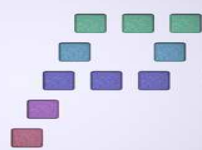


---

**PFC**



**Gestión del Patrimonio Cultural**  
**Nuevas Tecnologías**

---

**Año de realización:**

Noviembre 2005

---

**Método/Equipo**

Topografía clásica

---

**TITULO:** Proyecto e implantación de una red básica mediante GPS para dar cobertura al yacimiento del refugio paleolítico de Cova Gran. Obtención de cartografía y un MDT



## ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN .....	Pág. 3
1.1. Objetivos	
1.2. Localización	
1.3. Reseña histórica	
2. REDES GPS .....	Pág. 5
2.1. Red básica. Enlace con la red geodésica.	
2.2. Red Secundaria	
3. POLIGONAL REALIZADA MEDIANTE TOPOGRAFÍA CLÁSICA .....	Pág. 7
4. RADIACIÓN.....	Pág. 8
5. DISEÑO CARTOGRÁFICO Y EDICIÓN DEL PLANO TOPOGRÁFICO.....	Pág. 8
5.1. Dibujo de los planos	
6. MODELO DIGITAL DE LA CUEVA.....	Pág. 12
7. PRESUPUESTO.....	Pág. 17
8. CONCLUSIONES .....	Pág. 18
9. BIBLIOGRAFÍA.....	Pág. 19

### ANEXOS

#### ANEXO I. PLANOS

## **1. INTRODUCCIÓN**

### **1.1 Objetivos**

Este proyecto surgió como colaboración entre la Universidad Politécnica de Madrid (UPM) con la Universidad Autónoma de Barcelona (UAB) en el trabajo de investigación arqueológico Cova Gran, dirigido principalmente por tres de sus investigadores, D. Rafael Mora Torcal, profesor Titular del Departamento de Antropología Social y Prehistoria de la Universidad Autónoma de Barcelona, por D. Jorge Martínez Moreno, Doctor en Prehistoria de la UAB e Investigador asociado al Centro de Estudios Históricos del CSIC y por Paloma González Marcén, Profesora Titular del Departamento de Antropología Social y Prehistoria de la Universidad Autónoma de Barcelona.

El proyecto se creó con intención de obtener una cartografía del refugio paleolítico y posterior creación de un modelo digital del terreno con vistas a futuras recreaciones de uso arqueológico.

### **1.2 Localización**

La "Cova Gran" se encuentra en las inmediaciones de un pequeño pueblo llamado Santa Linya cercano a Balaguer (en la comarca de La Noguera en la provincia de Lleida, Cataluña) a unos 210 Km al noroeste de Barcelona. El refugio está establecido en el centro de un pequeño y estrecho barranco que se supone fue ocupado en varias ocasiones por los cazadores del Tardiglaciario.



Figura 1: Mapa de localización de la Cova Gran

### 1.3. Reseña histórica

La excavación de la parte del yacimiento comenzó en el año 2002, un año después de su descubrimiento. Los resultados iniciales de la excavación señalan que la "Cova Gran" fue ocupada en varias ocasiones en el Pleistoceno y el Holoceno.

Este yacimiento es importante ya que la actividad cazadora durante estas épocas se ha contrastado tanto en la cara norte de los Pirineos como en la sur, aunque son pocos los emplazamientos arqueológicos que se conocen en esta vertiente. Este contraste entre lo encontrado en el norte y en el sur, plantea importantes dudas arqueológicas al respecto, ya que pone en tela de juicio si fueron los Pirineos una frontera natural durante la transición Pleistoceno-Holoceno y también si las cuestas meridionales de los Pirineos se pueden considerar áreas de atracción para los cazadores del Tardiglaciario-Holoceno.

Desde este punto de vista, la excavación de la "**Cova Gran**" abre una ventana en el pasado, que ampliará el conocimiento arqueológico y explicará si y por qué este área era una "región habitada" durante el último glacial del holoceno temprano.

