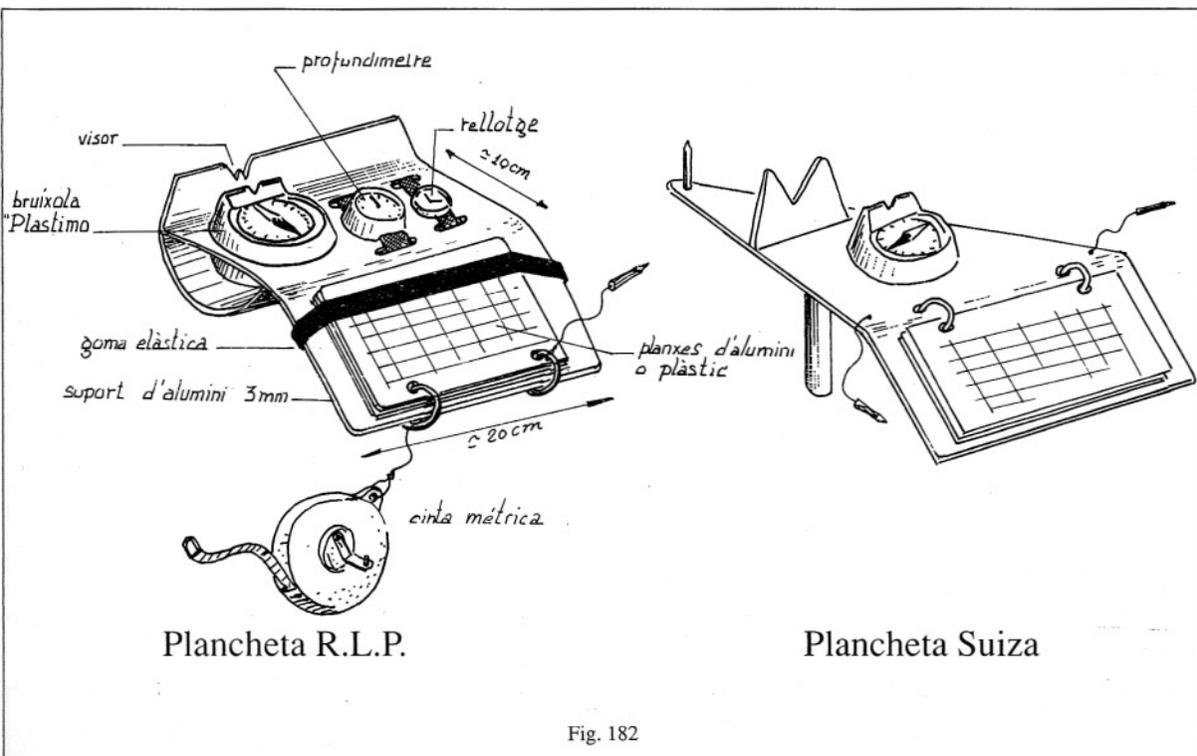


Fig. 182

C1 e) TOPOGRAFIA SUBACUATICA

A grandes rasgos es igual que la topografía de la superficie, pero con los inconvenientes típicos de la inmersión: dificultad de comunicación, generalmente poca visibilidad, frío, etc.

Los aparatos que se utilizan son: **la brújula sumergible, el profundímetro, la cinta métrica normal y hojas de plástico o de aluminio.**

Las marcas de brújula más utilizadas son:

- Chaix: buena precisión. No apta a más de 25 m. de profundidad.
- Compas Morin: muy precisa.
- Suunto y Senbapro: precisión regular.
- Plastimo: brújula marina que se puede sumergir a -60m. Realiza buenas lecturas.

Normalmente los escafandristas construyen unas planchetas especiales para hacer más cómoda su tarea, en la fig. 182 tenemos dos ejemplos. En la hoja de aluminio o plástico se anotan con lápiz las medidas de distancias en metros, orientación con la brújula y los desniveles con la ayuda del profundímetro. Aquí no es necesario utilizar el clinómetro.

Los métodos pueden ser los siguientes:

1° - Se instala correctamente el «hilo de Ariadna» (cordino = 3 mm) con medidas cada 5 o 10 mm., tensando bien el hilo con plumadas o gomas elásticas a las piedras. Después un escafandrista solo, puede hacer la topografía con la plancheta, anotando las distancias del hilo, orientando la brújula, y profundidades con el profundímetro. De todas formas la precisión es dudosa.

2° - El primer escafandrista lleva la brújula, el profundímetro, la cinta métrica y la plancheta. El segundo sólo llevará otra brújula.

El primero avanza con la cinta métrica hasta donde puede, mientras que el segundo aguanta el extremo. El primero efectúa las medidas y con una señal luminosa o tirando de la cinta llama al segundo para que vaya hacia él. Mientras tanto, éste ha efectuado una medida supletoria con la brújula para mejorar la precisión.

3° - Si la visibilidad es mala, el primer escafandrista sale solo con el extremo de la cinta y una luz en el brazo enfocando al segundo. Cuando éste tiene dificultades para ver la luz, lo detiene cogiendo la cinta. Entonces se gira el primero y el segundo efectúa las lecturas.

Para ganar tiempo, el segundo escafandrista puede tener la brújula y hacer la medida de la orientación mientras el primero aún se sitúa (con la bobina de la cinta), y mientras el segundo llega, el primero ya puede rebobinar la cinta.

C2 - TRABAJOS DE GABINETE

C2 a) TRANSPOSICION DE LOS DATOS

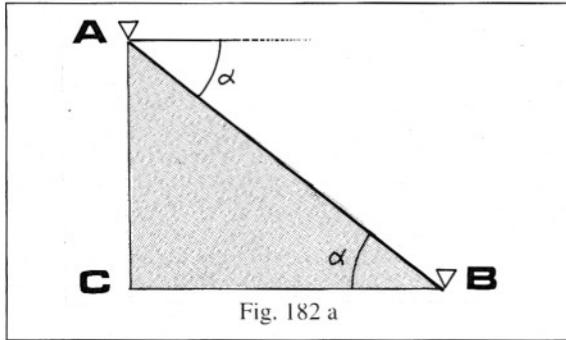
Una vez efectuadas todas las medidas en la cavidad y el croquis, debemos pasar a limpio estos datos y confeccionar el dibujo definitivo. Primero debemos reconstruir la poligonal de la planta y el alzado con los datos tomados; se pueden utilizar dos métodos:

- 1.- método gráfico
- 2.- método numérico (trigonométrico)

El primero es más sencillo pero menos preciso, el segundo un poco más laborioso pero más exacto e imprescindible en grandes cavidades.

a.1. MÉTODO GRAFICO

Recordemos el triángulo fundamental (fig. 182a). En él hemos medido la distancia A-B, o sea la distancia geométrica y el ángulo de inclinación (α) con el clinómetro. Ahora debemos encontrar la **distancia horizontal** B-C y el **desnivel** A-C. Por tanto seguiremos este orden:



a.1.1. ELABORACION DEL ALZADO

Al realizar el alzado de la cavidad se van calculando los desniveles y distancias horizontales de cada par de puntos. En un panel milimetrado del tamaño suficiente (podemos juntar varias hojas), colocamos un porta ángulos con la misma graduación que el clinómetro (centesimal o sexagesimal), hacemos coincidir su centro con el primer punto, y hacemos una señal según el ángulo que tenga de pendiente entre el punto 1 y 2, trazamos una línea y sobre ésta ponemos la distancia medida en la cavidad y traducida en cm. según la escala. En la fig. 183 tenemos un ejemplo: como la medida es de 33,5 m. y la escala 1/500, será 6,7 cm. Una vez hecha esta operación colocamos en las casillas de la libreta topográfica los dos datos que faltan, midiendo el dibujo en centímetros y traduciéndolo a metros según la escala. La distancia horizontal es de 6,62 cm. o sea (escala 1/500) serán $6,62 \times 5 = 33,1$ m. El desnivel es de 0,93 cm. por tanto son $0,93 \times 5 = 4,65$ m.

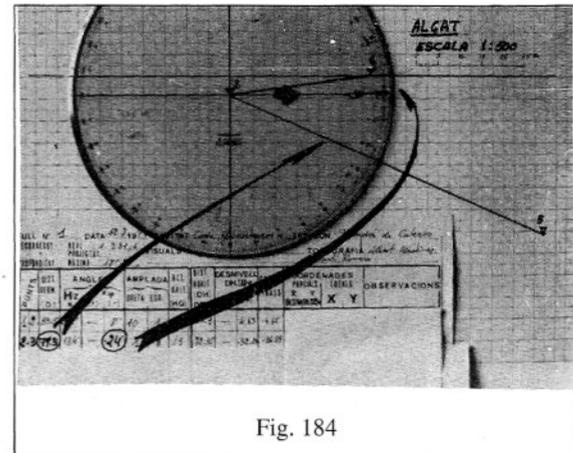
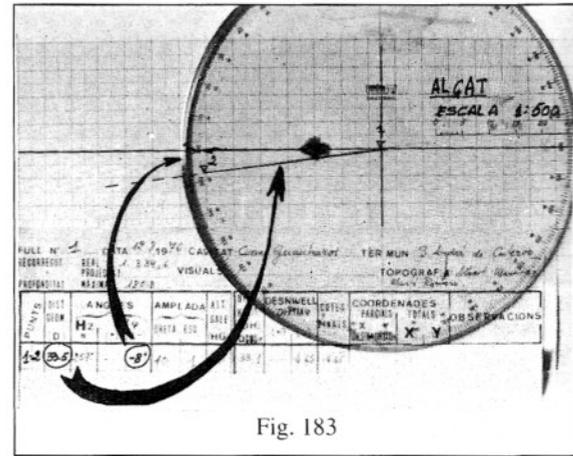
Se siguen efectuando las mismas operaciones con los siguientes puntos: entre el nº 2 y 3 hay 79,31 m. y una

pendiente de 24° negativos (fig. 184), repitiendo lo mismo encontramos la distancia horizontal (72,45 m.) y el desnivel (-32,24 m.).

Si hay una bifurcación debemos tener la precaución de volver al punto común y hacer lo que acabamos de explicar (fig. 185). En este caso las pendientes son positivas, o sea que son pendientes ascendentes.

El desnivel: es la distancia en vertical entre el punto más alto y el más bajo de la cavidad. Al tratarse de una sima con una boca y una serie de pozos inferiores, hablaremos de **profundidad**, pero en caso que haya varias bocas o galerías que remonten el nivel de la boca, hablaremos de **desnivel** (fig. 186). Normalmente la boca tiene la cota «cero», las cotas inferiores serán negativas y las superiores positivas. Si existen varias entradas lo más adecuado es colocar la altura sobre el nivel del mar y el desnivel será el resto de la cota más alta y la más baja (fig. 186).

Una vez realizado el alzado obtendremos el desnivel midiendo directamente entre la boca y el punto inferior, o el punto más alto o más bajo. Es interesante poner cotas



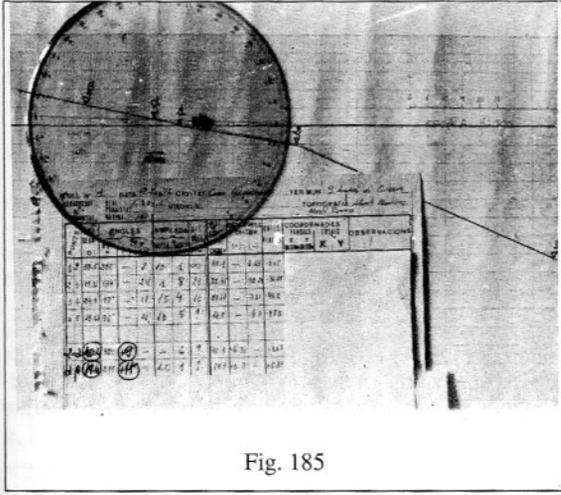


Fig. 185

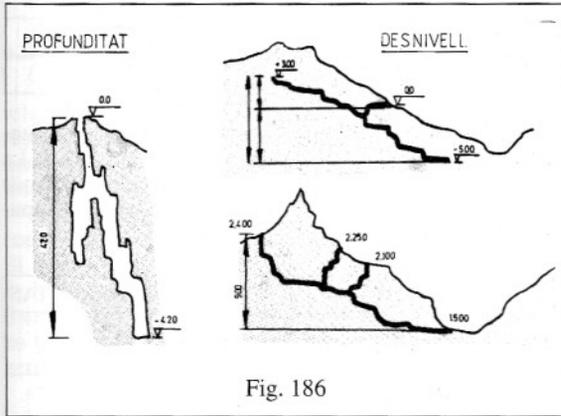


Fig. 186

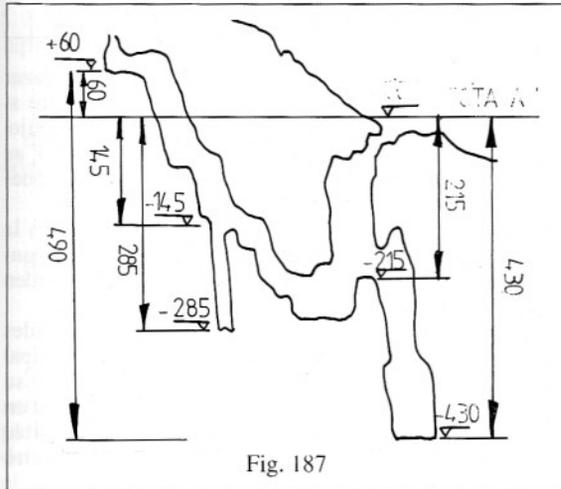


Fig. 187

intermedias, (también se obtienen midiendo desde la línea «cero»), sobre todo en la boca en los pozos y su base, y puntos característicos de la cavidad (fig. 187).

Si hemos efectuado el alzado por el método de nivelación constante, el desnivel será el resultado de multiplicar la altura del espeleólogo por el número de veces que se ha hecho la operación de nivelar.

a.1.2. ELABORACION DE LA PLANTA

Hecho el alzado tenemos el otro dato que nos faltaba: «las distancias horizontales» (Dh) que conocemos midiendo sobre el dibujo como hemos visto anteriormente.

Si no hacemos el alzado no será imprescindible encontrar este dato. Para obtenerlo se dibuja en un papel milimetrado cada triángulo que se obtiene cada dos puntos, y en él podemos obtener las distancias horizontales y desniveles para anotarlos en la libreta topográfica.

Cuando ya tenemos las Dh, sobre un papel milimetrado buscamos un punto arbitrario y reconstruimos la poligonal de planta, de la misma forma que se ha explicado para el alzado (fig. 188).

Colocamos el porta ángulos en el punto nº 1, haciendo coincidir el «0» con la línea que será la del Norte magnético, (constante para toda la topografía), y señalamos el rumbo o ángulo horizontal. Trazamos una línea que une el punto 1 con esta señal correspondiente a la distancia horizontal. En nuestro ejemplo, la fig. 188 muestra como se hace entre el punto 1 y 2, de 257° de rumbo y una Dh de 33,1 m. (a escala 1/500 = 6,62 cm).

Trasladamos el porta ángulos al punto 2 y repetimos la operación, colocando el «0» en una línea paralela a la del Norte magnético anterior, en este caso 134° de rumbo y una Dh de 72,45 m., (fig. 189), y así sucesivamente.

En el caso de las bifurcaciones se vuelve al punto de enlace y se coloca el nuevo segmento o segmentos. En la fig. 190 hay una bifurcación en el punto nº 2.

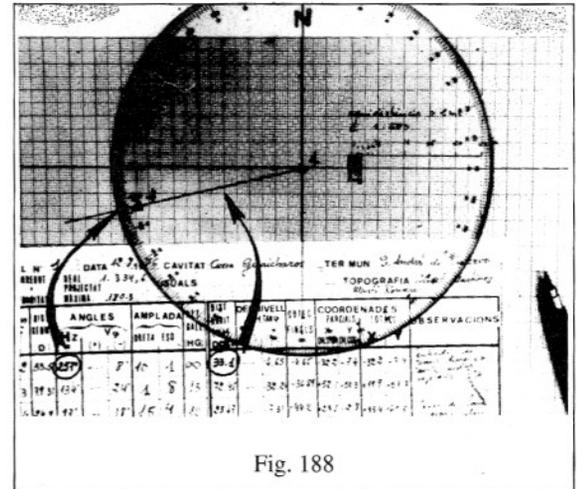


Fig. 188

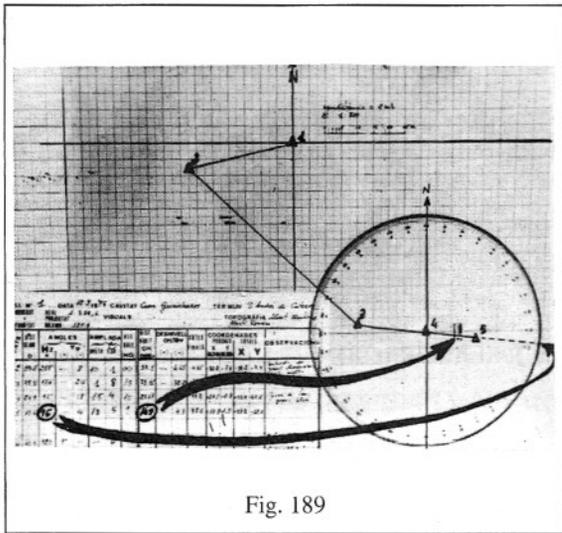


Fig. 189

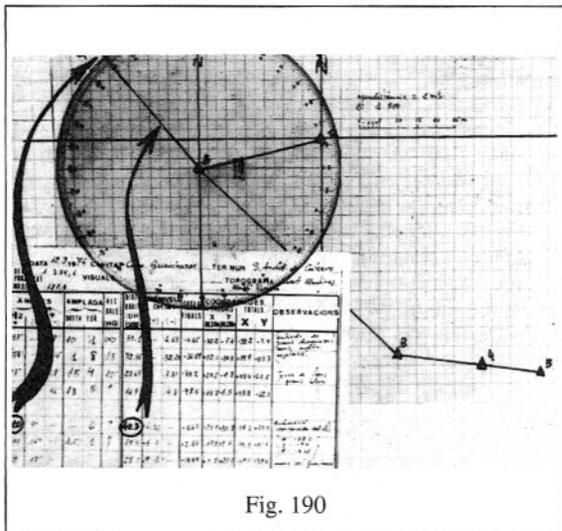


Fig. 190

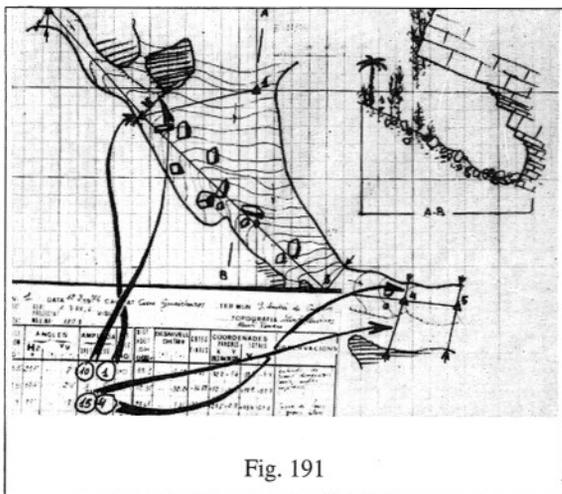


Fig. 191

a.1.3. DIBUJO FINAL, PLANTA, ALZADO Y SECCIONES, CURVAS DE NIVEL.

Hecha la poligonal situaremos las anchuras de la galería, teniendo en cuenta si son a la derecha o a la izquierda, y según el avance de la topografía y las alturas en el alzado.

Entonces solo falta hacer el dibujo de las formas según el croquis hecho en la cavidad, adaptado a la nueva poligonal y su anchura y altura (fig. 191).

Se representan los sedimentos, tipos de roca, ríos, pozos, etc. con los signos convencionales y las curvas de nivel.

Para representar las curvas de nivel, el sistema más práctico es ver el desnivel que hay entre cada tirada y según la equidistancia calcular las curvas. Si utilizamos una equidistancia de un metro, habrá el mismo número de curvas como metros de desnivel.

Si es cada 0,5 m. será el doble, si es cada 2 m. será la mitad, etc. En el cuadro siguiente vemos el número de curvas que habría en nuestro ejemplo, según varias equidistancias. Sabiendo el número de curvas se dibujan aproximadamente.

puntos	Dh	desnivel	n.º de curvas		
			equi. 0,5	1	2
1-2	33,1	-4,65	8	4	2
2-3	72,4	-32,3	64	32	16
3-4	23,6	- 7,3	14	7	3

equidistancia, evidentemente, la escogeremos en función de la escala y de las pendientes de la cavidad. La más corriente es 1 m. En el siguiente cuadro podemos tener una orientación de las equidistancias según el tamaño de la cavidad:

		EQUIDISTANCIAS
CAVIDADES	NORMALES E = 1/200, 1/600	1 m, 2 m
	PEQUEÑAS O DE PRECISION E = 1/10, 1/50, 1/100	0,1 m, 0,2 m, 0,5 m.
	GRANDES E < 1/500 1/100	2 m, 5 m, 10 m.

El sistema más preciso pero más laborioso, es trazar (fig. 192) líneas paralelas al alzado separadas entre sí según la equidistancia traducida a la escala del dibujo. Donde interseccion estas paralelas con las del alzado, se trazan unas perpendiculares. La separación de estas nuevas líneas es la separación de las curvas.

Las secciones se dibujan según el croquis hecho en la cavidad y las medidas tomadas; y se localizan en la planta mediante una línea que la secciona, también se pueden localizar en el alzado.

Observaciones: este método es válido para cavidades no muy grandes y de importancia modesta. La principal fuente de error está en que medimos sobre el dibujo y su precisión está en función de la escala. De esta forma en una cavidad de gran escala 1/500 o 1/1000 es imposible medir las Dh y desniveles ya que a 1/1000 un milímetro es un metro (!).