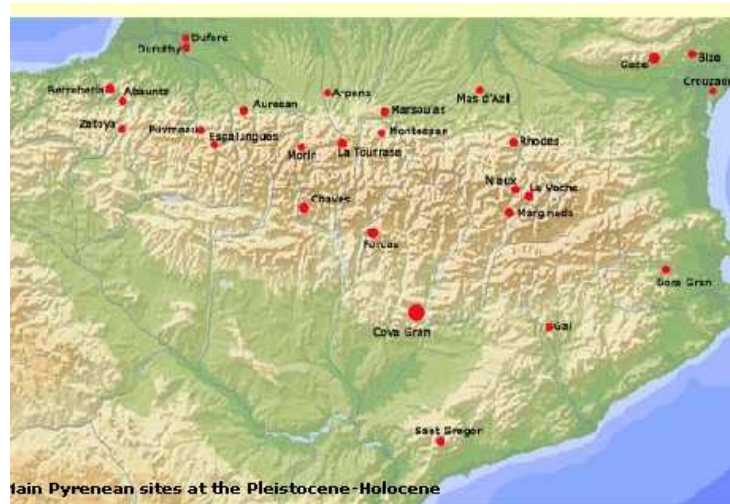


Figura 2: Mapa de localización de yacimientos de la misma época que la Cova Gran

Este trabajo tenía una importancia añadida al constituirse como avance para otros yacimientos, teniendo en cuenta que el mismo equipo arqueológico tiene pendiente los trabajos en otro yacimiento de similares características, situado en una posición muy cercana, denominado "Roca dels Bous".

## 2. REDES GPS

### 2.1. Red básica. Enlace con la red geodésica.

Como se expuso anteriormente, el principal objetivo de este proyecto fue la creación de una red básica que diera cobertura al yacimiento objeto del estudio.

El material utilizado para realizar la observación constó de:

- Tres equipos GPS-300 de Leica con radio-modem y accesorios.
- Tres trípodes rígidos.
- Flexómetro.

Para el cálculo de la red, en primer lugar, se consiguieron los distintos planos a escala 1:50 000 y 1:25 000 de la zona donde está situado el yacimiento así como de los alrededores, para la localización de los vértices que darían cobertura a la red básica. Las hojas de las que se partió fueron las siguientes:

1: 50 000	32-13 (327)
	33-13 (328)
1: 25 000	327(hojas II y IV)
	328(hojas I y III)

Las hojas del 1:50 000 se consiguieron del Servicio Geográfico del Ejército, mientras que las del 1:25 000 las encontramos en el Centro Nacional de Información Geográfica.

Una vez localizados los posibles vértices que podrían utilizarse, se buscaron las coordenadas en los sistemas WGS84 y REGENTE para poder aplicar posteriormente nuestra transformación. Dichas coordenadas se obtuvieron en la página web del Instituto Cartográfico de Cataluña (ICC)- <http://www.icc.es/>. Se decidió realizar la observación a un vértice de la red REGENTE y a otros tres vértices de la red del ICC

A continuación se muestra la relación de los puntos y sus coordenadas:

<b>COORDENADAS UTM 31 N</b>				
<b>NOMBRE ICC</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>Z</b>	<b>NOMBRE RED BÁSICA</b>
<b>253100001</b>	305811,041	4643786,978	1033,693	REGENTE2
<b>257103001</b>	321894,639	4636958,135	573,977	ICC1
<b>257101001</b>	320610,565	6460728,292	949,499	ICC2

Con estos vértices de partida, se decidió radiar un punto fijo en las proximidades de la zona de trabajo, en la localidad de Santa Linya. Una vez obtenidas sus coordenadas ajustadas, a partir de los vértices anteriores, se utilizaría en el cálculo de la Red Básica.

Posteriormente se procedió a buscar los emplazamientos más idóneos para los vértices de la red de cobertura del yacimiento. Ya que los puntos de la red debían servir de base para posteriores campañas, se eligieron de manera que estuvieran en zonas lo suficientemente estables, ayudando además con el uso de cemento y barras de acero corrugado de 50 cm para una mayor estabilidad.

Para la observación de la red se empleó el método estático relativo con un tiempo mínimo de observación para puestas simultáneas de quince minutos. Tras la colocación del receptor en el punto fijo de Santa Linya, se realizó una observación de la red con nueve vértices.

Para el cálculo de la transformación se utilizaron las coordenadas de los vértices de los que se disponían sus coordenadas en ambos sistemas (WGS84 y ED50). Previo al ajuste, fueron calculadas todas las líneas bases posibles por orden de observación. Fijando un punto y dejando otro como móvil, se resolvieron las ambigüedades de cada una de ellas.

<b>Nombre</b>	<b>XUTM</b>	<b>YUTM</b>	<b>Z</b>	<b>dX</b>	<b>dY</b>	<b>dZ</b>
100	3187194,689	46440287,942	4115,993	0,020	0,019	0,017
200	3188009,826	46440119,964	4088,356	0,018	0,019	0,016
300	3181867,731	46439027,752	4206,569	0,018	0,019	0,014
400	3183277,795	46440107,793	4372,215	0,019	0,019	0,017
500	3185318,200	46438530,029	4560,780	0,018	0,019	0,016
600	3187995,774	46437950,836	4782,540	0,021	0,019	0,019
700	3189733,569	46437598,604	4748,838	0,023	0,019	0,020
800	3188383,003	46441491,703	5134,536	0,018	0,019	0,020
900	3186670,585	46442122,929	5185,822	0,018	0,019	0,020

## 2.2. Red Secundaria

Una vez realizada la observación de la red básica, se comenzó con la observación de aquellos vértices de la red secundaria que ayudarían a obtener las coordenadas del refugio.

Se eligieron cuatro puntos para dotarles de coordenadas previamente situados en gabinete de forma que los puntos de salida y llegada y una referencia desde cada uno de ellos para orientar fueran conocidos.

Análogamente a la observación anterior, se realizó una observación empleando el método estático relativo rápido, manteniendo como punto de control el vértice Santa Linya.

Aplicando la transformación de coordenadas mencionada anteriormente se obtuvieron las coordenadas finales de los puntos de la red secundaria a partir de los cuales se levantaría el refugio.

Nombre	XUTM	YUTM	Z	dX	dY	dZ
10 000	3186302,995	4644055,451	4012,313	0,018	0,019	0,020
20 000	3186727,489	46440094,679	3967,021	0,018	0,018	0,012
40 000	3185777,987	46440494,795	4006,847	0,018	0,019	0,015
50 000	3185294,415	46440338,772	4020,601	0,018	0,018	0,018

## 3. POLIGONAL REALIZADA MEDIANTE TOPOGRAFÍA CLÁSICA

Su fin era el de densificar la red y dotar de coordenadas a aquellos vértices de los que no se pudieron realizar observaciones GPS, puntos sobre los cuales se estacionará y efectuará varias radiaciones a puntos del refugio.

Se utilizó la estación total TCR 705 de la casa Leica. Dicha estación permitía realizar la medición de distancias sin prisma reflector mediante rayo láser visible (LR). Así mismo disponía de distanciómetro de infrarrojos para la medición con reflector (IR).

Características técnicas del instrumental:

- Desviación típica en la medida de ángulos:  $\pm 0.5mgon$
- Aumentos del anteojo: 30 X
- Desviación típica en la medida de distancias:
  - Sin prisma reflector: 3 mm + 2 ppm
  - Con prisma reflector: 2 mm + 2 ppm
- Compensador de doble eje.



Instrumental complementario empleado:

- Trípode de madera de la casa Leica.
- Prismas reflectores de la casa Leica.
- Jalones.
- Flexómetro.
- Barras de acero corrugado y clavos acerados.

Figura 3: Estación total TCR 705 de Leica

El método empleado fue el de poligonación. La medición de los ángulos y distancias se hizo mediante la observación directa y recíproca de los puntos anterior y posterior al de estacionamiento, anotando las lecturas acimutales haciendo puntería a la parte mas baja del jalón, con la finalidad de reducir lo más posible el error de dirección. Las lecturas cenitales y medida de distancias se realizaron a la parte central del prisma.

Para el cálculo se emplearon cuatro de los vértices de los que se hallaron sus coordenadas mediante la observación GPS, ya que de ellos se tenían unas coordenadas fiables. Las coordenadas obtenidas se consiguieron con precisiones aceptables y fueron las siguientes:

Nombre	XUTM	YUTM	Z
<b>30 000</b>	318633,437	4644084,298	399,309
<b>60 000</b>	318651,220	4644058,512	398,623
<b>70 000</b>	318600,920	4644080,132	399,423
<b>80 000</b>	318591,352	4644087,625	400,060

#### 4. RADIACIÓN

Con este método se determinaron las coordenadas de los puntos necesarios para la definición tridimensional del modelo.

En este proceso se utilizó la estación total TCR 705 de la casa Leica, ya que gracias al no necesitar prisma reflector, facilitaba la toma de datos en los puntos inaccesibles.

Para la toma de datos se estacionaba el instrumento en los puntos de la red implantada previamente. Se orientaba el aparato observando al punto de la red más lejano y de mejor definición, buscándose referencias lejanas y bien definidas, de las que se toman lecturas horizontal y vertical para poder comprobar posibles movimientos del aparato durante la realización de la observación.

Previamente se habían confeccionado los croquis de las zonas a radiar desde cada una de las estaciones, para anotar en ellos el número de cada punto radiado y facilitar la posterior edición de los datos y se calculó la distancia máxima de radiación, que se estableció en 254 metros.

En cuanto a la precisión del levantamiento, se calcularon los errores máximos longitudinales y transversales. Realizando la componente cuadrática de este valor con la precisión planimétrica del vértice sobre el que se estacionaba, se calculó un error planimétrico de 8.8 mm, menor a la tolerancia del trabajo, que por sus características se determinó en 40 mm. El error altimétrico se calculó en 11.4 mm, siendo la tolerancia altimétrica de 0.2 metros. Por lo tanto, el trabajo se consideró como válido.

#### 5. DISEÑO CARTOGRÁFICO Y EDICIÓN DEL PLANO TOPOGRÁFICO

Las fases anteriores de captura y tratamiento de los datos para definir geoméricamente la cueva, dieron como resultado una nube de puntos a partir de la cual y con la ayuda de los croquis de campo, se elabora un plano topográfico a escala 1:200. Para la realización de esta fase se empleó el programa de CAD Microstation.