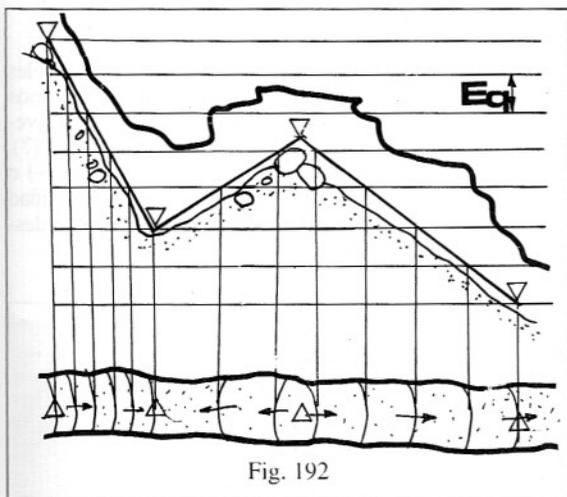


Fig. 192

queda suplida por la utilización de una calculadora científica. En la fig. 194 hay una tabla para valores de grado en grado; normalmente se utilizan más completas, con separaciones de segundos.

a.2.2. MÉTODO MIXTO

Un sistema para pasar las topografías es calcular los Dh y desniveles, trigonómicamente con las fórmulas que hemos visto, ya que al medir la distancia entre dos puntos y el ángulo de pendiente, tenemos el triángulo

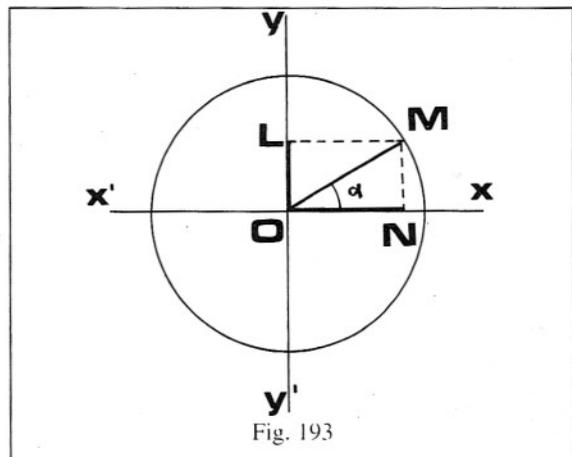


Fig. 193

a.2. MÉTODO TRIGONOMÉTRICO

Este método consiste en buscar los anteriores datos calculándolos numéricamente con las fórmulas trigonométricas. Es mucho más preciso que el método anterior y por tanto aconsejable en grandes cavidades.

a.2.1. NOCIONES DE TRIGONOMETRIA

La trigonometría (= 3 ángulos), es el estudio de las relaciones entre los lados y los ángulos de un triángulo rectángulo. Estas relaciones son lo que llamamos **razones trigonométricas**, y gracias a ellas podemos calcular los datos que nos interesen en nuestro caso:

1. **Razones trigonométricas:** partiendo de un círculo con los ejes (fig. 193) xx' y yy' que pasan por el centro O. El segmento OM tiene un ángulo (α) y las proyecciones de M en los ejes son OL que llamaremos **senos** y ON que llamaremos **cosenos**. Como podemos ver se ha formado un triángulo rectángulo donde MN = OL, y en el cual se verifican las siguientes razones:

a) **Seno** es la razón entre el cateto opuesto al ángulo y la hipotenusa.

$$\text{sen } \alpha = \frac{MN}{OM} \quad (1)$$

b) **Coseno** es la razón entre el cateto adyacente y la hipotenusa

$$\text{cos } \alpha = \frac{ON}{OM} \quad (2)$$

c) **Tangente** es la razón entre el cateto opuesto y el adyacente al ángulo

$$\text{tg } \alpha = \frac{MN}{ON} \quad (3)$$

d) **Cotangente** es la inversa de la tangente

$$\text{cotg } \alpha = \frac{1}{\text{tg } \alpha} = \frac{ON}{MN} \quad (4)$$

2. **Tablas trigonométricas:** los valores de las razones anteriores son siempre valores constantes y específicos para cada ángulo. Existen unas tablas trigonométricas donde se pueden buscar los valores de cada razón según el ángulo que nos interese. Actualmente esta función

Valores naturales de las funciones circulares
Líneas: trigonométricas naturales

Gr.	Senos	Tangente	Cotangente	Cosenos	Gr.
0	0.00000000	0.00000000	∞	1.00000000	90
1	0.01745241	0.01745506	57.28996163	0.99984770	89
2	0.03489950	0.03492077	28.63625328	0.99930083	88
3	0.05233598	0.05240778	19.08113089	0.99862953	87
4	0.06975647	0.06982881	14.30066626	0.99776405	86
5	0.08715574	0.08748866	11.43005230	0.996619470	85
6	0.10452846	0.10510424	9.51438445	0.9952190	84
7	0.12186934	0.12278456	8.14434643	0.99254615	83
8	0.13917310	0.14054083	7.11530972	0.98928807	82
9	0.15643447	0.15838444	6.31375151	0.98538634	81
10	0.17364818	0.17628698	5.67128182	0.98084775	80
11	0.19080900	0.19438031	5.14454402	0.97571218	79
12	0.20791169	0.21255856	4.70463011	0.97014760	78
13	0.22495105	0.23086819	4.33147587	0.97437006	77
14	0.24192190	0.24932800	4.01078093	0.97029573	76
15	0.25881905	0.26794919	3.73205081	0.96592583	75
16	0.27563736	0.28674539	3.48741444	0.96126170	74
17	0.29237170	0.30573068	3.27085202	0.95630476	73
18	0.30901899	0.32491970	3.07788354	0.95105652	72
19	0.32558815	0.34432781	2.90421088	0.94551858	71
20	0.34202014	0.36397023	2.74747742	0.93989202	70
21	0.35833795	0.38386404	2.60508908	0.93418013	69
22	0.37448059	0.40402823	2.47508695	0.92838385	68
23	0.39037113	0.42447482	2.35585237	0.92250485	67
24	0.40607364	0.44522869	2.24603677	0.91654546	66
25	0.42261826	0.46630766	2.14550692	0.91050779	65
26	0.43897115	0.48773259	2.05303084	0.90439405	64
27	0.45519905	0.50952645	1.96821051	0.89820652	63
28	0.46947156	0.53170943	1.88972847	0.89195479	62
29	0.48480992	0.55438065	1.80440776	0.885641971	61
30	0.50000000	0.57735027	1.73205081	0.88002510	60
31	0.51503807	0.60068602	1.66427948	0.85716730	59
32	0.52991926	0.62448693	1.60033453	0.84801810	58
33	0.54463904	0.64940759	1.53988496	0.83867057	57
34	0.55919290	0.67458552	1.48268097	0.82903757	56
35	0.57357644	0.70020754	1.42814801	0.81915204	55
36	0.58778525	0.72642523	1.37638192	0.80901899	54
37	0.60181502	0.75355405	1.32704482	0.79863551	53
38	0.61566148	0.78128563	1.27994163	0.78801075	52
39	0.62932039	0.80978403	1.23489716	0.77714598	51
40	0.64278761	0.83909963	1.19175359	0.76601444	50
41	0.65605903	0.86928074	1.15038841	0.75470958	49
42	0.66913081	0.90040404	1.11061251	0.74314483	48
43	0.68201930	0.93251509	1.07239871	0.73135370	47
44	0.69472837	0.96568877	1.03553031	0.71933980	46
45	0.70726728	1.00000000	1.00000000	0.70710678	45
Gr.	Cosenos	Cotangente	Tangente	Senos	Gr.

Fig. 194

fundamental, (fig. 195). Por tanto solo debemos utilizar la fórmula adecuada para cada caso:

-Distancia horizontal (Dh) aplicando la fórmula (2) tenemos:

$$\cos \alpha = \frac{Dh}{D}$$

$$Dh = \cos \alpha \cdot D$$

-Desnivel (Z) según la fórmula (1):

$$\text{sen } \alpha = \frac{Z}{D} \quad (5)$$

$$Z = \text{sen } \alpha \cdot D \quad (6)$$

o bien:

$$\text{tag } \alpha = \frac{Z}{Dh}$$

$$Z = \text{tag } \alpha \cdot Dh \quad (7)$$

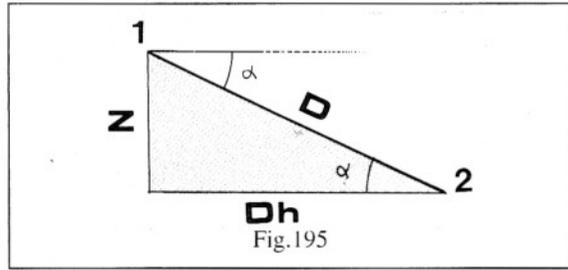


Fig. 195

1- Planta

En este caso no es necesario efectuar primero el alzado (como en el caso de hacerlo gráficamente) para encontrar las Dh, sino que las calcularemos con la fórmula (5). En el caso de la fig. 196, tendremos:

$$Dh = \cos \alpha \cdot D = \cos 8^\circ \times 33,5 = 0,99026807 \times 33,5 = 33,1 \text{ m.}$$

Esta medida la anotaremos en la casilla Dh de la libreta topográfica y es la que colocaremos en la planta tal como se ha visto en el método gráfico.

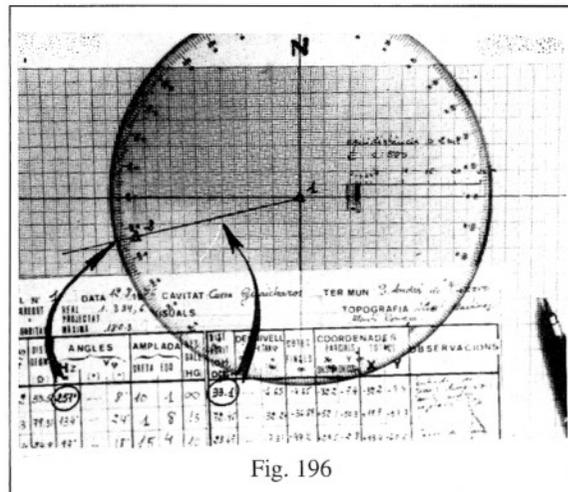


Fig. 196

2- Alzado

Este método tiene la ventaja de calcular los desniveles sin necesidad de efectuar el alzado, ya que lo haremos numéricamente. Directamente podemos buscar los desniveles parciales entre cada dos puntos por la fórmula (6) o (7), que anotaremos en la casilla («Desnivel») según sea (+) o (-). Si hacemos el alzado podemos dibujarlo sin necesidad de utilizar un portaángulos, ya que tenemos la Dh y el desnivel, que son perpendiculares entre sí (fig. 197).

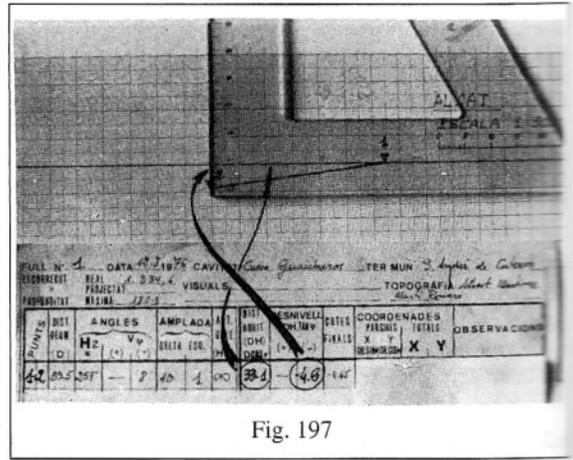


Fig. 197

Para calcular las cotas de cada punto respecto a la boca (cota ± 0,00). Se suman algebraicamente los desniveles parciales teniendo en cuenta los signos. Para no equivocarse es importante tener presente el dibujo de como es el alzado para saber los signos correctos, según sea la topografía de dentro a fuera o al revés. En la fig. 198 hay un ejemplo de los dos sentidos.

a) De fuera a dentro los negativos se suman y los positivos se restan.

- la cota es la correspondiente al punto de la derecha de las dos casillas, es decir que entre el punto nº 1 y el nº 2, la cota representada es la del nº 2, no la del nº 1. Entre el 8 y el 9 la cota -15,5 m. es la del nº 9, y así sucesivamente.

- En una bifurcación el criterio de signos es el mismo.

b) Si por el contrario, es de dentro hacia fuera, debemos efectuar un cálculo desde el último número (el de la boca) ya que es el punto que sabemos la cota (cero ± 0,00 m.) y a partir de este vamos calculando los otros, teniendo en cuenta que los signos son al contrario. Podemos cambiar todos los signos y hacer la suma como hemos visto antes, o bien sumar los positivos y restar los negativos, el resultado es el mismo. Debemos empezar desde el último punto con cota conocida (si es la boca será la cota 0,00 m.).

En la fig. 198, partimos del punto nº 9 que es el de cota 0,00 m. y calculamos el nº 8, después el nº 7, etc. hasta llegar al nº 1 que es el más bajo de toda la topografía, por tanto su cota -15,5 es la misma que la del caso anterior.

- La cota es la correspondiente al punto situado a la izquierda, o sea que en los puntos 8-9, la cota -4 m. corresponde al nº 8 no al nº 9, en los puntos 1-2 la cota -15,5 es la del nº 1, etc.

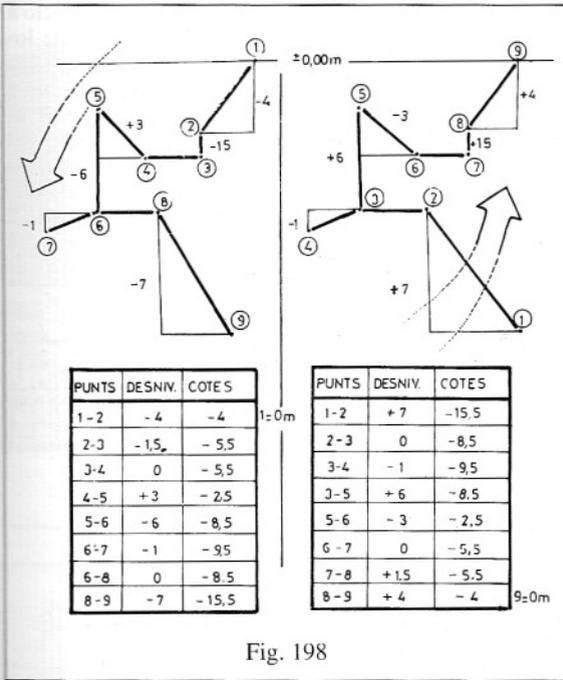


Fig. 198

En las bifurcaciones hay que tener en cuenta que al calcular la cota hallamos la del punto de enlace, pero después es una topografía de fuera hacia dentro, por tanto los criterios son los del caso a). En la fig. 198 el punto 3 tiene la cota -8,5 m. y entre el punto 3-4 hay un desnivel de -1 m., pero no cambia el signo, ya que ahora es como si avanzásemos, y el negativo se sumará quedando el punto 4 en la cota de -9,5.

a.2.3. MÉTODO NUMÉRICO: POR COORDENADAS

Una tercera forma, es calcularlo todo por trigonometría, buscando las coordenadas rectangulares de cada punto de la topografía. Este método es el más práctico y seguro, e imprescindible en grandes cavidades. Para más información ver Martínez Rius (1974).

1- Tipos de coordenadas

- Coordenadas Rectangulares o Cartesianas

Si partimos de un sistema de ejes, todos los puntos situados dentro de este espacio vienen caracterizados por tres valores (x, y, z) que son los valores medidos desde el inicio, en cada eje, hasta la proyección del punto, en cada eje (fig. 139(a)). En el ejemplo las coordenadas de A son (2x, 3y, 4z).

- Coordenadas polares

Igualmente en un sistema de ejes, pero la posición de cada punto viene dada por la distancia D entre el origen de los ejes y el punto (fig. 199(b)), y los dos ángulos α y β .

En la topografía los datos que medimos en la cavidad son las coordenadas polares, por tanto debemos pasar de polares a rectangulares.

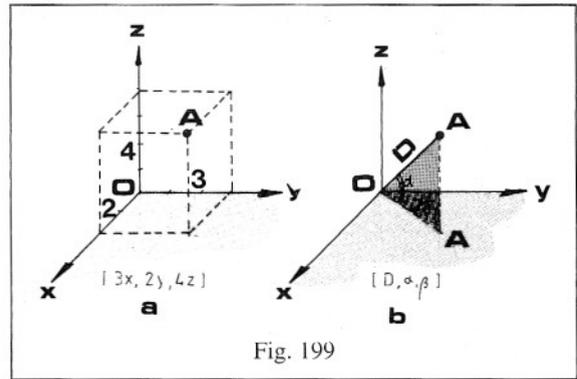


Fig. 199

2- Cambio de coordenadas

Si nos fijamos en la fig. 199(b), vemos que el segmento OA es la distancia real (D), y el ángulo (α) es el ángulo vertical y (β) el horizontal o rumbo. Por tanto lo primero que debemos buscar es la proyección de OA, en este caso OA', o sea la distancia horizontal (Dh) aplicando la fórmula (5):

$$OA' = Dh = \cos \alpha \cdot D \quad (5)$$

La coordenada (Z) que es el desnivel, viene dada por la fórmula (6) o (7):

$$AA' = Z = \sin \alpha \cdot D \quad (6)$$

$$AA' = Z = \tan \alpha \cdot Dh \quad (7)$$

Las coordenadas (x), (y), también se hallan aplicando las fórmulas de trigonometría, ya que, como vemos en la fig. 200, se trata de un triángulo rectángulo. Por tanto el valor de (x) será:

$$x = Dh \cdot \sin \beta \quad (8)$$

y el valor de (y):

$$y = Dh \cdot \cos \beta \quad (9)$$

O sea que los valores x, y se calculan multiplicando la distancia horizontal (hallado primero con la fórmula (5)) por el seno o el coseno del rumbo. Por tanto la línea del Norte Magnético será la misma que la del eje y-y' y la del

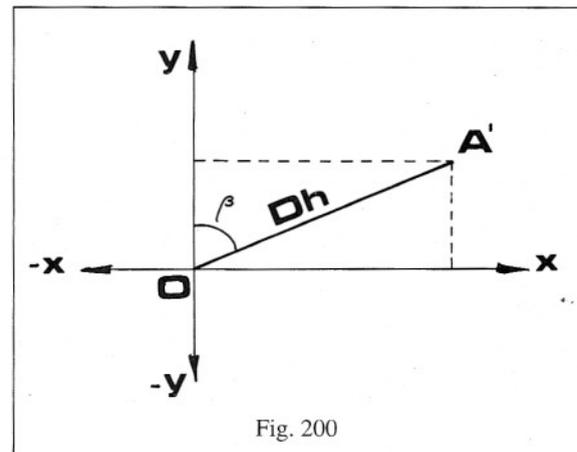
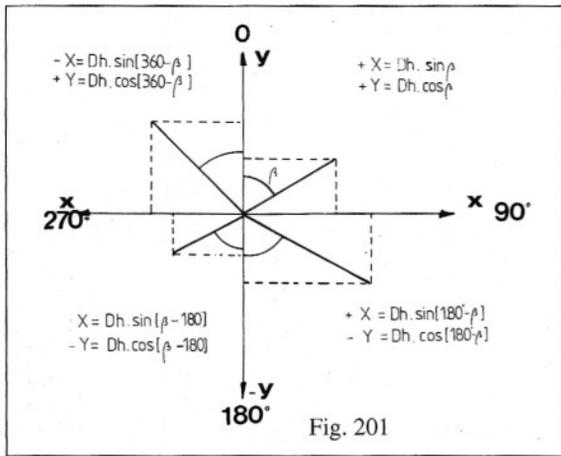


Fig. 200



eje x-x', es la línea E-W. Vemos en la fig. 201 como la intersección de los ejes nos da cuatro cuadrantes, según sea en uno u otro, las coordenadas tienen signo (+) o (-). El ángulo β es el mismo que hemos leído en la brújula, de 0° a 360° a 400° según sea sexagesimales o centesimales.

Si utilizamos una calculadora científica podemos utilizar ángulos de 0 a 360° a 400°, pero si utilizamos tablas trigonométricas, los valores sólo van de 0 a 90° o 100°; por tanto debemos ver el ángulo β a que corresponde utilizando los criterios de la fig. 201. Por ejemplo el ángulo 150 equivale a 30° (180°- β). El ángulo 200, es el 20° (β -180), y el ángulo 350° es el 10° (360°- β).

Al calcular coordenadas es importante tener un cuadro como el de la fig. 201, para no equivocarse de ángulo ni de signos.

Vemos un caso práctico de como hallar las coordenadas rectangulares entre dos puntos de una topografía: Distancia 17,5 m. Ángulo horizontal $\beta = 103^\circ$. Ángulo vertical $\alpha = 12^\circ$.

Primero hallamos la Dh; y la apuntamos en la casilla correspondiente:

$$Dh = D \times \cos 12^\circ = 17,5 \times 0,9781476 = 17,117 \text{ m.}$$

Seguidamente el desnivel (Z):

$$Z = D \times \sin 12^\circ = 17,5 \times 0,20791169 = 3,63 \text{ m.}$$

Las coordenadas serán la x(+) y la y (-), ya que el ángulo 103 se halla en el segmento cuadrante:

$$+x = Dh \times \sin (180^\circ - 103^\circ) = 17,117 \times \sin 77^\circ = 17,117 \times 0,97437008 = 16,78 \text{ m}$$

$$-y = Dh \times \cos (180^\circ - 103^\circ) = 17,117 \times \cos 77^\circ = 17,117 \times 0,22495105 = -3,85 \text{ m}$$

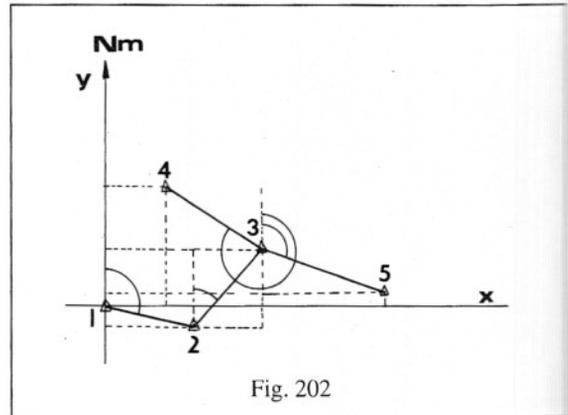
Estos valores los anotamos en la casilla de «coordenadas parciales».

Coordenadas totales:

Cada par de puntos de la poligonal es como si cada vez tuviésemos unos ejes de coordenadas, por esto son coordenadas parciales. Lo que nos interesa es saber la posición de todos los puntos de la poligonal, pero sólo respecto a unos ejes, por tanto tomaremos los del primer punto,

y para calcular las coordenadas de los restantes respecto a este punto, tan solo debemos sumar algebraicamente los valores de las (x) por un lado y las (y) por otro.

En las bifurcaciones debemos tener en cuenta que a cada punto se le debe sumar el valor del anterior a él. Si hay una bifurcación debemos buscar las coordenadas del punto común. En el ejemplo de la fig. 202, para hallar las coordenadas del n°5, no debemos sumar las del n°4, sino las del punto de bifurcación, o sea, el punto n°3. Ejemplo: (fig. 202).



puntos	metros	ángulo horiz.	ángulo verti.	coord. parciales	
				x	y
1-2	17,5	102°	-12°	+16,78	- 3,85
2-3	20,0	43°	-	+13,63	+14,62
3-4	22,5	302°	-	-19,08	+11,92
3-5	25,0	110°	-3°	+23,46	- 8,53

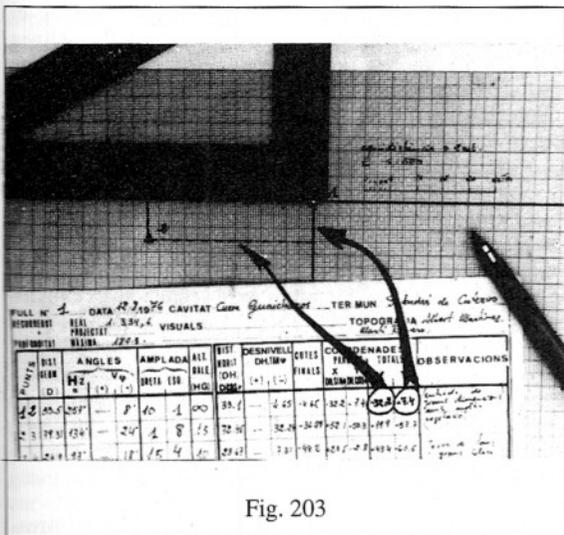
Las coordenadas totales serán; para las x:

- punto 2 = 16,78 + 0 = 16,78
 - punto 3 = 16,78 + 13,63 = 30,41
 - punto 4 = 30,41 + (-19,08) = 11,33
 - punto 5 = 30,41 + 23,46 = 53,87
- para las y:
- punto 2 = (-3,85) + 0 = -3,85
 - punto 3 = (-3,85) + 14,62 = 10,77
 - punto 4 = 10,77 + 11,92 = 22,69
 - punto 5 = 10,77 + (-8,53) = 2,24

a.2.4. DIBUJO DE LA PLANTA

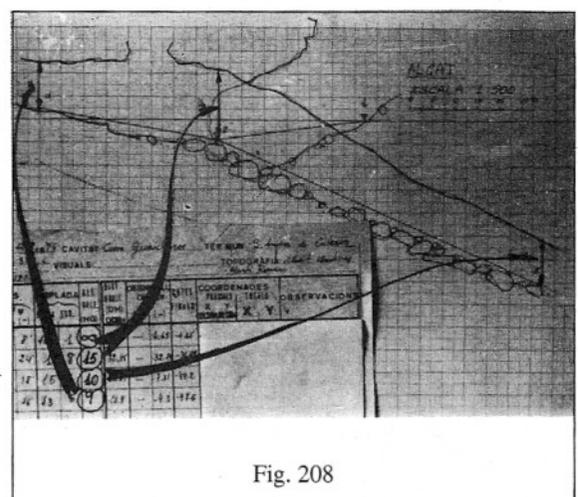
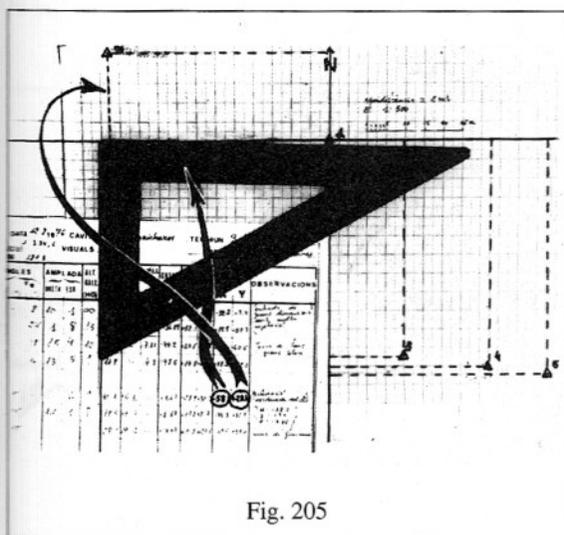
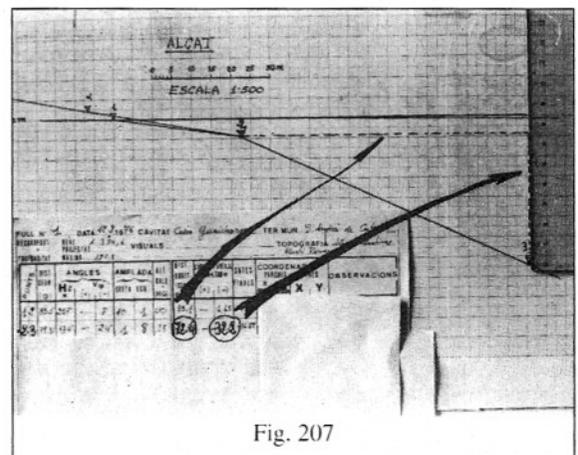
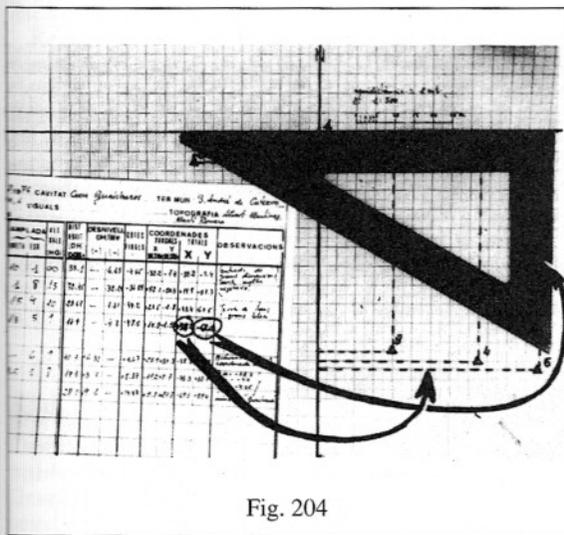
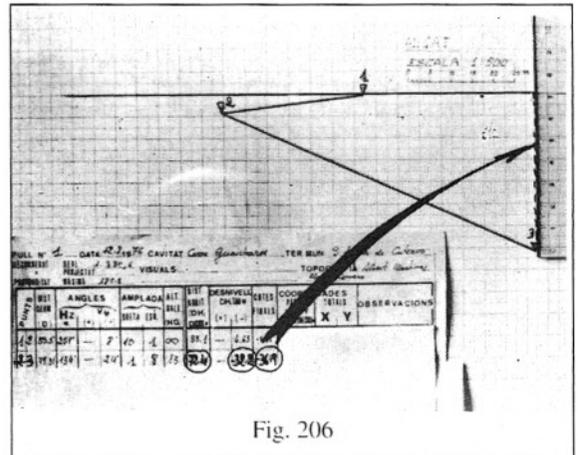
Una vez calculadas las coordenadas podemos pasar la topografía a la escala conveniente. Si utilizamos papel milimetrado es muy sencillo hallar cada punto directamente con la ayuda de una regla o escalímetro (fig. 203).

Si no, utilizamos una regla y una escuadra. En la fig. 205 tenemos un ejemplo donde podemos ver la situación de los puntos por coordenadas en una bifurcación. Con este sistema tenemos la ventaja de poder efectuar una topografía a escala pequeña rápidamente, cogiendo los puntos característicos (bifurcaciones, curvas que resaltan, etc.) sin tener necesidad de dibujar todos los tramos de la poligonal, que a una escala pequeña sería casi imposible.



a.2.5. DIBUJO DEL ALZADO

Al igual que en la planta, utilizando un papel milimetrado, en las líneas horizontales ponemos la (Dh) y en las verticales el desnivel (Z), que ya tenemos calculado (fig. 206, 207, 208).



a.2.6. CONCLUSIONES

1. La utilización de este sistema es indispensable para poligonales de lados de más de 50 m.
2. También es indispensable para grandes cavidades o trabajos de una cierta precisión.
3. En cualquier momento podemos saber las coordenadas de cualquier punto de la cavidad. Muy útil para relacionar diferentes cavidades o galerías y situarlo en el plano topográfico.
4. En un gran complejo subterráneo donde trabajan equipos diferentes de topografía, utilizando las libretas topográficas y calculando las coordenadas, se unifica el trabajo de coordinación y archivo de datos, evitándose los típicos problemas en estos casos.
5. Facilita la elaboración de los alzados proyectados en un plano y las representaciones tridimensionales.

a.3. ALZADOS PROYECTADOS

El tipo de alzado que hemos visto hasta ahora es el **desarrollado**, como si cogiésemos un acordeón y lo estirásemos. Pero este sistema no es correcto si queremos comprobar si dos cavidades están próximas entre sí, comunicación de pozos, etc. (fig. 209), o situar varias cavidades en el alzado.

En estos casos se utiliza el **alzado proyectado**, que es como una «planta», pero del alzado. Se trata de proyectarlo al plano que más nos interesa. Normalmente será un plano según la dirección principal de la cavidad.

Primero calcularemos los desniveles según la fórmula (6) o (7). Seguidamente sobre la planta trazaremos la

línea que será el plano por donde vamos a proyectar el alzado. (fig. 209). Trazamos perpendiculares a esta línea hasta cada punto de la poligonal, y obtendremos unas nuevas distancias horizontales (a' , b' , c' ,...).

Sólo falta hacer el alzado como se ha explicado en el método mixto, pero en vez de colocar las Dh reales (a , b , c ,...) utilizaremos las que hemos hallado ahora (a' , b' , c' ,...) siendo los desniveles los mismos.

Debemos tener en cuenta que nos dará una visión extraña del alzado, ya que las pendientes no son las reales, puesto que las partes que sean muy oblicuas al plano de proyección, casi no tendrán representación, acentuando la pendiente. En la fig. 209 vemos dos cavidades próximas; el alzado desarrollado los separa; en cambio el proyectado, a pesar de parecer deformado, nos indica realmente que las dos cavidades son próximas.

a.4. INSTRUMENTOS DE CALCULO

En caso de utilizar métodos matemáticos, es imprescindible el uso de aparatos de cálculo.

a.4.1. CALCULADORAS

En el mercado existe una gran gama de calculadoras, que desde modelos muy económicos nos resuelven las operaciones con gran eficacia. Las más sencillas (las cuatro operaciones) nos facilitan los cálculos, pero debemos buscar los valores trigonométricos en las tablas.

Lo más corriente es disponer de una calculadora «científica» que llevan incorporadas las funciones trigonomé-

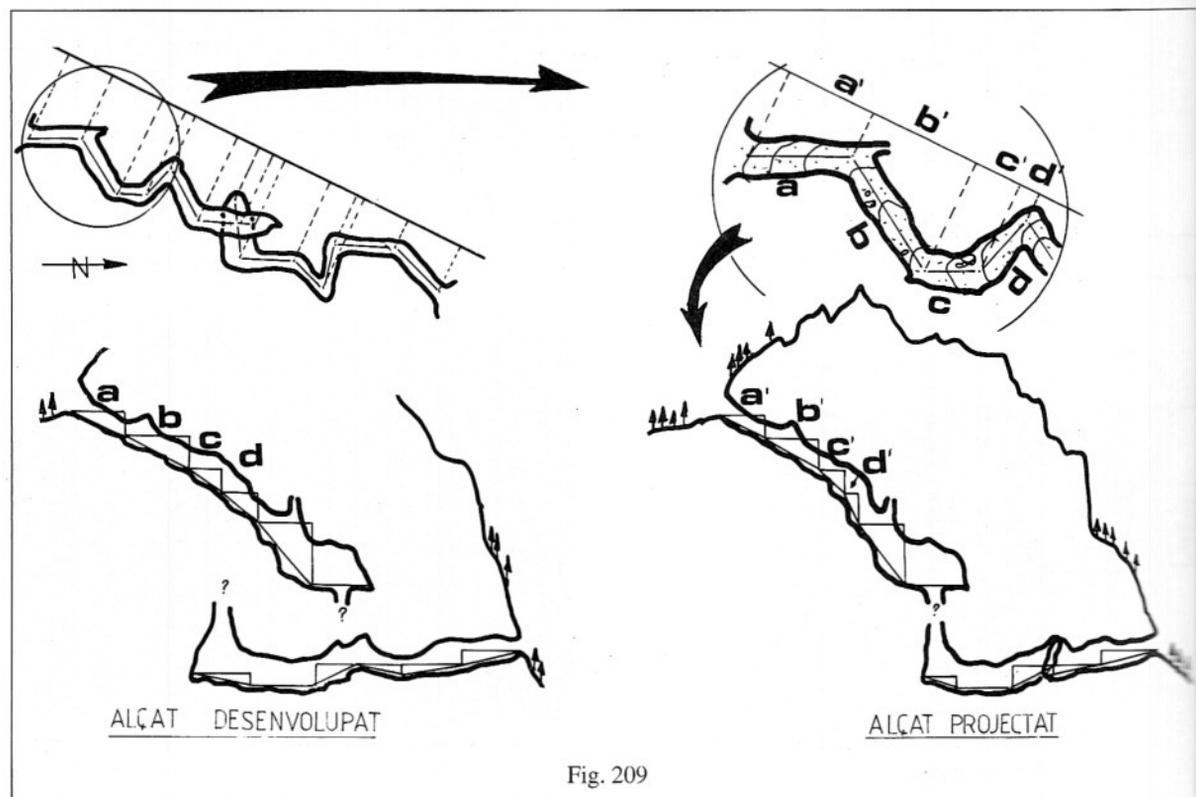


Fig. 209

tricas. Estas son las más adecuadas para cálculos de coordenadas. Las casas Cassio, Hewlett Packard y Texas Instruments disponen de una amplia gama de modelos.

Las mismas casas fabrican modelos más completos que se pueden programar como si fuesen pequeñas computadoras. Algunas disponen de unas pequeñas tarjetas donde se escribe el programa, otras se graban los programas en cintas magnetofónicas.

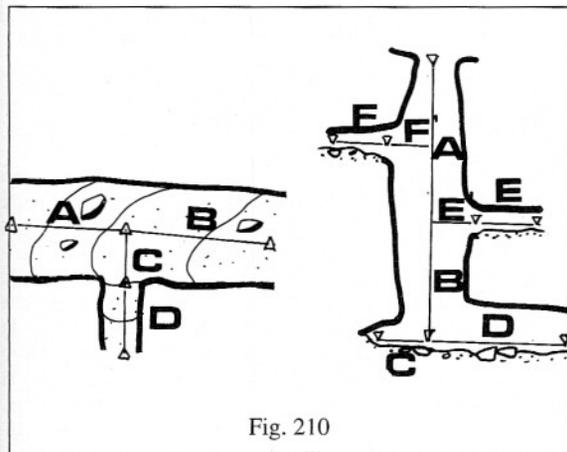
C2 b) LAS DIMENSIONES DE LAS CAVIDADES

Una vez topografiadas las cavidades podemos saber sus medidas ya sea la longitud de punta a punta, espacio que ocupa, profundidad, etc. Evidentemente en cada caso nos pueden interesar unos datos u otros, pero en términos generales los parámetros que más se utilizan para «clasificar» la cavidad, muchas veces con un concepto erróneo de «más importante o menos» en su **recorrido** y el **desnivel** (o profundidad), muchas veces menospreciando un posible interés arqueológico, biológico o hasta hidrológico.

Realmente el concepto de magnitud de una cavidad no vendrá dado solamente por estos datos, ya que reducen la cavidad a dos dimensiones, por tanto hablando en tres dimensiones el dato más aproximado a la realidad es el del volumen, pero debido a que no es fácil de calcularlo, y lo que realmente interesa al calificar la cavidad es la dificultad que pueda conllevar bajo el punto de vista del esfuerzo humano, el volumen se calcula tan sólo en grandes salas o grandes pozos.

b.1. EL RECORRIDO

Existe una polémica acerca de los criterios sobre los que se debe calcular. Hay dos puntos de vista: el **principio de continuidad** (III Congreso Internacional Espeleología en Viena 1961) y el **principio de discontinuidad** (XII Congreso Internacional Espeleología en Grasse 1976). El primero considera que el recorrido es la suma de los segmentos $A + B + C + D$ o $A + B + C + D + E' + E + F' + F$ (Fig. 120). El segundo considera que es la suma de $A + B + D$ y $A + B + D + E + F$.



Evidentemente se puede adoptar una de las dos soluciones, pero creemos que el concepto más válido es el de la **continuidad**, ya que al topografiar una cavidad lo que se intenta es cuantificar la dificultad, y lo que más se aproxima lo que es la suma de la distancia real de todos los segmentos, (no la horizontal), ya que es el que más se acerca al recorrido real que efectúa el espeleólogo, incluyendo los pozos, resaltes, itinerarios en los caos de bloques, etc. (fig. 211). Resumiendo, podemos considerar como «recorrido real» la suma de las distancias geométricas de la poligonal de la cavidad. Si queremos utilizar el término «recorrido proyectado», utilizaremos las distancias horizontales. Siempre debemos especificar de qué tipo de recorrido se trata y la fecha, ya que éste puede ser susceptible de modificarse (desprendimientos, colmataciones de sedimentos, etc.).

b.2. EL DESNIVEL

Como se ha visto, es la distancia en vertical desde el punto más alto al más bajo de la cavidad. Es un dato equivalente a la altura de las montañas, que corresponde a la consecuencia de la ley física de la gravedad que es la que nos indica la verticalidad y la horizontalidad.

En el caso de las simas, la cota cero, es el labio inferior de la entrada.

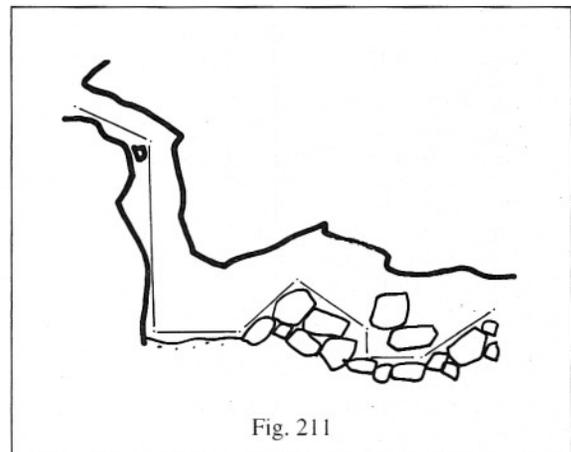
C2 c) DIBUJO FINAL

c.1. CONSIDERACIONES GENERALES

Una vez realizado el dibujo de la topografía en papel milimetrado se pasa a la última fase, que es el calcado en **papel vegetal**, utilizando tinta china.

– Es importante realizar un buen trabajo de dibujo, limpio y claro, ya que ofrece muchas más garantías que una topografía mal presentada.

– Como el tamaño debe ser proporcional según unas medidas estandar, es necesario realizar una buena composición de los elementos que componen la topografía (planta, alzado, secciones, escala, norte, nombre, etc.).



– El tamaño debe ajustarse a las normas Din o múltiple de estas, ya que al doblarlas queden siempre en tamaño Din A-4. Los formatos principales son:

Din A-0 840 x 1198 mm

Din A-1 594 x 840 mm

Din A-2 420 x 594 mm

Din A-3 297 x 420 mm

Din A-4 210 x 297 mm

– Puede haber formatos extraños, pero una vez doblados nos dan el Din A-4. Por ejemplo, una topografía alargada de 297 mm. de alto por 1050 mm. de largo (210 x 5 = 1050).

– Debemos simplificar al máximo la topografía y los signos, y facilitar su comprensión, ya que irá destinada a personas que desconocen la cavidad. Una topografía bien hecha pero incomprensible es un trabajo hecho en vano.

– No cargar excesivamente con signos la planta.

– En los alzados despazados, o plantas desplazadas, poner siempre líneas discontinuas que unan los puntos comunes.

c.2. DATOS IMPRESCINDIBLES

1. Nombre de la cavidad, debemos respetar al máximo el nombre utilizado por los habitantes del lugar. En caso de no tener nombre, utilizar la toponimia del lugar, o alguna característica especial de la cavidad. También podemos enumerarla según una clave determinada.

2. Municipio donde se abre la boca.

3. Provincia

4. Nombre de los autores y grupo al que pertenecen.

5. Fecha del levantamiento.

6. Orientación. Es necesario precisar qué tipo de Norte se trata (Nm), magnético; (Ng) geográfico; (N1) Lambert, y la declinación si se conoce.

7. Escala grafica.

Un dato aconsejable es el **recorrido**, especificando de qué tipo es.

c.3. UTENSILIOS DE DIBUJO

– El **papel vegetal**: es un papel semitransparente que nos permite hacer copias por transparencia. Con un máximo de ancho de 1,10 m. puede ser hasta 20 m. de largo. Tiene la ventaja de poder corregir las equivocaciones o manchas de tinta mediante un raspado con una hoja de afeitar o estilete. El inconveniente es que puede deformarse, para evitarlo es recomendable utilizar papel de poliéster.

Es posible también efectuar **contravegetales**, que es una copia por transparencia, pero en vez de papel es otro vegetal con las mismas características que el original.

– La tinta: es de color negro y de tipo «tinta china».

– Los útiles para dibujar son tipo, «Rotring», «Staedtler», «Faber-Castell», etc.

– Aparatos auxiliares como reglas, escalímetros, escuadras, compases, etc.

c.4. ROTULACION

Normalmente se utilizan plantillas especiales. Hay de dos tipos: las directas y las indirectas, según se trate de

una plantilla que se ha vaciado de letras y grafismos directamente cada letra, o mediante unas palancas que por un extremo se sigue la letra con un estilete y por la otra la dibuja. El tamaño va en función de la importancia del rótulo y del tamaño de la topografía.

También se utilizan letras autoadhesivas (Letraset, Decadry, etc.). Son unas hojas con las letras de determinado tipo, que al pasar un lápiz por encima quedan adheridas el papel. Existe una gran diversidad de tipos y tamaños. (Fig. 212).

c.5. TAMAÑOS DE GROSOR DE LAS LINEAS

En la fig. 213 podemos ver la disminución de los tamaños según la reducción que sufra el original. Esto nos puede servir de guía para decidir los gruesos y densidades de puntos, sabiendo la reducción que tendrá la topografía.

Al pasar la topografía es importante saber escoger el tamaño de grosor de las líneas, teniendo en cuenta la posible reducción de las mismas. Sobre todo en grandes cavidades, donde los originales pueden tener gran tamaño, al publicarla la topografía tiene que ser reducida disminuyendo todos los gruesos y letras; así como las densidades de los puntuados de los sedimentos u otros signos, con el peligro de que desaparezcan las líneas finas y que las letras pequeñas no se lean si se reduce mucho el original.

En el cuadro siguiente vemos los grosores más utilizados en función del tamaño de la cavidad.

	TOPOGRAFIAS		
	normales	grandes	mu. grandes
Curvas de nivel Sedimentos Líneas de sección Estratos, etc.	0,2	0,3	0,4
Bloques Signo de pozo Línea de tierra de sedimentos en alzado	0,4	0,5	0,5
Contornos roca madre Concreciones, etc.	0,8	1	1,2

c.6. TÉCNICAS ESPECIALES. DIBUJO TRIDIMENSIONAL

A menudo la representación normal de una cavidad en dos dimensiones, hace un poco difícil la comprensión de la estructura general de la misma. Por este motivo, un buen complemento es la representación en tres dimensiones, o sea, como una vista en perspectiva de la cavidad. Esto nos plantea un problema que es lo que vamos a representar, ya que la cavidad es un vacío dentro de la montaña. Marbach (1972) lo resolvió haciendo el gráfico de lo que representa el negativo del vacío, o sea, como si llenásemos la cavidad de yeso y después lo sacásemos. Para utilizar este método debemos seguir unos procedi-

N ^{os}	PAGINA PÁGINA	CARATTERI • CARACTERES	N ^{os}	PAGINA PÁGINA	CARATTERI • CARACTERES
1	28	Garamont	34	35	Jeannette
2	28	Garamont	35	37	GRAPHIQUE
3	12	Antique	36	38	Polka
4	12	Antique	37	37	GOTHIC-OUTLINE
5	13	Mercator	38	21	Eurostile
6	13	Mercator	39	20	Eurostile
7	31	Promotor	40	30	AUGUSTEA
8	14	Folio-Caravelle	41	30	AUGUSTEA
9	13	Folio-Caravelle	42	33	Egizio
10	14	Folio-Caravelle	43	38	Estro
11	15	Folio-Caravelle	44	33	Times Bold
12	31	Volta	45	22	Univers 45
13	31	Volta	46	22	<i>Univers 46</i>
14	31	Volta	49	22	Univers 49
15	16	Futura	50	33	TIMES BOLD TITLING
16	17	Futura	51	33	<i>Times Bold</i>
17	17	Futura	52	26	Sans Serifs n°7
18	37	Pascal	55	23	Univers 55
19	33	Bodoni	56	25	<i>Univers 56</i>
20	18	Neuzeit-Grotesk	57	24	Univers 57
21	20	Antique Annonce	60	26	Grotesque n°9
22	19	Haas-Helvetica	61	37	Play Bill
23	18	Haas-Helvetica	62	37	TIORNE SHADED
24	28	Diethelm Antiqua	65	24	Univers 65
25	33	Clarendon	66	22	<i>Univers 66</i>
26	30	Caslon-Antiqua	67	25	Univers 67
27	15	Folio-Caravelle	68	25	<i>Univers 68</i>
28	16	Folio-Caravelle	70	38	PROFIL
29	20	Kombi	71	16	Folio-Caravelle
30	29	Baskerville	72	26	Akzidenz Grotesk
31	29	<i>Baskerville</i>	75	26	Univers 75
32	29	Baskerville	76	23	<i>Univers 76</i>
33	31	<i>Ratio</i>	77	27	Akzidenz Grotesk

Fig. 212

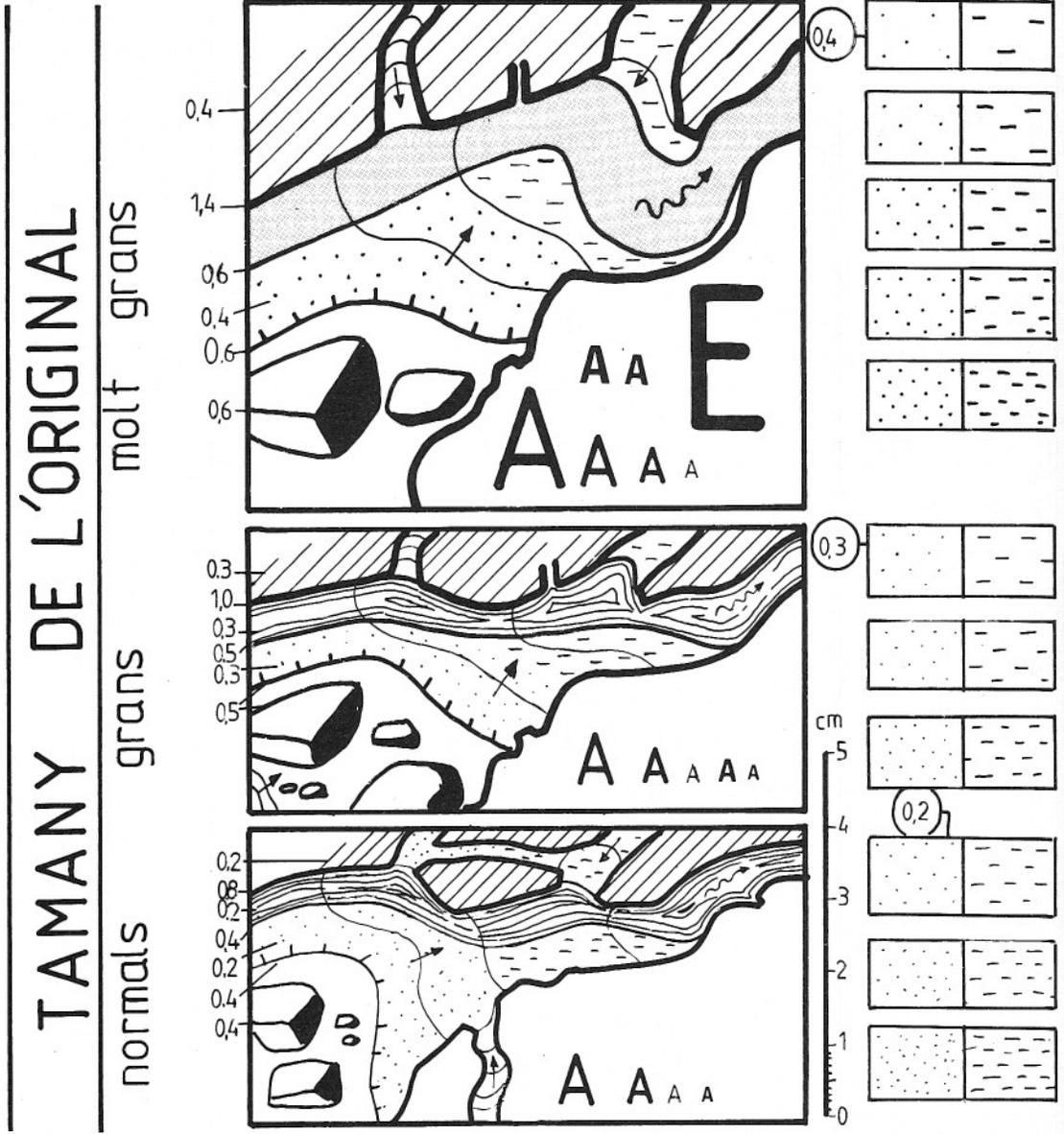


Fig. 213

mientos típicos de la geometría descriptiva, y sobre todo tener mucha imaginación y conocer bien la cavidad para poder darle la forma más parecida a la realidad.

c.6.1. ÁNGULOS:

En primer lugar, lo que debemos saber es la configuración de la cavidad y decidir desde qué punto de vista la queremos representar. Esto es muy importante para no tener sorpresas, como es el hecho que en algunos casos, puntos importantes de la cavidad queden ocultos.

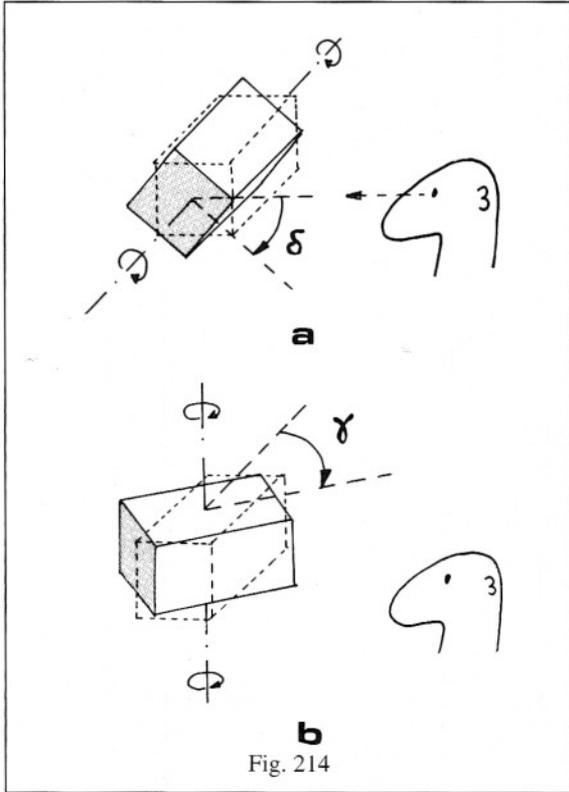


Fig. 214

En la fig. 214, vemos que al mirar un paralelepípedo tiene dos ángulos (δ , γ) que según tengan un valor u otro nos modifica la forma que vemos. Si giramos el ángulo δ vemos, o una sola cara o dos. Si giramos el ángulo γ , también pasaremos de ver una sola cara a ver las dos. Si combinamos los dos ángulos veremos el paralelepípedo de formas diferentes. Para comprender mejor esto podemos ver la fig. 215, donde se ha representado un cubo. En horizontal hay valores de γ de 8° a 90° y en vertical δ de 0° a 90° . Podemos apreciar de una forma práctica como vemos un cubo puesto delante nuestro y que lo vamos girando en vertical u horizontal, según los ángulos de la tabla 215. Vemos como en algunos casos solo vemos una cara o la otra.

Cogemos la topografía de la cavidad y imaginamos que los ejes x, y de las coordenadas son las paredes de un cubo grande, y que la cavidad está dentro. Entonces debemos decidir que ángulos γ y δ son los más adecuados. En la fig. 216 hay una tabla parecida a la 215, pero

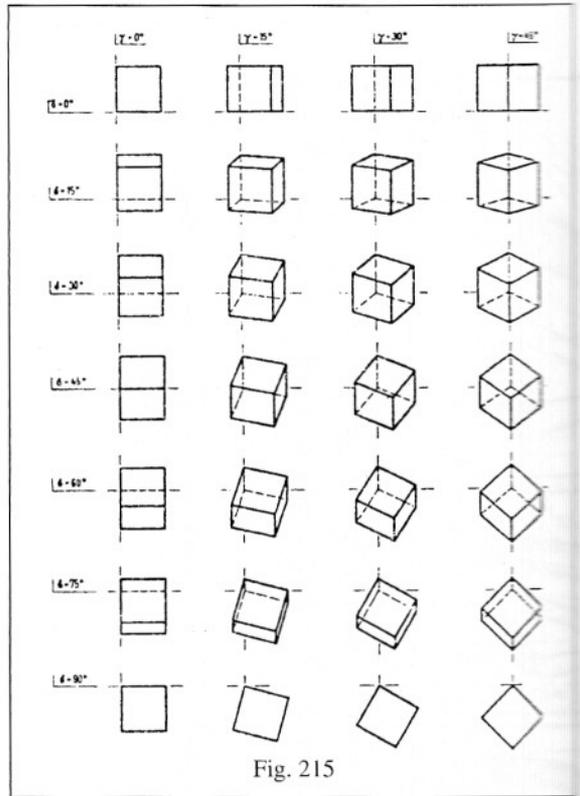


Fig. 215

con una cavidad. Podemos ver perfectamente que según estos valores la forma de la cavidad varía, por tanto buscaríamos la forma más interesante y utilizaríamos estos valores de γ y δ . Cuando $\delta = 90^\circ$, es como una planta, visto desde arriba. Al cambiar la γ , la cavidad gira y varía la visión de algunas galerías. Al cambiar los dos ángulos podemos hallar la posición donde vemos mejor las galerías laterales sin llegar a tapar las verticales (al aumentar la δ parece que los pozos se van haciendo más cortos).

c.6.2. CONSTRUCCION DE LOS EJES

1. Debemos tener la topografía de la cavidad en planta.
2. Tener las coordenadas de todos los puntos.
3. Cambiar los ejes x-y perpendiculares por los nuevos de la perspectiva, los correspondientes a las dos arista del cubo escogido según los anteriores criterios. Para realizar estos ejes nuevos debemos efectuar la construcción gráfica de la fig. 217 (existen varios métodos, pero éste es el más sencillo).

Hacemos dos ejes perpendiculares x-x' y-y' que se cortan en el O. En un punto cualquiera de y, situamos el punto A, y trazamos una línea paralela a x-x'. A partir de esta línea (con trazos discontinuos en el dibujo), medimos el ángulo γ , y trazamos la línea AB. Hacemos que este segmento tenga una medida exacta arbitraria, por ejemplo tres centímetros, entonces a partir de este lado construimos un cuadrado ABCD, que tenga exactamente 3 cm. de lado. Se proyecta cada vértice al eje y-y' mediante las líneas discontinuas, y nos da tres puntos nuevos C'D'B' y A que no varía. Con un compás cogemos

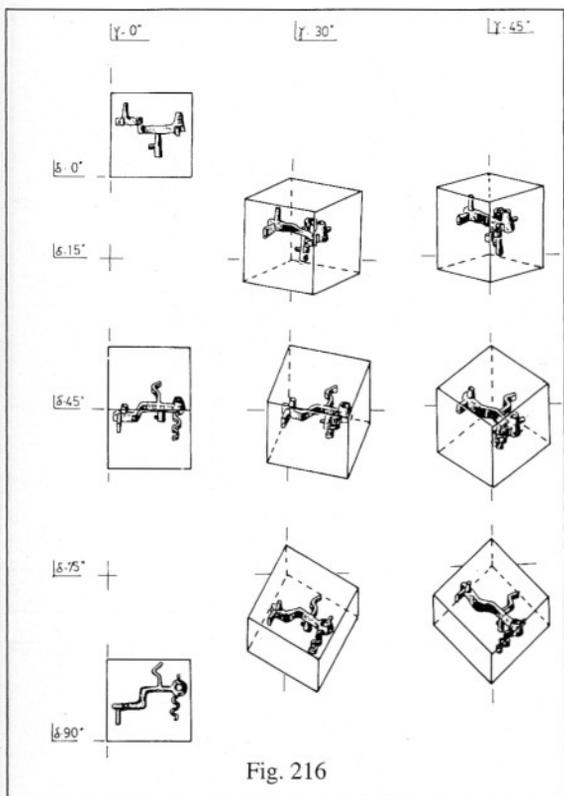


Fig. 216

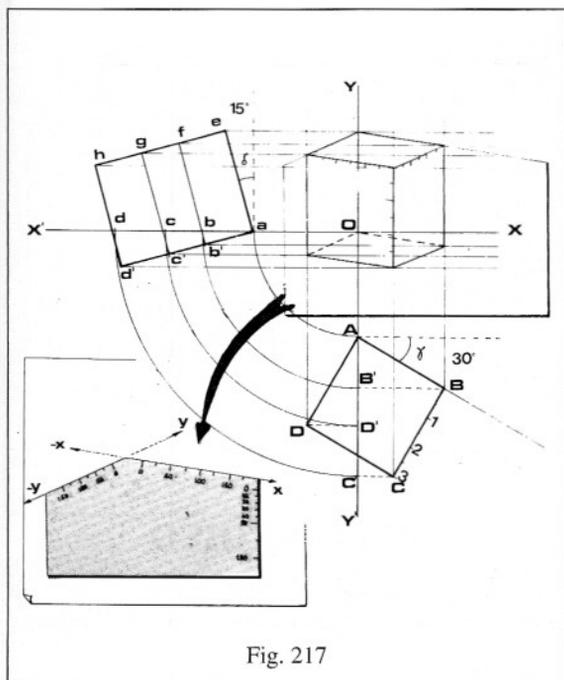


Fig. 217

mos como centro al 0 y trasladamos estos puntos (C'D'B'A) al eje x-x', dándonos los puntos a,b,c,d.

En a, trazamos una línea vertical paralela a y-y', donde situamos el ángulo δ, con la misma medida que hemos utilizado para hacer AB, haremos (ae). Perpendicular a

(ae) trazamos (ad'). Con un compás tomando como centro a, trasladamos b,c,d al segmento perpendicular a (ae) y obtendremos b'c' y d'. Por cada punto dibujamos una perpendicular, y para cerrar la figura solo falta hacer la línea eh, que cortará las perpendiculares dándonos los puntos f,g. Se trazan una serie de paralelas a x-x', por los puntos: h,e,f,g,c',d',b',a; y otras paralelas a y-y' por los puntos: A,B,C,D. Hecho esto, uniendo las intersecciones de las líneas que son el mismo vértice (ver dibujo) nos saldrá el cubo tal como será en la representación tridimensional.

Se mide cada arista del cubo y el resultado será la nueva escala de la topografía. En este caso, al hacer el original de 3 cm., deberemos dividirlo entre tres, y el resultado será equivalente a tres centímetros.

Si hecho el cubo creemos que no es adaptable a nuestra topografía, deberemos repetirlo variando los ángulos g y d, según vemos en el cuadro de la fig. 215.

Los nuevos ejes son la intersección de dos caras del cubo. Para facilitar la situación de los nuevos puntos de la topografía podemos construir con una cartulina esta intersección de ejes (fig. 217), y colocar la escala teniendo en cuenta la reducción de escalas.

En nuestro ejemplo la medida original era 3 cm. Una vez hecho el cubo vemos que x mide 2,6 cm., por tanto la unidad será:

$$\frac{2,6}{x} = \frac{3}{1} \quad x = \frac{2,6}{3} = 0,866 \text{ cm}$$

para y:

$$\frac{1,6}{x} = \frac{3}{1} \quad x = \frac{1,6}{3} = 0,533 \text{ cm}$$

para z:

$$\frac{2,9}{x} = \frac{3}{1} \quad x = \frac{2,9}{3} = 0,966 \text{ cm}$$

(prácticamente no varía)

Si la escala es 1:5000, los 50 m. no serán cada cm., como es normal, sino la medida que hemos hallado para cada eje; lo único que en este caso prácticamente no varía es el vertical o Z.

c.6.3. REALIZACION

1. En un papel blanco dibujamos los dos nuevos ejes tal y como hemos visto (fig. 218).
2. Con la cartulina donde había la escala, vamos marcando sobre los nuevos ejes las coordenadas de los puntos de la topografía, como si fuese una topografía normal, pero en este caso los ejes no son perpendiculares.
3. Se realizan las paralelas a los ejes y se hallan los puntos buscados. Con esto realizamos la poligonal de la planta pero en perspectiva (fig. 219)?
4. En cada punto se sitúa una línea vertical y se coloca el desnivel (Fig. 220).
5. Seguidamente se dibuja la planta más o menos y las secciones que podamos, como si fuese un esqueleto de la cavidad (Fig. 221).

6. Sólo resta llenar la armadura teniendo en cuenta que la luz viene de lado y sombrear adecuadamente (fig. 222). Representar el cubo, o dibujar unas líneas verticales hasta un plano, puede ayudar a dar mejor imagen tridimensional. En el ejemplo de la fig. 222, además hay

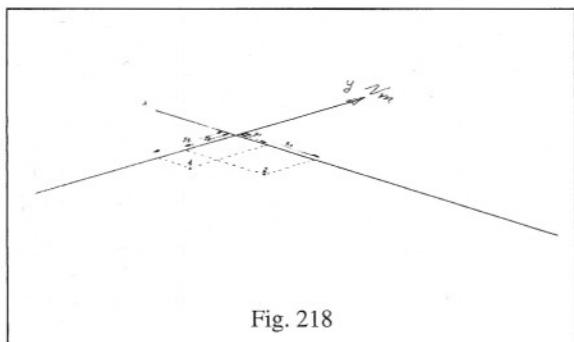


Fig. 218

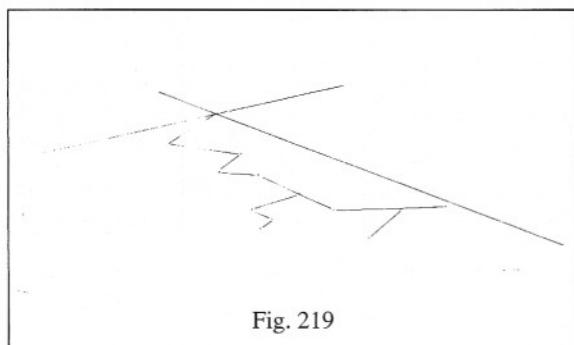


Fig. 219

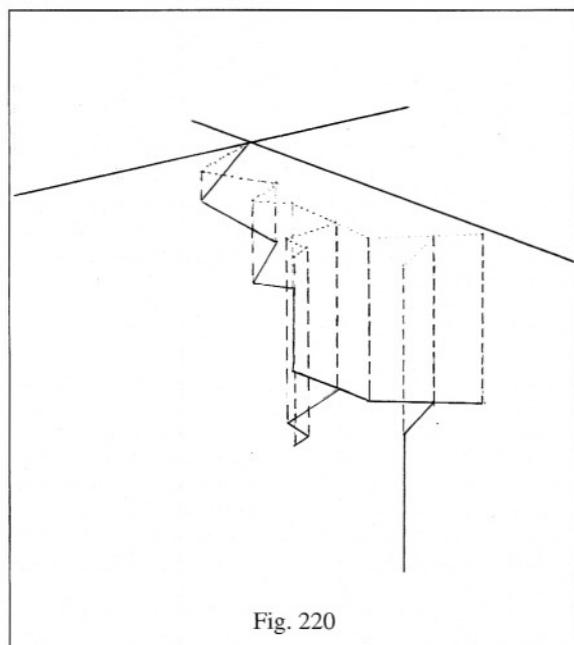


Fig. 220

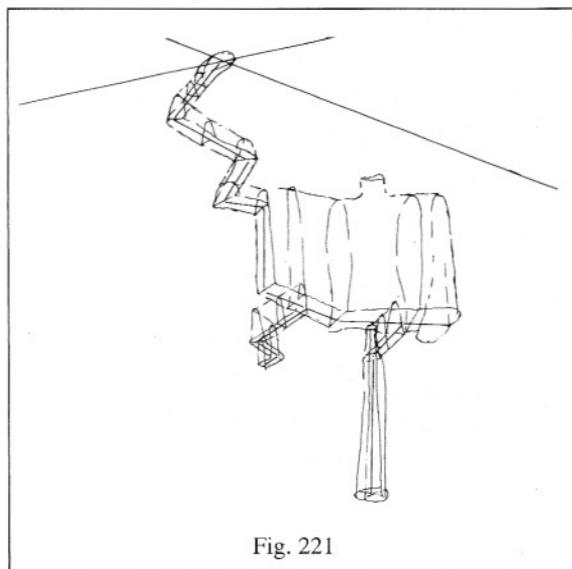


Fig. 221

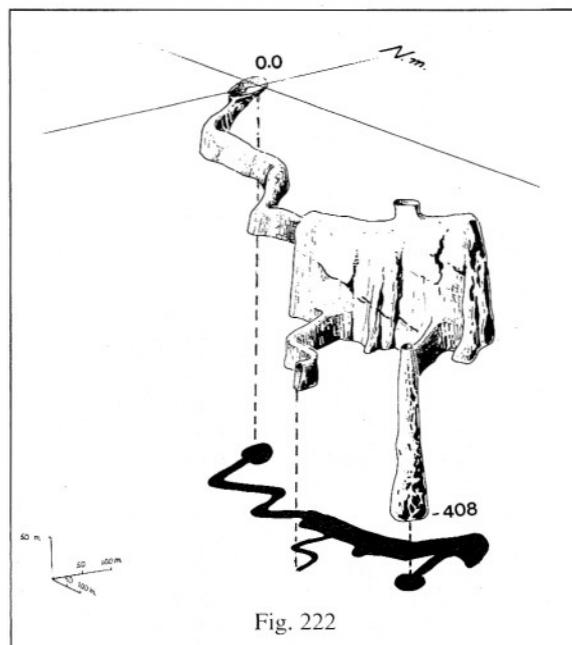


Fig. 222

C2 d) ARCHIVO

Es conveniente guardar los originales de las topografías en condiciones adecuadas. Existen diferentes formas:

d.1. ENROLLADOS

En tubos de cartón y convenientemente clasificados. Tiene el inconveniente que el papel vegetal tiende a deformarse al estar mucho tiempo enrollado. Si se utiliza poliéster, éste se deforma menos.

representada la planta como si fuese una sombra. La fig. 223 es un ejemplo de cavidad alargada con galerías subhorizontales y pozos (Sistema Arañonera, Pirineo de Huesca), y la fig. 224 es una cavidad en forma de espiral con galerías de diversas morfologías (Cuevas de Ninabamba, Perú).

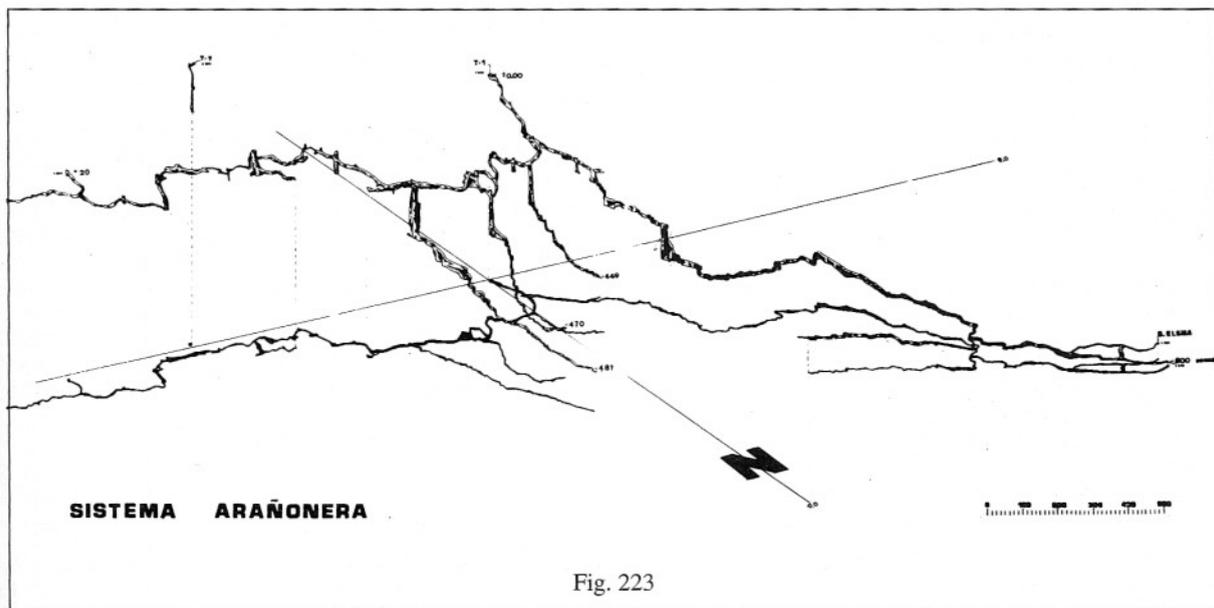


Fig. 223

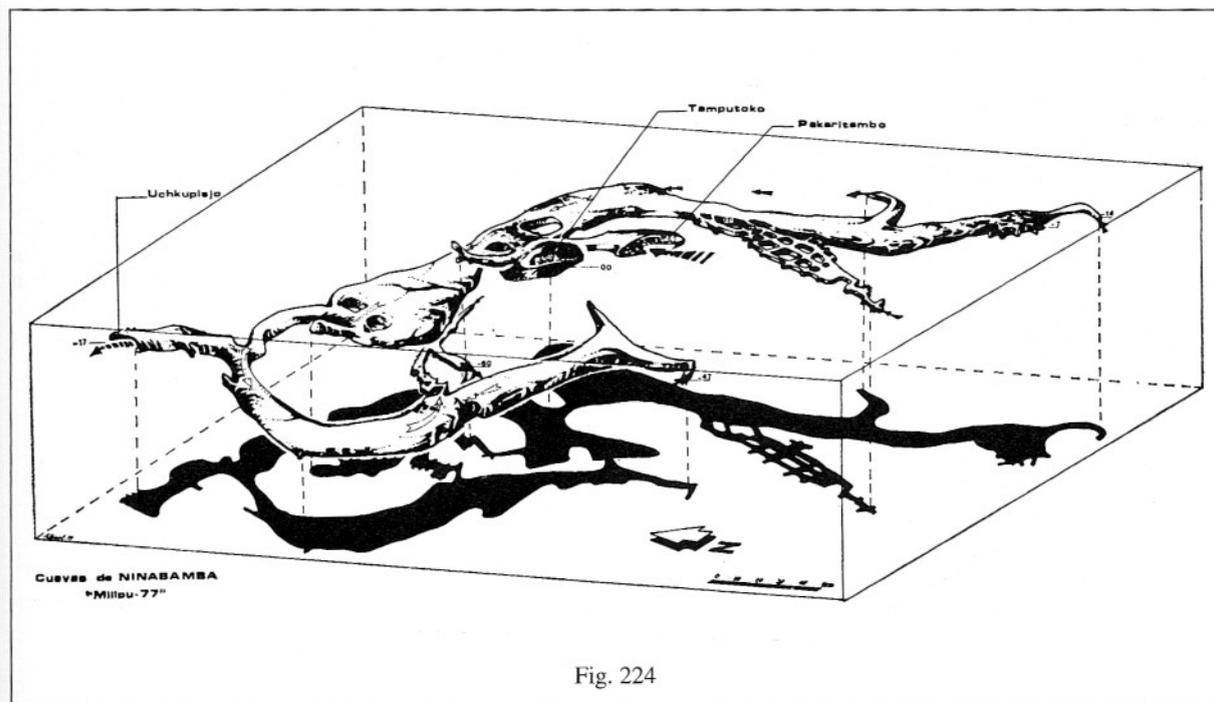


Fig. 224

d.2. ARMARIOS

Pueden ser:

d.2.1. VERTICALES

Como los de tipo «Linde». Son unos armarios con dos barras en las que se colocan unas cintas con dos agujeros, y de las cintas se cuelgan los vegetales que pueden ir haciendo «eses».

d.2.2. HORIZONTALES

Es la mejor forma, pero si tratamos grandes planos es prácticamente imposible hallar un cajón de las mismas dimensiones.

Todas las topografías y sus originales deben tener su ficha. Así se pueden hacer clasificaciones por macizos, comarcas, orden alfabético, etc. según nos convenga.

Es interesante hacer una base de datos con ordenador cruzando diferentes entradas, como puede ser el nombre, lugar, características, etc.

D - CARTOGRAFIAS LOCALES

1. A nivel del Estado español existe el «Instituto Geográfico Nacional», que tiene publicado toda España en hojas a escala 1/50.000, llamado **Mapa Topográfico Nacional de España**. La edición es vieja y está afectada de numerosos errores. Actualmente se está realizando una nueva edición basada en fotogrametría, y se ha conseguido una exactitud bastante notable. También se está evitando hojas de detalle a escala 1/25.000. Existen una serie de hojas equivalentes al Mapa Nacional pero publicado por el servicio geográfico de los EE.UU. de gran precisión, pero tan solo al alcance de organismos oficiales.

Publicaciones de Instituto Geográfico Nacional
General Ibáñez de Ibero 3
Madrid, 3 - Tfno. 233 38 00

2. El «Servicio Geográfico del Ejército» tiene las mismas hojas a escala 1/50.000, con las coordenadas de UTM. Publica las siguientes series:

Serie L:	E: 1/50.000 equidistancia 20 m.
Serie C:	E: 1/100.000 equidistancia a 40 m.
Serie 2C:	E: 1/200.000 equidistancia 100 m.
Serie 4C:	E: 1/400.000 equidistancia 200 m.
Serie 8C:	E: 1/800.000 equidistancia 400 m.
Serie 5V:	E: 1/25.000
Serie 2V:	E: 1/10.000
Mapa de Mando:	E: 1/100.000

3. A nivel local o regional existen numerosos organismos que publican mapas topográficos de la zona, a menudo de gran precisión y claridad. En el caso de los

alrededores de Barcelona existen los mapas del «Área Metropolitana de Barcelona» a escalas 1/10.000 y 1/5.000.

Numerosos municipios disponen del mapa de su zona municipal.

4. Otros mapas de interés pueden ser los mapas excursionistas publicados por la Editorial Alpina y Ed. Montblanc.

5. Fotografías aéreas: se dispone de un vuelo, que abarca toda España realizado el año 1956 a escala 1/30.000, de una gran calidad. La desventaja es que lógicamente, no aparecen los caminos y carreteras actuales. Se pueden conseguir pidiéndolas a:

TEGA S.A.
C/ Cercedilla, 3
Madrid

o bien:

Servicio Geográfico del Ejército
San Sidrian s/n.
Cuatro Vientos (Madrid) - Tfno. 711 50 43

El Instituto Geográfico Nacional dispone de fotografías más modernas a 1:30.000 y escalas más detalladas. Muchos municipios y organismos dependientes de los gobiernos autonómicos disponen de vuelos detallados de ciertas zonas.

E - EJEMPLOS DE TOPOGRAFIAS

- 1.- **Sima de Villaluenga:** Al tratarse de una sima, se ha realizado el alzado y alguna sección. La planta se ha representado solo con la poligonal; ya que tenemos los números en la planta y en el alzado es fácil ver como se dispone especialmente (fig. 225).
- 2.- **Cuevas de Ninabamba (Perú):** Esta cueva tiene una disposición en espiral, quedando un nivel debajo del otro. Esto se ha solucionado realizando la planta del primer nivel y cortándola con un cuadro que se desplaza para representar el nivel inferior en su interior. Es importante señalar los puntos comunes y lo dibujado con trazo más fino del nivel superior en la planta inferior. La colocación de las cotas en la planta nos suple el alzado, ya que sería muy complicado representarlo (fig. 226).
- 3.- **Cueva de la Mata:** Ejemplo característico de una cavidad freática puesto que las galerías forman un enrejado como un laberinto. Las poligonales son cerradas. También se ha efectuado una poligonal exterior para situar la cavidad 3-4. Varias secciones, con la situación del nivel oscilante del agua, completan la topografía. Debemos observar en las secciones las formas típicas de erosión en este tipo de cavidad y el tipo de roca (conglomerados) (fig. 227).
- 4.- **Cueva de los Guaicharos (Perú):** Detalle de una cavidad donde se ha representado unas acumulaciones de sedimentos, tanto en planta como en alzado y sección (fig. 228).
- 5.- **Cova del Gegant:** Detalle de una topografía hecha con precisión para poder situar en ella los restos arqueológicos que se estaban excavando (fig. 229).
- 6.- **Gralleral del Turbón (Sistema Arañonera):** Fracción de la topografía ya reducida de un gran sistema. Solo vemos la planta puesto que el alzado se realizó aparte. Debemos observar la simplificación del interior de la planta: solo signos de sima y curvas de nivel no excesivamente juntas. Numerosas secciones ayudan a comprender la forma de la galería (fig. 230).
- 7.- **El Graller de Castellet:** En esta cavidad se ha realizado la planta y el alzado. Este último al tener cambios fuertes de dirección, se han efectuado superposiciones que no molestan en absoluto su comprensión, sino al contrario. En los pozos principales se ha colocado la anotación P. y la profundidad en metros del pozo, (fig. 231).
- 8.- **G.12-G.22:** Dos ejemplos característicos de simas donde prácticamente solo existen pozos. Se ha representado con el alzado y algunas plantas intermedias. Se ha colocado también la anotación de la profundidad de cada pozo (fig. 232).
- 9.- **Complejo de la Piedra de San Martí:** Representación muy reducida de un gran sistema. En la planta sólo se ha representado la forma de las galerías y de las grandes salas. El alzado es un corte proyectado, para poder situar todas las cavidades y relacionarlas entre ellas (fig. 233).
- 10.- **Cueva-sa del Puig de Marc:** Se trata de una grieta de desprendimiento bastante compleja, ya que los bloques forman diferentes niveles superpuestos. La solución adoptada en este caso, fué realizar dos alzados fraccionados relacionados entre sí. La planta consta de una general, coin otras más pequeñas inferiores en rayas discontinuas, y el desplazamiento de un sector importante que quedaba superpuesto. Para ayudar a su comprensión, se han situado los puntos topográficos en la planta y alzado; letras para situar los alzados y elementos comunes como puede ser un pozo en la planta superior y éste convertido en su proyección en la planta inferior (fig. 234).

SIMA DE VILLALUENGA
SIERRA DEL CAILLO
(VILLALUENGA DEL ROSARIO-CADIZ)

TOP: M. ROMERO, P. BLANCH
AMB. C. RIBERA, M. D. ROMERO,
M. P. GUERRA, M. CANALS
DIB: P. CANTONS

E.R.E.-c.e.p. 27-7-70

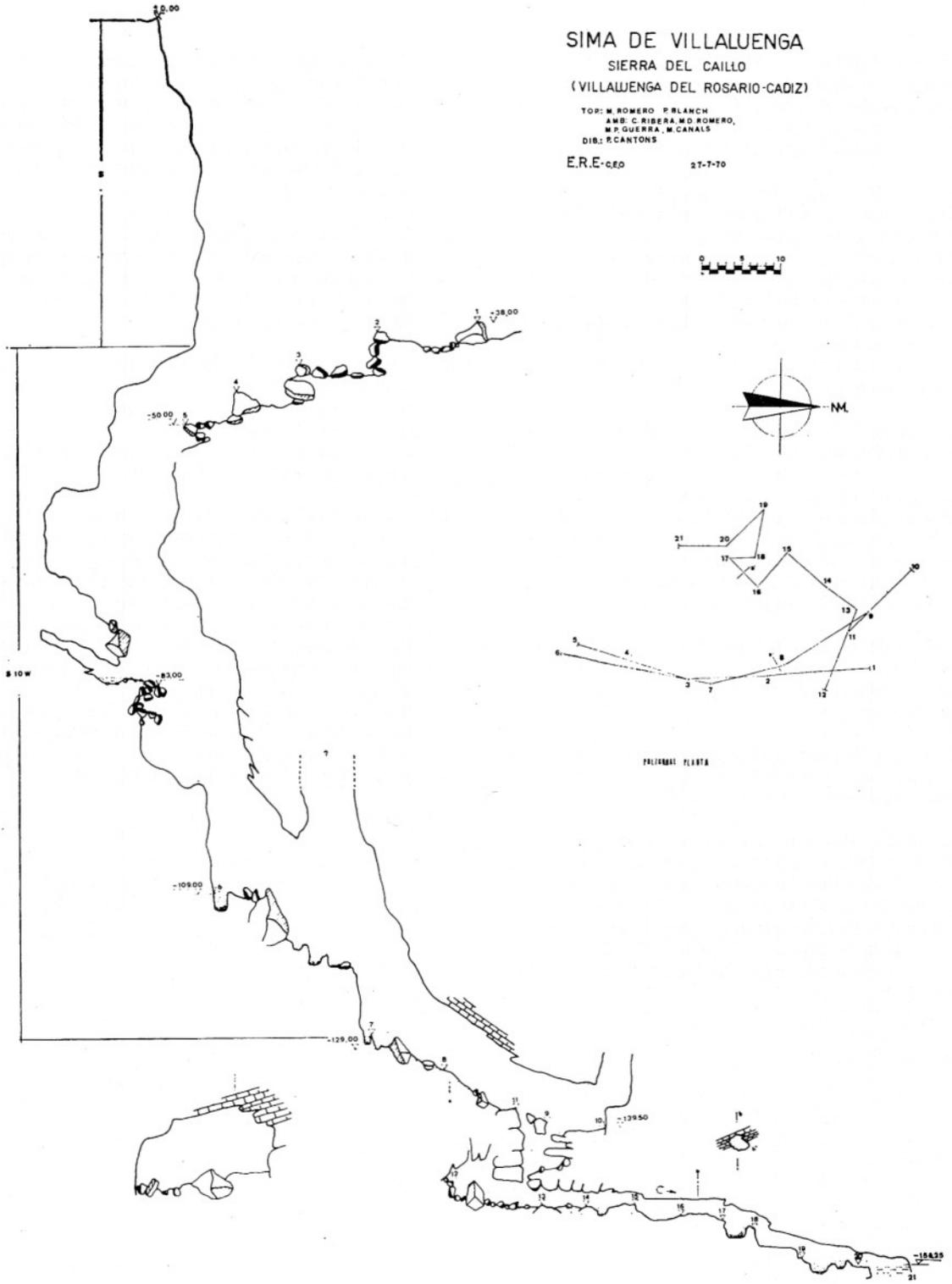
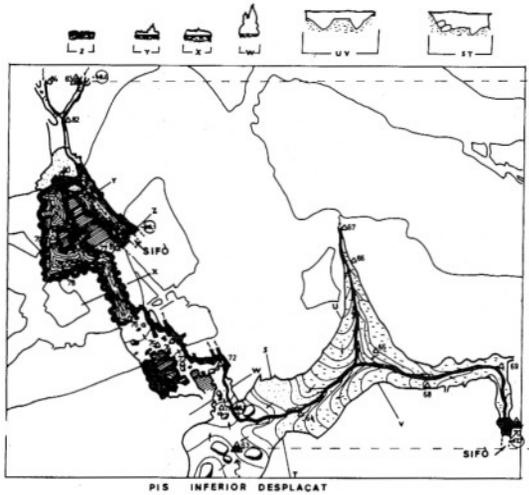


Fig. 225



CUEVAS DE NINABAMBA PERÚ

EXPEDICIÓ MILLPU-77 ERE-CEC

AGOST-77

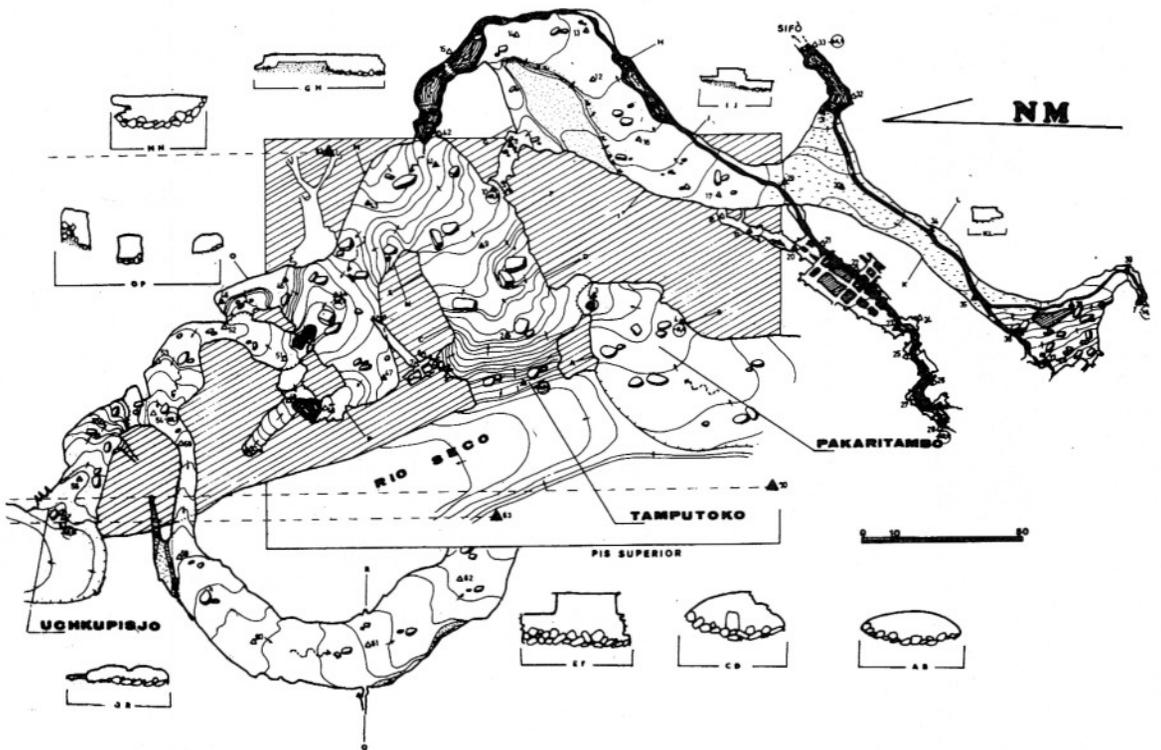


Fig. 226

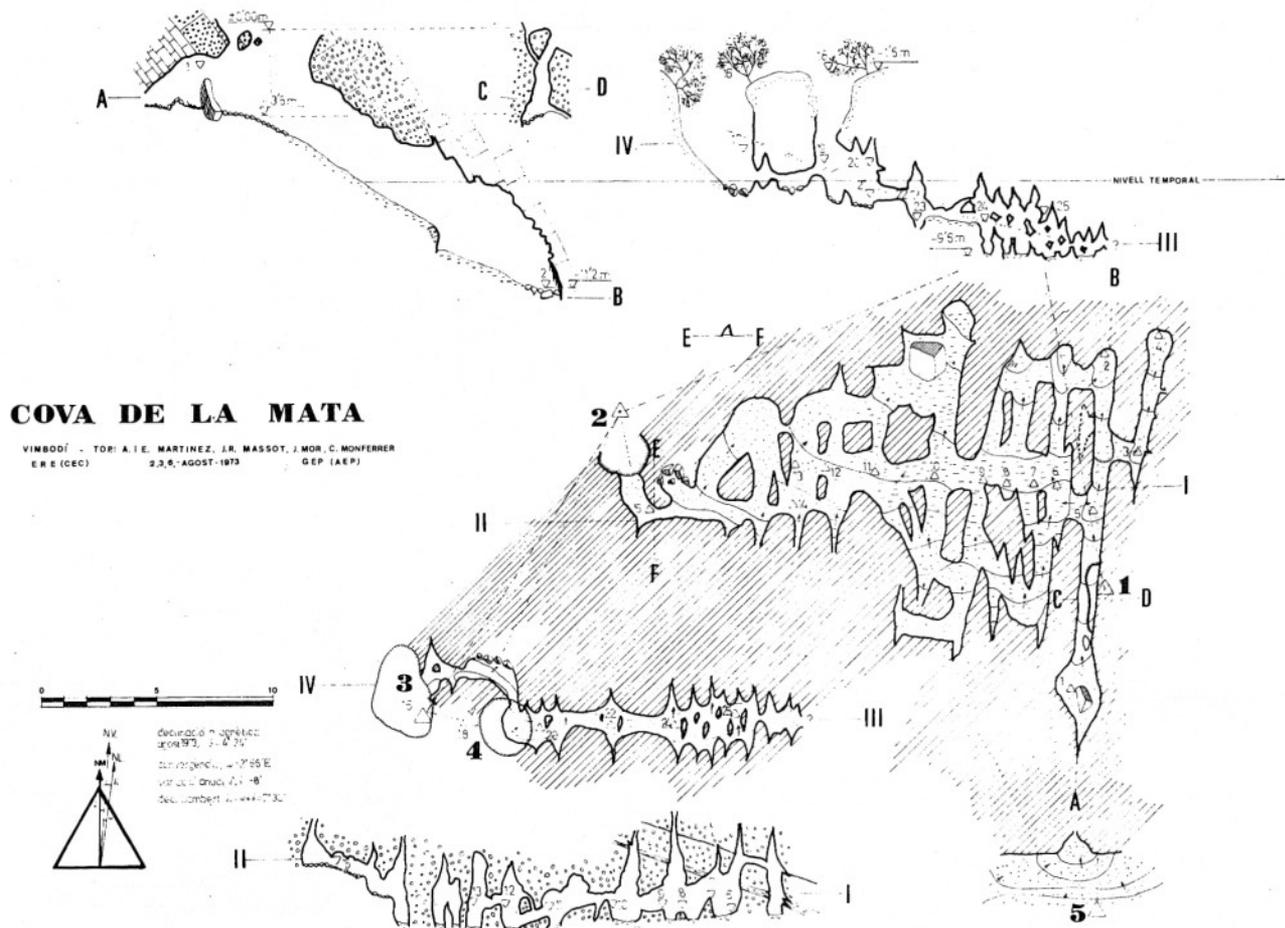
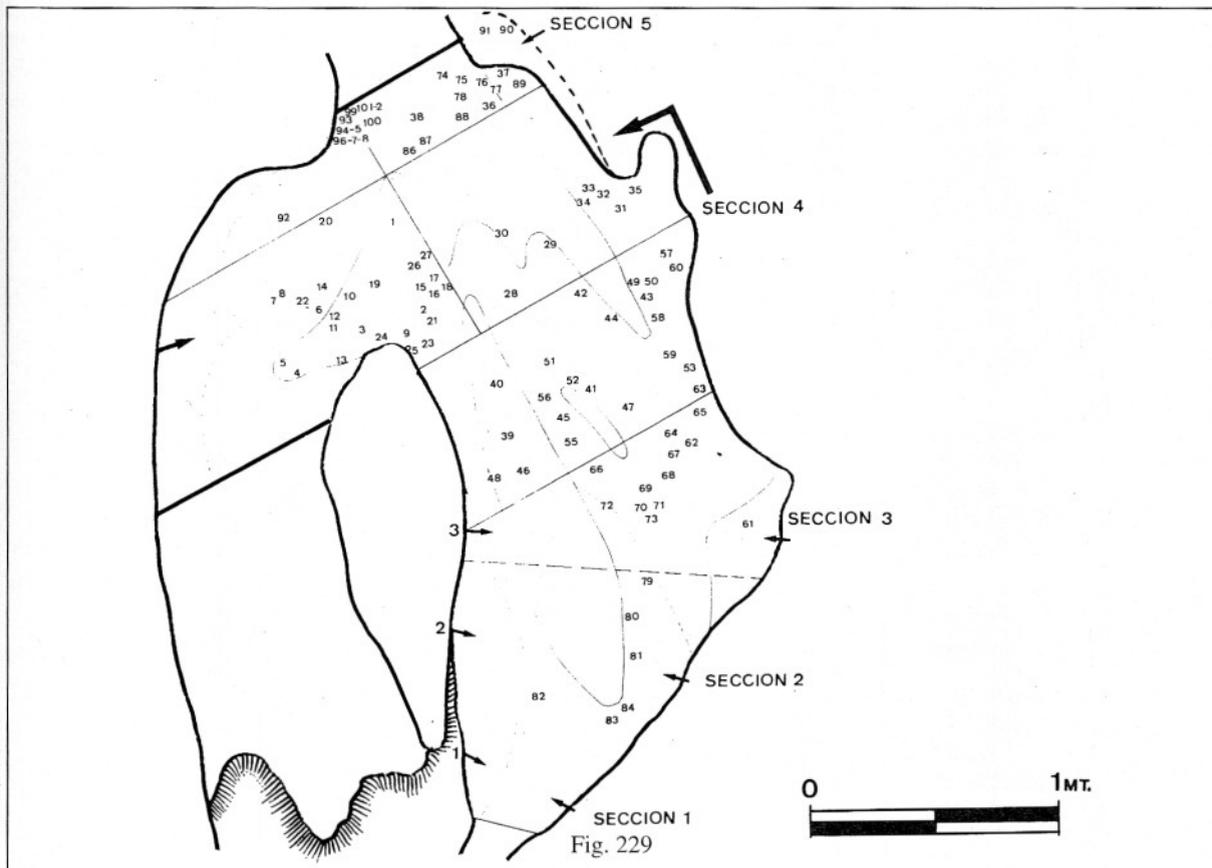
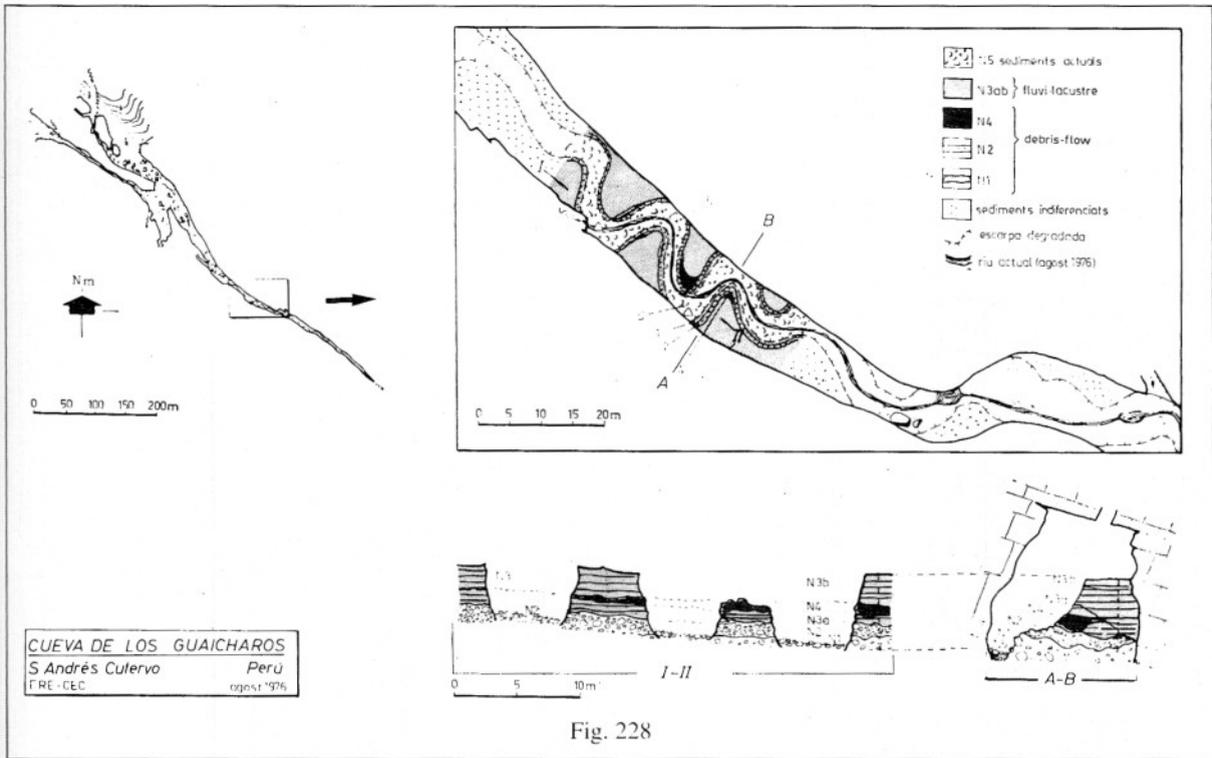
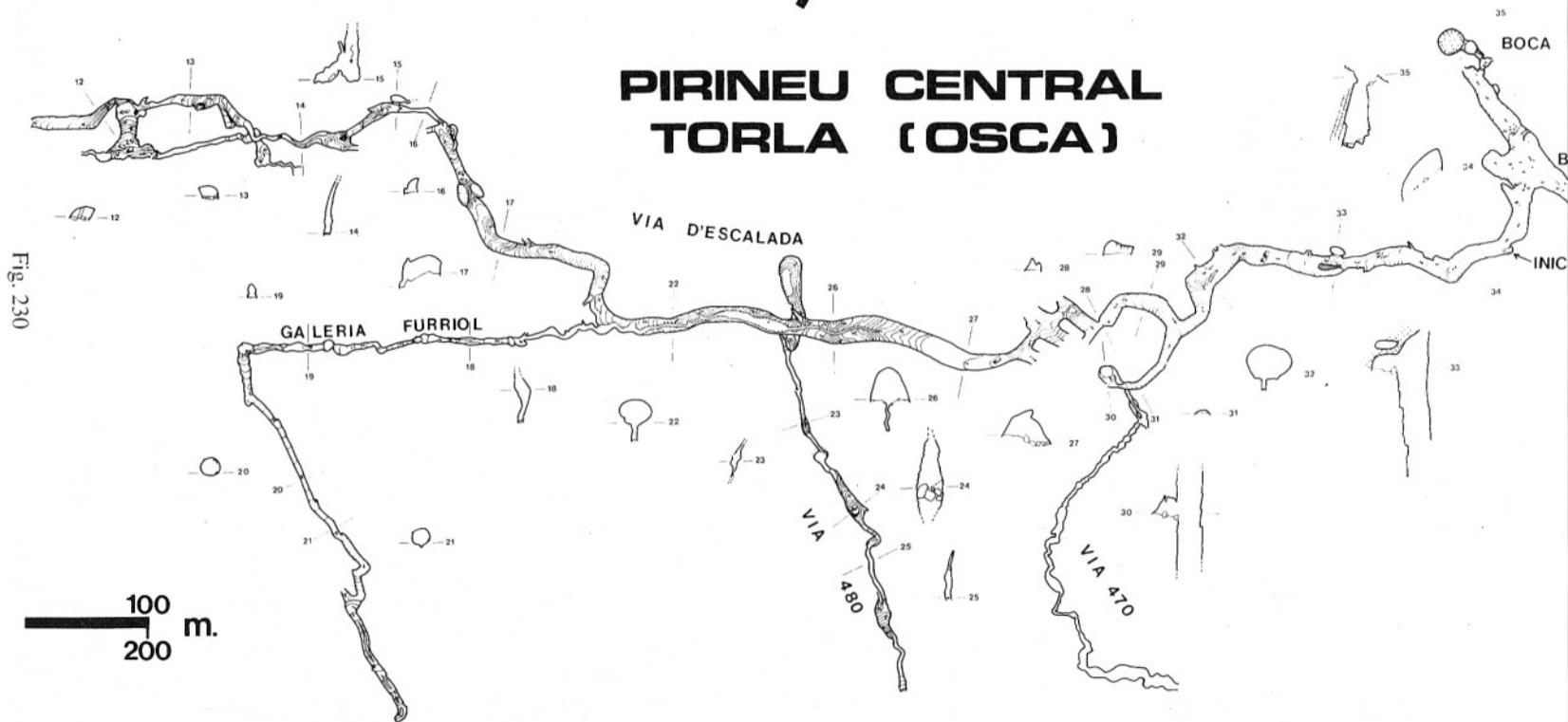


Fig. 227



llera del turbón) sistema arañó



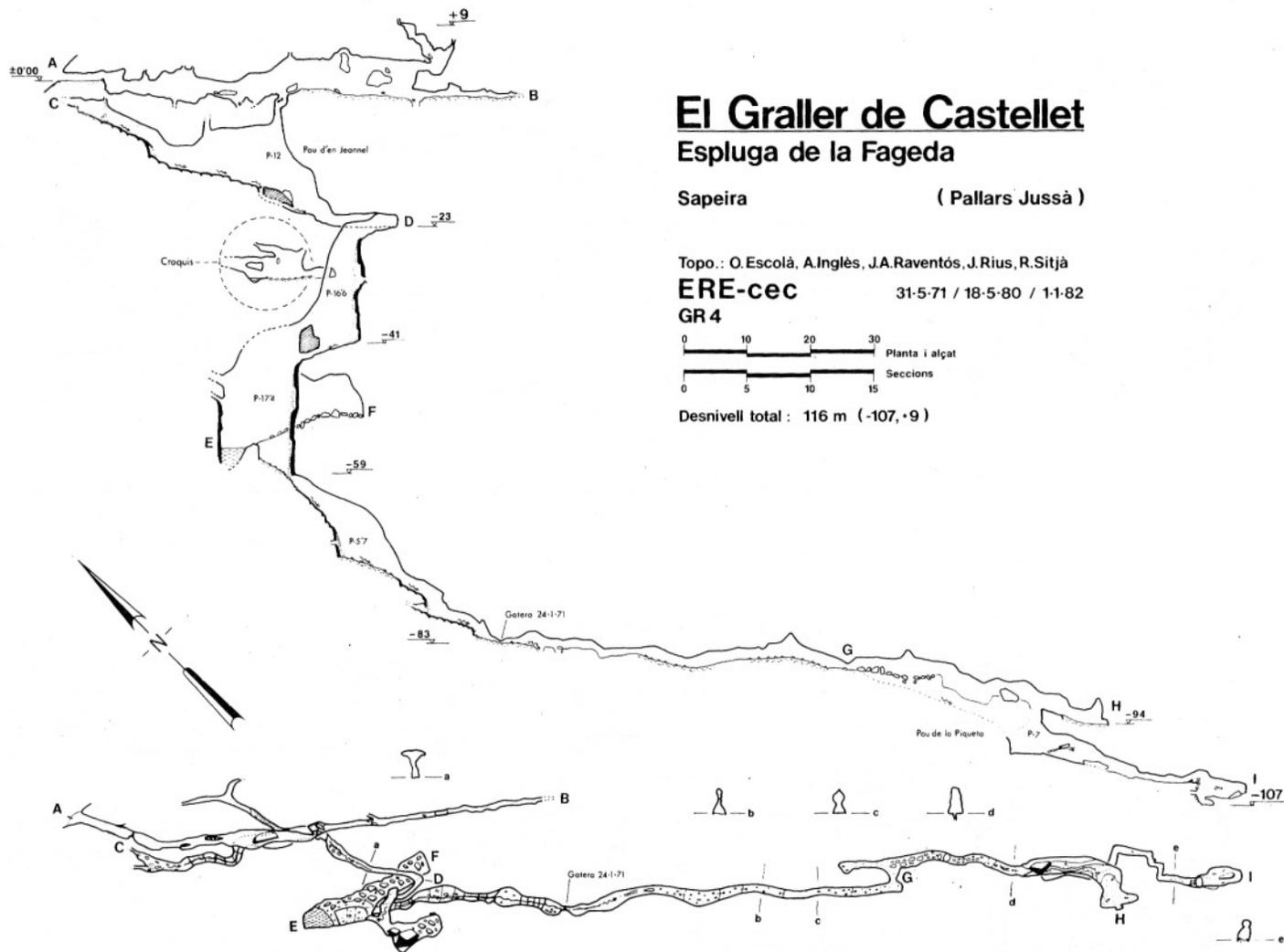
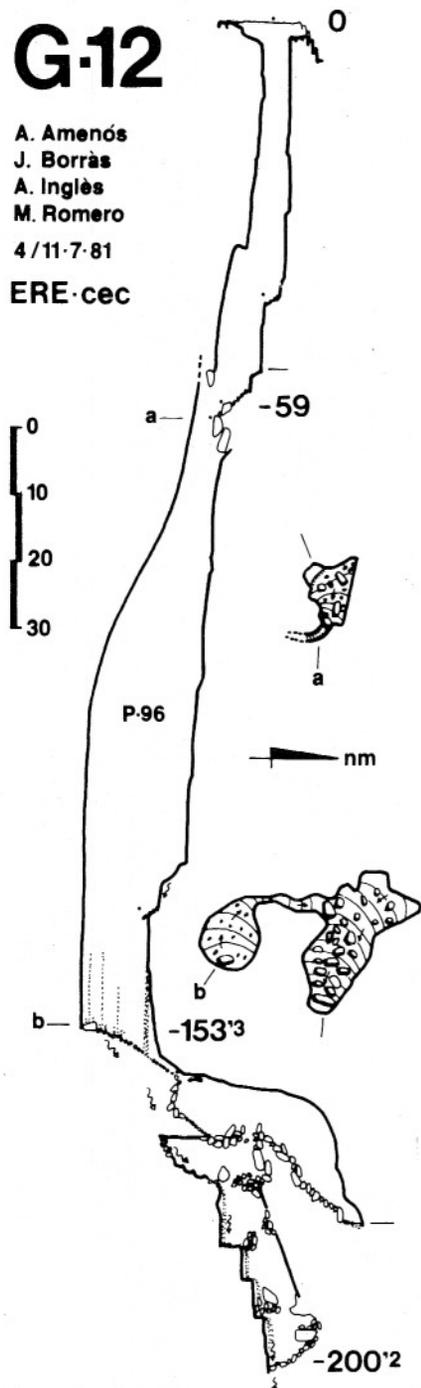


Fig. 231

Dibuix: A. Inglès

G-12

A. Amenós
 J. Borràs
 A. Inglès
 M. Romero
 4/11-7-81
 ERE·cec



G-22

J. Borràs
 J.L.Cuevas
 22-11-81
 ERE·cec

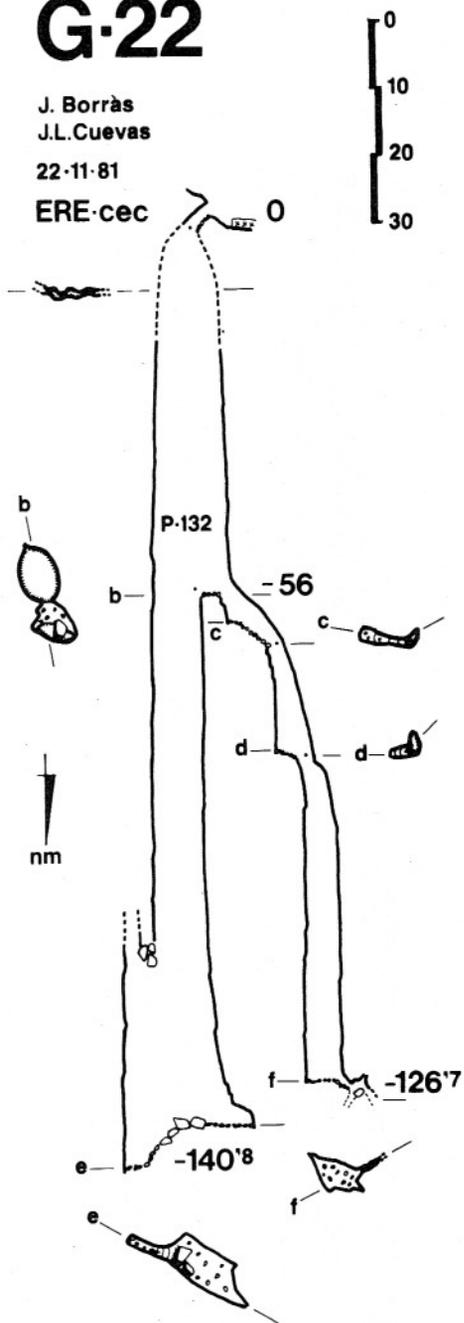


Fig. 232

Dibuix: A. Inglès

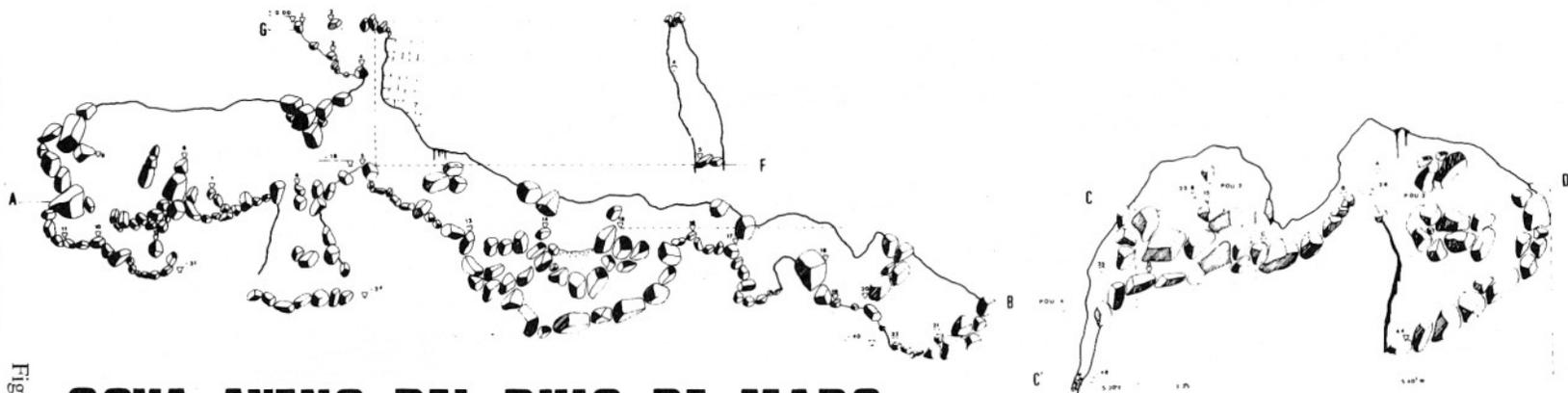


Fig. 234

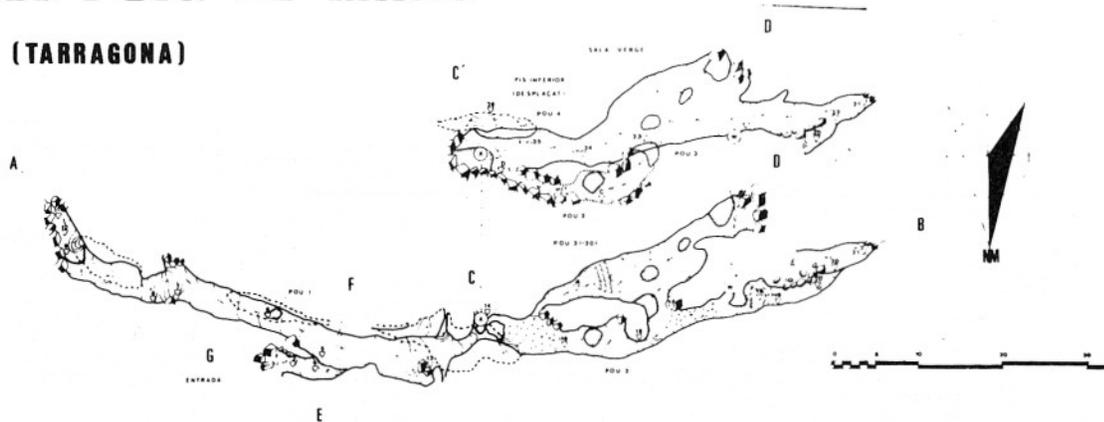
COVA-AVENC DEL PUIG DE MARC

LA RIBA (TARRAGONA)

TOPOGRAFIA: J. RAMON MASSOT
ALBERT MARTINEZ
EDUARD MARTINEZ

RECORREGUT REAL 310
PROJECTAT 306
VERTICAL 74
PROFUNDITAT MAXIMA 48

ERE: A, C, 1930; B, D, 1933



F - BIBLIOGRAFIA

- ANDRÉS, O. (1972): Topografía espeleológica. 2º **Simp. Met. Esp. Topo.**
- AUROUX, L. (1972): Interpretación y sistemas de trabajo aplicados a topografía exterior. 2º **Simp. Met. Esp. Topo.**
- AYMERICH, P. (1972): Teoría de los errores en los levantamientos topográficos. 2º **Simp. Met. Esp. Topo.**
- BERROCAL, J.A. (1972): Càlcul de l'error en topografia espeleológica. **Espeleòleg**, 29: 599-601.
- COURBON, P. - MARBACH, G. (1972): Les levés topographiques et leur précision. **Spelunca**, 2: 34-37.
- COURBON, P. (1972): La topographie spéléologique. **Spelunca**, 2: 39-46.
- DEGRILLASSE, J. (1977): Report des levés topographiques, **Spelunca**.
- DOBRILLA, G. - MARBACH, G. (1973): Techniques de la spéléologie alpine.
- DOMINGUEZ, F. (1965): Manual de topografía.
- ESPELEO CLUB DE GRACIA (1981): Apuntes de topografía y cartografía. **Plub. Dep. Técnico.**
- FRANCK, J.C. - MIRANDA, C. (1974): Contribution à l'étude de la compensation des spéléo-cheminements polygonaux et labyrinthiques présentant un écart de fermeture. **ANN. SPÉLEOLOGIE**, 29,2: 247-253.
- IZQUIERDO ASENSI, E. (1979): Geometría Descriptiva. **Ed. Dossat.**
- LAPLACE, G. (1973): Sobre la aplicación de las coordenadas cartesianas en la excavación estratigráfica. Reeditado por **Speleon**, 20: 139-159.
- LAUREAU, P. (1978): La topographie en shipon. **Siphon** 78: 81-86.
- LEFEBRE, H. (1979): Traitement des levés topographiques en siphon et en galeries sèches. **Siphon** 79: 27-33.
- MARBACH, G. - ROUCOURT, J.L. (1980): Techniques de la spéléologie alpine.
- MARTINEZ RIUS, A. (1974): Les coordenades i la seva aplicació a la topografia espeleológica. **Espeleòleg**, 21: 5-14.
- MARTINEZ RIUS, A. (1974): La llibreta topografica. **Espeleòleg**, 19: 1014-1015.
- MARTINEZ RIUS, A. (1979): Piedra de San Martín. **Ed. Don Bosco**. Col. EDEBÉ.
- MOR, J. (1972): Los aparatos medidores de distancias electroópticos y de microondas. 2º **Simp. Met. Espeleog.**
- ORTIZ, P. (1977): Influencia en la reducida y el desnivel del error en la geometría. **Ixiltasun Izkutak**, 1: 6-7.
- PENNEC, R. (1982): La topographie en shipon. Apunts el **Stage plongé à Cabrerets**.
- PLANA, P. (1972): Las mediciones azimutales y la declinación magnética. 2º **Simp. Met. Espeleog.**
- PLANA, P. (1973): Método para la medición de buzamientos en las estructuras kársticas. 3º **Simp. Espeleog.** Mataró.
- RENAULT, PH. (1972): La morphometrie spéléologique. **Spelunca**, 2: 51-57.
- RENAULT, PH. (1972): Topographie et géomorphologie. **Spelunca**, 2: 58-59.
- ROBLES, S. (1978): Apuntes de problemas d'estructura. **U.A.B.** Bellaterra.
- RUIZ, P. (1978): Teoría de los errores I. **Ixiltasun Izkutuak**, 3: 8-11.
- RUIZ, P. (1979): Teoría de errores II. **Ixil. Izku**, 7-8-9: 44-50.
- TAIBO, A. (1943): Geometría descriptiva y sus aplicaciones. **Es. Esp. Inq. Industriales**.
- UNDA, J. (1977): La brújula y el magnetismo. **Ixil Izku**, 2: 7-9.
- VICTORIA, J.M. (1968): Consideraciones sobre la exactitud de la topografía. **Bol. C.E.A.**: 785-786.
- VICTORIA, J.M. (1972): Las mediciones inclinadas. **Espeleosie**, 11: 3-11.
- WATSON, A. (1980): Comment á été topographiée la plus longue grotte du monde. **Spelunca**.
- (1973). Manual Curso de Informació de topografía. **Minis. del Ejército**. M-9, 4.10.

APÉNDICE I

APLICACION DE LA INFORMATICA A LA ESPELO-TOPOGRAFIA.

Por Juanjo Ruiz de Almirón Casaus

1. INTRODUCCION PRELIMINAR

La topografía espeleológica, constituye una de las mejores aportaciones que los espeleólogos podemos y debemos llevar a cabo para un mejor conocimiento del medio subterráneo.

Como instrumento auxiliar, necesita de una serie de conocimientos previos, un trabajo de campo y un proceso de datos que finalmente verán la luz en forma de un plano topográfico de la cavidad.

Con la aplicación de la Informática y la utilización de los ordenadores Personales se han elaborado métodos para facilitar y simplificar los procesos topográficos dando resultados espectaculares.

En definitiva, se trata de utilizar un ordenador personal y una serie de programas que nos evitan el laborioso trabajo de procesar los datos tomados en la cavidad y que nos permiten obtener un dibujo lineal de ésta.

2. CONDICIONES PRELIMINARES

La aplicación de la informática en la topografía espeleológica necesita de unos requisitos previos para poder plasmarse en una topografía suficientemente precisa. No es necesario insistir en que el ordenador es sólo una herramienta de trabajo, y que son los datos tomados en la cavidad la fuente real de la que se nutren nuestras topografías.

De este modo resulta particularmente importante, el cuidado, a la hora de realizar las mediciones y la precisión de éstas.

Nuestras recomendaciones vienen a insistir en la necesidad de utilizar aparatos de medida contrastados, eficaces y precisos.

3. PROCESO DE DATOS

Hasta hace algún tiempo, el paso de datos de campo a gabinete se hacía por medio de instrumentos de dibujo como son los transportadores de ángulos y los escalímetros, dando como resultado topografía de cavidades con un elevado grado de error en sus representaciones, (José Molina, 75 Aniversario GES SEM 1975).

Posteriormente, con la aparición de las calculadoras científicas, los métodos de procesos de datos fueron tomando fiabilidad y precisión.

Pero este método no dejaba de ser lento y tedioso a la hora de procesar estos datos, pues implicaba un gran número de cálculos relacionados unos entre otros, y lo que se ganaba en precisión se perdía en tiempo realizando operaciones.

Con la aparición de los ordenadores Personales, estos procesos fueron programados, dando como resultado distintos programas que realizaban funciones diferentes.

Estos programas lo que pretenden es facilitar las labores topográficas de gabinete, al acelerar los pesados cálculos manuales y reducir de una forma considerable el tiempo para conseguir esos resultados. De esta forma justificamos al ordenador como herramienta de trabajo.

4. DISEÑO ASISTIDO

Con el nombre CAD (Computer Aided Design), se conocen los sistemas de diseño asistidos por ordenador, con almacenamiento y utilización de información gráfica. Es una ayuda inestimable en los trabajos de diseño, ingeniería, topografía, etc. Desde que en los inicios de la década de los 50 el Massachusetts Institute of Technology (MIT) lograra realizar un sencillo dibujo en un monitor, la informática aplicada al diseño gráfico ha experimentado una notable evolución.

Las ventajas que los sistemas de CAD pueden aportar a cualquier empresa en las fases de diseño y dibujo, tienen como objetivo final reducir tiempos y costes, ofreciendo productos más competitivos: Se disminuyen los tiempos de diseño y se reducen equivocaciones al eliminar tareas repetitivas, unificando métodos y criterios. Todos los productos creados se pueden almacenar en una base de datos, lo que permite un acceso posterior rápido y sencillo. De esta forma se puede establecer un control directo sobre el proyecto e, incluso, la preparación de presupuestos con absoluta fiabilidad utilizando módulos específicos para estas labores.

Con una progresión tecnológica inicial no tan rápida como en otros segmentos de la informática, pero con un importante empuje en los últimos años, la industria del CAD está situándose en el lugar que le corresponde, dando lugar a nuevos escalones en este desarrollo.

5. PROGRAMAS DE DISEÑO ASISTIDO

Los programas de diseño asistido por ordenador permiten realizar, con ventaja sobre las técnicas tradicionales,

cualquier trabajo o proyecto de delineación, diseño industrial, ingeniería, arquitectura...

Disponen de órdenes que pueden realizar el trazado, modificación y borrado de cualquier línea, arco, círculo y figura más compleja. Todo esto convenientemente agrupado y clasificado puede almacenarse en una «biblioteca» de símbolos o entidades, permitiendo su utilización posterior con el consiguiente ahorro de tiempo.

6. EQUIPO QUE SE NECESITA

Para una utilización ventajosa de los programas de diseño asistido, se necesita un ordenador personal IBM o compatible con las siguientes características:

- La unidad central con 640K de memoria RAM. Las primeras versiones corrían con 256K de RAM.
- Monitor monocromo o color, aunque esta última opción puede resultar más cara y no es imprescindible.
- Unidad de disco duro de, al menos 20/MB y un disco flexible para obtener copias de seguridad y manipulación de ficheros.
- Impresora gráfica.

El equipo mencionado anteriormente, puede incrementarse en la medida de lo posible con otros dispositivos: ratones, digitalizadores, trazadores (Normalmente se emplea el término inglés «PLOTTER»), coprocesadores...

7. DISPOSITIVOS DE ENTRADA-SALIDA

Los dispositivos de entrada/salida o periféricos, nombres que son empleados indistintamente, requieren un breve comentario, bien por sus características técnicas o, simplemente, por el papel a desempeñar en la utilización más ventajosa de los programas de diseño asistido.

A este conjunto de dispositivos se les suele llamar en el mundo del CAD, como WORKSTATIONS (estaciones de trabajo).

7.1. MONITOR O PANTALLA

La mayoría de los ordenadores personales están provistos de pantallas monocromas con una resolución de 320 x 200 puntos. Para obtener una representación más nítida de los dibujos es recomendable sustituir éstos por otros que alcancen los 640 x 200, &20 x 348, o incluso más.

Estas modificaciones obligan también a la sustitución de las tarjetas gráficas alojadas en la unidad central. No obstante, últimamente, con el progresivo abaratamiento del hardware, están suministrándose equipos que disponen de estas características en sus configuraciones básicas.

Algunas instalaciones utilizan dos pantallas o monitores.

Una de ellas, denominada alfanumérica, o de texto, permite introducir órdenes y datos mientras que la segunda, generalmente de alta resolución, se emplea para la representación del dibujo.

7.2. TECLADO

No precisa ninguna configuración especial, estando dividido entre zonas. El denominado «teclado máquina de escribir» no requiere mención especial a excepción de la tecla INTRO o RETURN que hace efectiva la introducción de datos y la elección de órdenes en cualquier menú.

El teclado de funciones que dispone entre 10 y 12 teclas, según los casos, con funciones muy concretas.

El teclado numérico no sólo permite introducir las coordenadas en sus valores absolutos; también posibilita el posicionamiento, aceleración y deceleración en el emplazamiento del cursor y la posibilidad, mediante la tecla de inserción (INS), de pasar del área de dibujo a la de menú.

7.3. DIGITALIZADOR

También llamado tablero digitalizador, sirve para programar sobre él secuencias de órdenes de uso frecuente, incluir los menús de pantalla y, en definitiva, permitir la entrada del dibujo. Las dimensiones más habituales son de 12"x8" y de 12"x12".

7.4. TRAZADOR.

Conocido por su denominación inglesa, plotter, es un periférico capaz de simular con absoluta exactitud cualquier tipo de trazado. Dispone de varias plumillas o lapiceros, lo que permite el empleo de colores o de adaptadores tipo «grafo» de diferentes grosores. Sus dimensiones varían desde DI A0 al DIN A4, encontrándose en el mercado bajo diversas técnicas: Electrostáticos, de rodillo, etc.

7.5. RATON

Este periférico de entrada simula los movimientos de la mano sobre la retícula de pantalla, pudiéndose utilizar para introducir el dibujo o para entrar en el área de menú. Es menos preciso que el digitalizador.

7.6. IMPRESORA

Para trabajar con los programas de diseño asistido es conveniente utilizar, además del trazador, una impresora gráfica de 80 columnas. Se emplea para obtener bocetos de dibujos y trabajos, ya que en la calidad del detalle no suele ser suficiente para trabajos definitivos. Muy recientemente las impresoras láser han solucionado en parte el problema; no obstante su precio las sitúa al nivel de algunos trazadores.

8. CONCLUSIONES

El análisis del método Espeleo-topográfico apoyado con soporte Informático, a nuestro juicio, se ha revelado como una potente herramienta de trabajo, al servicio de la espeleología.

En síntesis se trata de utilizar un ordenador personal y una serie de programas que nos evitan el laborioso trabajo de procesar los datos tomados en la cavidad y que nos permiten obtener un dibujo lineal de ésta en visión tridimensional.

Nuestras recomendaciones vienen a insistir en:

La necesidad de utilizar aparatos de medida contrastados, eficaces y precisos.

El extremo cuidado cuando realizamos mediciones, con el fin de no acumular errores.

Tenemos que decir que estos medios no justifican cualquier topografía espeleológica, es decir, en un trabajo espeleo-topográfico utilizaríamos estos medios en función de las características de la cavidad, como podría ser un complejo de gran desarrollo o en función de la precisión del plano topográfico.

El resultado final, en un bloque tridimensional, permite obtener una visión global de la cavidad y su posible interconexión con otras cavidades dentro de un Sistema.

APÉNDICE II

A continuación se recogen parte de los acuerdos tomados en la II Reunión de la Escuela Española de Espeleología celebrada en Ezcaray (La Rioja) el 1 de Noviembre de 1991.

COMISION DE TOPOGRAFIA

Se proponen tres niveles de enseñanza:

–*Descubrimiento de la Espeleología.*

Nociones generales de topografía sin profundidad en técnica alguna.

–*Iniciación:*

Conocimientos generales para poder realizar un levantamiento de una cavidad sencilla y su representación gráfica.

Conocer la técnica de localización y situación de cavidades.

–*Perfeccionamiento*

Saber realizar levantamientos topográficos sobre redes complejas y su representación gráfica.

Conocimiento de aparatos de precisión y técnicas especiales.

Se acuerda, asimismo, que los monitores e instructores de la E.E.E. adopten a partir de ahora como mínimo, los siguientes datos para la representación topográfica de cavidades:

–Aplicación del método de coordenadas.

–Normas DIN en los formatos.

–Grado de precisión según BCRA

–Norte magnético que conste de flecha orientación, las letras «N» mayúscula y «m» minúscula y año de levantamiento.

–Escala gráfica, con «O», unidad o múltiplo de la unidad y el total.

–Desnivel máximo (la suma de la cota máxima positiva y máxima negativa con relación al punto de origen), y desarrollo total (la suma de la poligonal sin proyectar más los pozos verticales en metros).

–Nombre de la cavidad que se basará en:

- Denominación popular, y para las cavidades sin nombre popular se aplicará el topónimo más cercano.
- Para concentraciones en un mismo lugar se usarán claves.
- Las cavidades horizontales se representarán en planta y las verticales en alzado.
- Para el dibujo de conornos utilizar el criterio de la Escuela Catalana, dependiendo el grosor y detalle de la escala utilizada.
- En los alzados deberá constar cota de origen y las cotas más representativas.

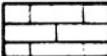
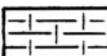
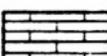
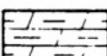
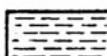
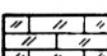
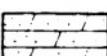
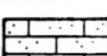
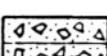
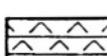
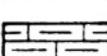
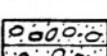
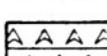
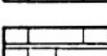
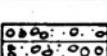
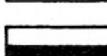
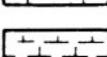
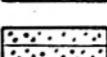
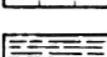
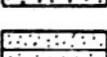
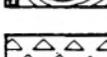
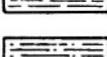
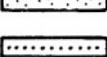
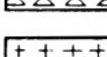
ESCALA DE VALORACION DE LA PRECISION DE LOS PLANOS DE CAVIDADES

Inspirada en A.L. Butcher (1950) y propuesta por el Cave Research Group of Great Britain (Spelunca 2 - 1972, p. 38), esta escala clasifica en siete niveles o grados las topografías normalmente efectuadas en cuevas y simas, atendiendo a los materiales empleados y su modo de utilización:

- Grado 1* Esquema de memoria, sin escala.
- Grado 2* Dibujo realizado a simple vista, sin ayuda de instrumentos, con escala aproximada.
- Grado 3* Plano rudimentario trazado con ayuda de una pequeña brújula graduada de 10 en 10 y una cuerda dividida en metros.
- Grado 4* Plano realizado con una brújula dividida de grado en grado, con algún sistema de lectura, y con cinta métrica o topofil.
- Grado 5* Plano trazado con una brújula y un clinómetro calibrados, provistos de sistemas de puntería y de lectura correctos, y una cinta métrica indeformable.
- Grado 6* Con el mismo material, pero de forma que la brújula repose sobre un trípode o esté suspendida de un cordel (brújula de minero).
- Grado 7* Levantamiento topográfico con teodolito y cinta métrica de acero. Rocas metamórficas.

SIGNOS CONVENCIONALES PARA REPRESENTACIONES GRAFICAS

SIMBOLOS DE LITOLOGIA Y COMPOSICION

	Caliza		Dolomia		Arcillas Pizarras
	Caliza masiva		Caliza dolomítica		Limos arcillosos
	Caliza tableada		Dolomia margosa		Limos
	Caliza espática		Dolomia arenosa		Limos arenosos
	Caliza arenosa		Brecha		Sales
	Caliza margosa		Conglomerado		Yesos
	Alternancias de calizas y margas		Arena gruesa		Carbón
	Margas calcáreas		Arena media		Rocas metamórficas
	Margas		Arena fina		Rocas volcánicas
	Margas arenosas		Cuarcita		Rocas plutónicas

Betún Asfalto	●	△	Intraclastos
Bioclastos	∩		Limonita
Cantos blandos	⊖	⊙	Oolitos
Cantos acorazados		■	Pirita
Dolomita	∩	⊙	Pisolitos
Feldespato	f	▬	Siderita
Fosfato	◇	∩	Silex
Glaucionita	†	△	Yeso

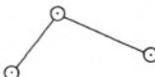
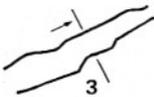
SIMBOLOS EXTERIORES.		SIMBOLOS CONVENCIONALES ADOPTADOS POR LA E.E.E. DE LA F.E.E.		
Nº	A REPRESENTAR.	CONCEPTO.	DESCRIPCION DEL SIMBOLO.	PICTOGRAMA.
1	CURSO PERMANENTE DE AGUA	Cursos de agua perennes habitualmente durante todo el año con independencia del caudal.	Línea fina serpenteante continua con flechas indicando el sentido de la corriente.	
2	CURSO TEMPORAL DE AGUA	Cursos de agua intermitentes o torrentes, con independencia del caudal.	Línea fina serpenteante discontinua con flechas indicando el sentido de la corriente.	
3	CURSO SUBTERRANEO PROBADO	Unión de una pérdida o un sifón con una surgencia probada por coloración u otro trazador.	Raya-punto/raya-punto, con intercalación de flechas en el sentido de la corriente; trazos rectos.	
4	CURSO SUBTERRANEO SUPUESTO	Unión de una pérdida o un sifón con una surgencia pero si no está fehacientemente probado y se considera probable.	Intercalar al símbolo del nº 3 el símbolo de interrogación.	
5	SOMIDERO	Pérdida de un curso de agua temporal ó perenne por una fisura o ponor no penetrable.	Círculo grueso relleno.	
		Pérdida de un curso de agua perenne, por un conducto penetrable. Habitualmente, un ponor.	Añadir al símbolo anterior una línea continua, flecha en el sentido de la corriente.	

		SIMBOLOS CONVENCIONALES ADOPTADOS POR LA E.E.E. DE LA F.E.E.		
Nº	A REPRESENTAR.	CONCEPTO.	DESCRIPCION DEL SIMBOLO.	PICTOGRAMA.
5	SOMIDERO	Idea que el caso anterior, pero si la pérdida es temporal.	Círculo grueso relleno con una línea discontinua y flecha en el sentido de la corriente.	
6	SURGENCIA	Manantiales kársticos no penetrables.	Círculo vacío, de pequeño tamaño, con una flecha en ángulo recto en la parte superior, apuntando hacia la derecha.	
		Manantiales kársticos penetrables y con surgencia perenne.	Círculo grueso con línea continua y flecha en el sentido de la corriente.	
		Idea que el anterior, pero si la surgencia es temporal.	Círculo grueso línea discontinua y flecha en el sentido de la corriente.	
7	ABRIGO	Concavidad ó pequeña cavidad natural, situada bajo una visera rocosa en la que habitualmente no se alcanza en su interior la oscuridad absoluta durante el día.	Semicírculo, abierto en su base, con aletas exteriores equivalentes en longitud al radio del semicírculo.	
8	CUEVA	Cavidad natural, accesible por el hombre en la que a pleno día, a partir de un punto, reina la oscuridad absoluta, con recorrido predominante horizontal. Esta denominación se suele aplicar a la BOCA de la cavidad, y en ese punto es donde se situará el pictograma. Esto es válido para los símbolos 9 y 10.	Semicírculo cerrado en su base, con aletas exteriores equivalentes en longitud al radio del semicírculo.	

SIMBOLOS CONVENCIONALES ADOPTADOS POR LA E.E.E. DE LA F.E.E.				
Nº	A REPRESENTAR.	CONCEPTO.	DESCRIPCION DEL SIMBOLO.	PICTOGRAMA.
9	SIMA	Cavidad natural accesible por el hombre con desarrollo predominante vertical.	Senicirculo cerrado en su base, con aletas exteriores equivalentes en longitud al radio del senicirculo y una flecha descendente desde el centro del senicirculo, con la misma longitud del radio.	
10	CAVIDAD ARTIFICIAL	Cavidad no natural, realizada por la mano del hombre. Quedan englobadas cavidades como: minas, túneles, redes de saneamiento, cuevas-viviendas, iglesias rupestres, canteras subterráneas etc...	Cuadrado abierto por su base con aletas equivalente a la mitad de su base.	
11	LINEA DE ESCARPE	Línea que refleja una cortadura o cambio de pendiente brusco en la topografía. Borde superior de una zona abrupta.	Línea fina, con rayas perpendiculares equidistantes apuntando en el sentido de la pendiente.	
12	CAÑON	Desfiladero, garganta, tajo, paso estrecho y abrupto entre montañas que, generalmente, es el cauce de un río.	Dos líneas enfrentadas con rayas paralelas equidistantes apuntando en el sentido de las pendientes.	
		Idea que lo anterior, cuando se tiene constancia de que existe un curso activo perenne.	Línea fina continua y serpenteante con flechas indicando el sentido de la corriente.	
		Idea que la primera, si se conoce que el curso es temporal.	Línea fina discontinua y serpenteante con flechas indicando el sentido de la corriente.	

SIMBOLOS CONVENCIONALES ADOPTADOS POR LA E.E.E. DE LA F.E.E.				
Nº	A REPRESENTAR.	CONCEPTO.	DESCRIPCION DEL SIMBOLO.	PICTOGRAMA.
13	"CIRCO"	Cierre o cabecera de valle con paredes escarpadas.	Línea similar a la de escarpe, en forma de seno; la flecha indica el sentido de la escorrentía, hacia el exterior del seno.	
14	VALLE CIEGO	Valle cuya escorrentía topa con una pared abrupta, donde suele existir una pérdida, penetrable o no.	Línea similar a la de escarpe, en forma de seno; la flecha indica el sentido de la escorrentía, hacia el interior del seno.	
15	DOLINA	Depresión kárstica de formas suaves, por lo general más ancha que profunda.	Trazo fino cerrado subcircular discontinuo, con rayas perpendiculares hacia el interior.	
16	UVALA	Depresión kárstica presumiblemente formada por la coalescencia de dos o más dolinas. Este término no es aconsejable y actualmente está en desuso.	Trazo fino cerrado discontinuo de forma ameboide con rayas perpendiculares hacia el interior.	
17	POLJE	Grandes áreas deprimidas de origen kárstico, por lo general de tamaño kilométrico, y condicionamiento estructural.	Trazo más grueso discontinuo que las dolinas, con rayas perpendiculares hacia el interior, líneas finas discontinuas por cada curva de nivel estimada.	
18	LAPIAZ	Superficie rocosa con relieve irregular, microcanales, oquedades, alveolos, etc ... De magnitudes muy variadas y que se originan mediante disolución por la acción del agua meteórica sobre las rocas karstificables. Sólo se representa en aquellos casos que afectan a grandes superficies (CAMPOS DE LAPIAZ).	Líneas finas entrecruzadas formando una malla a 45º equidistantes sin definir.	

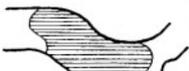
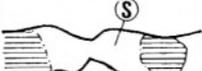
			SIMBOLOS CONVENCIONALES ADOPTADOS POR LA E.E.E. DE LA F.E.E.	
Nº	A REPRESENTAR.	CONCEPTO.	DESCRIPCION DEL SIMBOLO.	PICTOGRAMA.
19	RED KARSTICA, CUEVA	Proyección en planta de cavidades subterráneas. En planos o mapas de superficies exteriores.	En masa toda la proyección.	

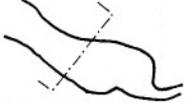
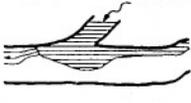
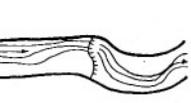
SIMBOLOS TOPOGRAFICOS.			SIMBOLOS CONVENCIONALES ADOPTADOS POR LA E.E.E. DE LA F.E.E.	
Nº	A REPRESENTAR.	CONCEPTO.	DESCRIPCION DEL SIMBOLO.	PICTOGRAMA.
20	ESTACION TOPOGRAFICA	Vértices principales de una poligonal.	Punto rodeado por una circunferencia.	
21	PUNTO TOPOGRAFICO SECUNDARIO	Vértices auxiliares de una poligonal.	Punto grueso.	
22	POLIGONAL	Resultado de la unión consecutiva de las diferentes estaciones topográficas.	Línea fina continua que une las estaciones topográficas.	
23	GALERIA CON INDICACION DE SECCION	Línea transversal para indicar la sección o alzado.	Línea transversal por el exterior de la galería con una flecha indicando el ángulo de visión y un número de orden.	
24	DETERMINACION DE COTA	Establecimiento de cota con respecto al nivel de referencia ±0. Normalmente situado a la entrada de la cavidad.	Línea fina horizontal, triángulo en blanco, y línea paralela, con indicación del valor en metros, positivos o negativos.	
25	DETERMINACION DE COTA PARCIAL	Establecimiento de cota parcial con respecto al "0" (cero) más cercano. Ejemplo: En las cabeceras de los sifones se establece una cota "0" cero. Los desniveles con respecto a esta cota se indican con este símbolo.	Idea que el símbolo anterior, pero con el triángulo relleno.	

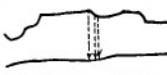
SIMBOLOS CONVENCIONALES ADOPTADOS POR LA E.E.E. DE LA F.E.E.				
Nº	A REPRESENTAR.	CONCEPTO.	DESCRIPCION DEL SIMBOLO.	PICTOGRAMA.
26	GALERIA INEXPLORADA	Galería penetrable no explorada.	Signo de fin de interrogación.	
27	CONTINUACION IMPENETRABLE	Galería con continuación no penetrable, por medios "normales" (sin desobstrucción).	Línea discontinua.	
28	LATERAL IMPENETRABLE	Flanco no penetrable o no accesible, con silueta estimativa. Se utiliza también para los techos no accesibles.	Línea discontinua.	
29	CURVAS DE NIVEL CON INDICACION DE PENDIENTE	Línea que indican el relieve del suelo y flecha que señala el sentido de la pendiente.	Líneas finas y flechas.	
30	ESCARPE, RESALTE	Línea que refleja una cortadura brusca en la cavidad; inciden en una misma línea diferentes curvas de nivel.	Línea fina, con rayas perpendiculares equidistantes apuntando en el sentido de la pendiente.	
31	ROCA MADRE	Hacizo de roca del material en que se desarrolla la cavidad circunscrito entre galerías o en el interior de una de ellas. Roca "in situ".	Tranado con línea fina a 45°.	

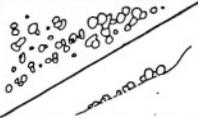
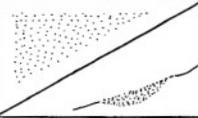
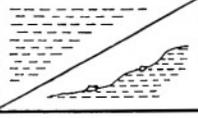
SIMBOLOS CONVENCIONALES ADOPTADOS POR LA E.E.E. DE LA F.E.E.				
Nº	A REPRESENTAR.	CONCEPTO.	DESCRIPCION DEL SIMBOLO.	PICTOGRAMA.
32	PISO SUPERIOR	Planta superior con respecto a la galería principal.	Líneas de puntos.	
33	PISO NORMAL	Planta correspondiente a la galería principal.	Líneas continuas.	
34	PISO INFERIOR	Planta inferior con respecto a la galería principal.	Líneas discontinuas.	
35	PROYECCION DEL LABIO SUPERIOR EN LA ENTRADA	Proyección del labio superior en la entrada, sobre la planta.	Línea de puntos.	
36	PROYECCION DE BOCA DE ENTRADA	Proyección de la boca de una sina superior sobre la planta.	Línea de puntos cerrada.	
37	POZO	Sina interior, conducto vertical (en planta).	Línea fina cerrada, con rayas perpendiculares hacia adentro.	

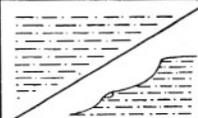
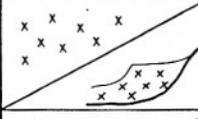
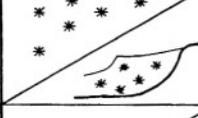
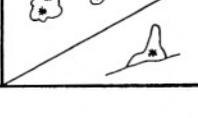
SIMBOLOS CONVENCIONALES ADOPTADOS POR LA E.E.E. DE LA F.E.E.				
Nº	A REPRESENTAR.	CONCEPTO.	DESCRIPCION DEL SIMBOLO.	PICTOGRAMA.
38	CHIMENEA	Conducto vertical ascendente (en planta).	Línea de puntos cerrada, con rayas perpendiculares por el exterior.	
39	PUENTE DE ROCA	Arco o puente de roca representado en planta. Dependiendo según por donde se realice el paso más frecuentemente: Inferior (se pasa por arriba).	Líneas discontinuas.	
		Superior (se pasa por debajo).	Líneas de puntos.	
40	CRUCE DE GALERIAS	Superposición de diferentes galerías con respecto a la principal. Superior (La principal pasa por debajo).	Líneas de puntos.	
		Inferior (La principal pasa por arriba).	Líneas discontinuas.	

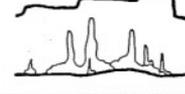
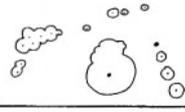
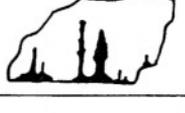
SIMBOLOS HIDROGRAFICOS.			SIMBOLOS CONVENCIONALES ADOPTADOS POR LA E.E.E. DE LA F.E.E.	
Nº	A REPRESENTAR.	CONCEPTO.	DESCRIPCION DEL SIMBOLO.	PICTOGRAMA.
41	CURSO PERMANENTE DE AGUA	Cursos de agua perennes con independencia del caudal.	Línea fina serpenteante continua con flechas indicando el sentido de la corriente.	
42	CURSO TEMPORAL DE AGUA	Cursos de agua intermitente, torrentes, con independencia del caudal.	Línea fina serpenteante discontinua con flechas indicando el sentido de la corriente.	
43	AGUAS RAPIDAS	Masa de agua con movimiento aparente.	Líneas finas asimétricas en el sentido de la corriente.	
44	AGUAS ESTATICAS (LAGOS, CHARCOS)	Masa de agua sin movimiento aparente.	Líneas finas horizontales y paralelas.	
45	SIFON	Galería sumergida permanentemente.	Letra "ese" mayúscula dentro de un círculo. En blanco todo su interior.	
46	LIMITE DE SIFON	Límite de la zona sumergida.	Línea con trazado raya-punto/raya-punto.	

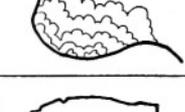
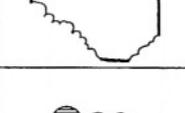
SIMBOLOS CONVENCIONALES ADOPTADOS POR LA E.E.E. DE LA F.E.E.				
Nº	A REPRESENTAR.	CONCEPTO.	DESCRIPCION DEL SIMBOLO.	PICTOGRAMA.
47	BURBUJA DE AIRE EN SIFON	Cámara de aire en la bóveda de un sifón.	Línea con trazado raya-punto/raya-punto cerrada, más trama de líneas paralelas finas horizontales.	
48	SIFON INEXPLORADO	Sifón con posibilidad de continuación sin explorar.	Línea con trazado raya-punto/raya-punto a través del exterior de la galería.	
49	ZONA SIFONANTE	Límite de "zona vadosa" con riesgo de inundación esporádica.	Línea con trazado raya-punto/raya-punto a través del exterior de la galería.	
50	PERDIDA DE AGUA	Pérdida total o parcial del caudal de agua.	Flecha ondulante apuntando hacia el exterior.	
51	APORTE DE AGUA	Aporte total o parcial del caudal de agua.	Flecha ondulante apuntando hacia el interior.	
52	CASCADAS	Salto de un curso de agua por un escarpe.	Líneas finas asimétricas en el sentido de la corriente más signo de escarpe, espacio en blanco y continuación de la corriente.	

SIMBOLOS CONVENCIONALES ADOPTADOS POR LA E.E.E. DE LA F.E.E.				
Nº	A REPRESENTAR.	CONCEPTO.	DESCRIPCION DEL SIMBOLO.	PICTOGRAMA.
53	MARMITAS DE GIGANTE	Morfología en forma de olla tallada en la roca por efecto de la erosión del agua, en el lecho de un cauce, de tamaño métrico.	Espiral con flecha en el interior.	
54	ZONA DE GOTEJO INTENSO	Lluvia discontinua, con aportes totales de agua significativos. (en planta).	Punto con líneas finas en cruz.	
		(en alzado).	Línea fina de puntos y "uve" en la base.	

SIMBOLOS SEDIMENTOLOGICOS.			SIMBOLOS CONVENCIONALES ADOPTADOS POR LA E.E.E. DE LA F.E.E.	
Nº	A REPRESENTAR.	CONCEPTO.	DESCRIPCION DEL SIMBOLO.	PICTOGRAMA.
55	BLOQUES	Fragmentos grandes de roca sin desgastar, de formas angulares, normalmente generados por procesos clásticos.	Cantos angulosos con líneas de volumen, tamaño grande.	
		Fragmentos de roca de formas suaves, erosionados por la acción mecánica del agua u otros agentes.	Cantos redondeados, tamaño grande.	
56	CANTOS ANGULOSOS	Trozos pequeños de roca sin evidencias de erosión intensa.	Cantos angulosos, tamaño pequeño.	
57	CANTOS REDONDEADOS	Material rodado por la acción fluvial, de tamaño mayor de 2 milímetros de diámetro.	Cantos redondeados, tamaño pequeño.	
58	ARENA	Sedimento detrítico, formado por un conjunto de granos sueltos, con un tamaño medio comprendido entre 1/16 a 2 milímetros de diámetro.	Trama de puntos.	
59	ARCILLA	Sedimento detrítico, formado por fragmentos no consolidados de tamaño predominante entre 1/256 mm y 1/16 mm.	Trama de líneas discontinuas.	

			SIMBOLOS CONVENCIONALES ADOPTADOS POR LA E.E.E. DE LA F.E.E.	
Nº	A REPRESENTAR.	CONCEPTO.	DESCRIPCION DEL SIMBOLO.	PICTOGRAMA.
60	LIMO	Sedimento detrítico fino, habitualmente plástico y untuoso al tacto, con tamaño de grano inferior a 1/256 mm de diámetro.	Trama de raya-punto.	
61	CONO DE DERRUBIOS, ABANICO	Cuerpo sedimentario formado por acumulación de los materiales a la salida de un canal al pie de un eskarpe, en forma de abanico cuyo vértice arranca de la salida del canal.	Líneas finas discontinuas en abanico soportando el tipo de material.	
62	NIEVE	Cristales hexagonales de hielo, con estructura en el suelo de tipo esponjoso cuando está recién caída.	Trama de espas.	
63	HIELO	Material formado por compactación de la nieve o congelación del agua.	Trama de asteriscos.	
64	GUANO	Excremento de murciélagos en particular, en general, para el excremento de todo tipo de aves y mamíferos voladores, en grandes cantidades.	Trama de "uves" abiertas.	
65	FORMACIONES DE HIELO	Cuerpos o figuras geométricas constituídas por hielo.	Línea fina de contorno, símbolo del asterisco en el interior. (en cualquiera de las formas en que se presenten).	

SIMBOLOS CONVENCIONALES ADOPTADOS POR LA E.E.E. DE LA F.E.E.				
Nº	A REPRESENTAR.	CONCEPTO.	DESCRIPCION DEL SIMBOLO.	PICTOGRAMA.
66	ESTALACTITAS	Relleno litoquímico que pende de la bóveda ó de las paredes de una cavidad. (En planta, no se representan). En proyección (las vistas por detrás de la línea de sección).	Líneas de contorno finas.	
		(En planta no se representan). En sección (las cortadas por la línea de sección).	Rellenas en negro.	
67	ESTALAGMITAS	Relleno litoquímico que se deposita en el pavimento de forma vertical. En proyección (las vistas por detrás de la línea de sección).	Líneas de contorno finas.	
		En planta.	Planta: Líneas finas y punto de los vértices principales.	
		En sección (las cortadas por la línea de sección).	Sección: rellenas en negro.	
68	COLUMNA	Relleno litoquímico formado por la unión de una o más estalactitas con estalagmitas. En proyección (las vistas por detrás de la línea de sección).	Líneas de contorno finas.	

SIMBOLOS CONVENCIONALES ADOPTADOS POR LA E.E.E. DE LA F.E.E.				
Nº	A REPRESENTAR.	CONCEPTO.	DESCRIPCION DEL SIMBOLO.	PICTOGRAMA.
68	COLUMNA	En planta (son cortadas todas siempre).	Rellenas de negro.	
		En Sección (las cortadas por la línea de sección).	Rellenas de negro.	
69	COLADAS	Depósitos litoquímicos continuos, adosados a las paredes de la cavidad, con forma de "cascada". En planta.	Líneas finas.	
		En sección.	Líneas finas.	
70	COURS	Morfología en "bañera" o pequeña presa, originada por el depósito de un sedimento litoquímico pavimentario, con pendientes variables entre la horizontal (más pequeños) y casi la verticalidad (los de mayor tamaño) de forma escalonada y suelen estar llenas de agua.	Líneas finas; si tienen agua, incluir trama con líneas finas paralelas y horizontales.	
		En Sección.	Líneas finas; si tienen agua, incluir trama con líneas finas paralelas y horizontales.	