### 5.1. Dibujo de los planos

En esta fase se procede a la correcta unión de los puntos, con la ayuda de los croquis realizados en campo y el código introducido en el aparato en el momento del registro de los datos.

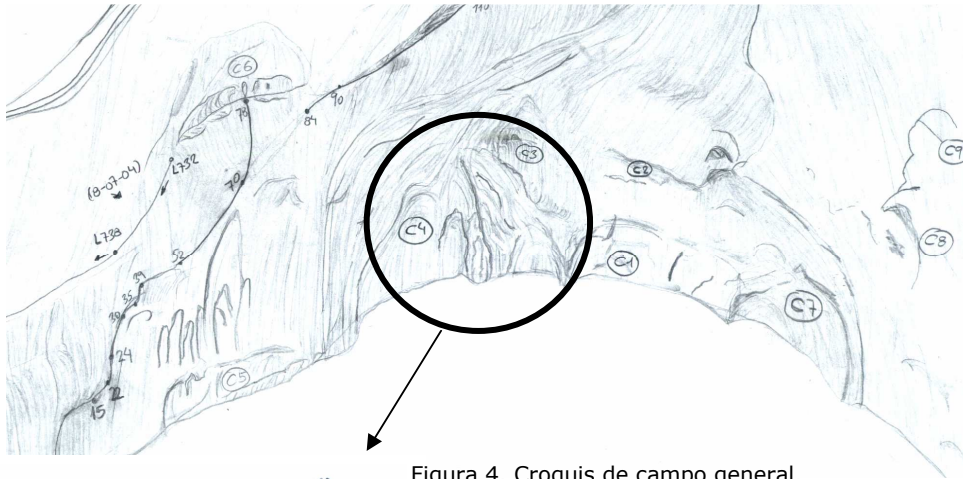


Figura 4. Croquis de campo general.

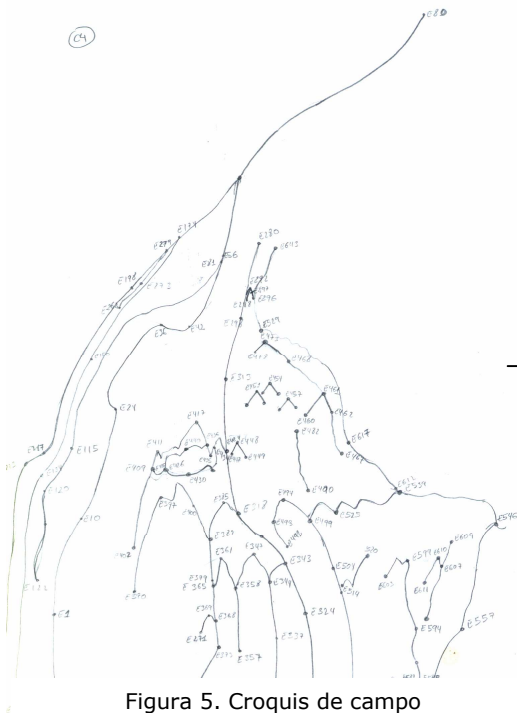


Figura 5. Croquis de campo

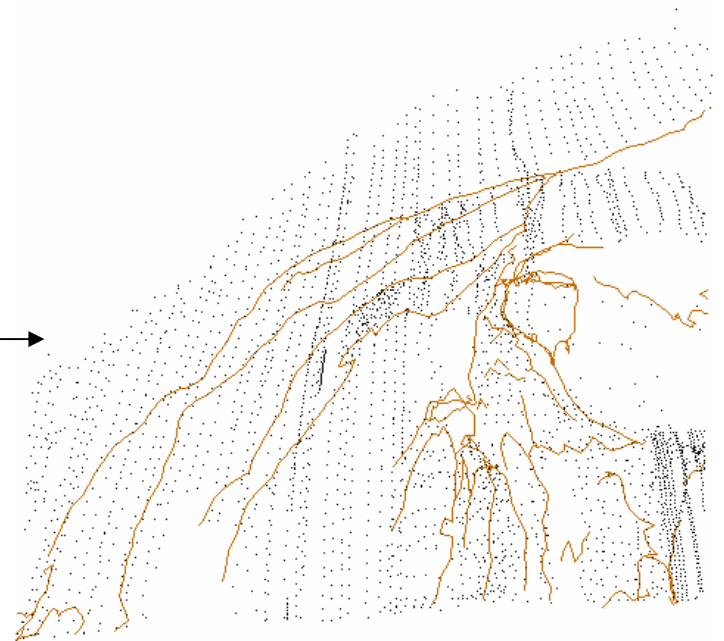
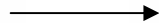
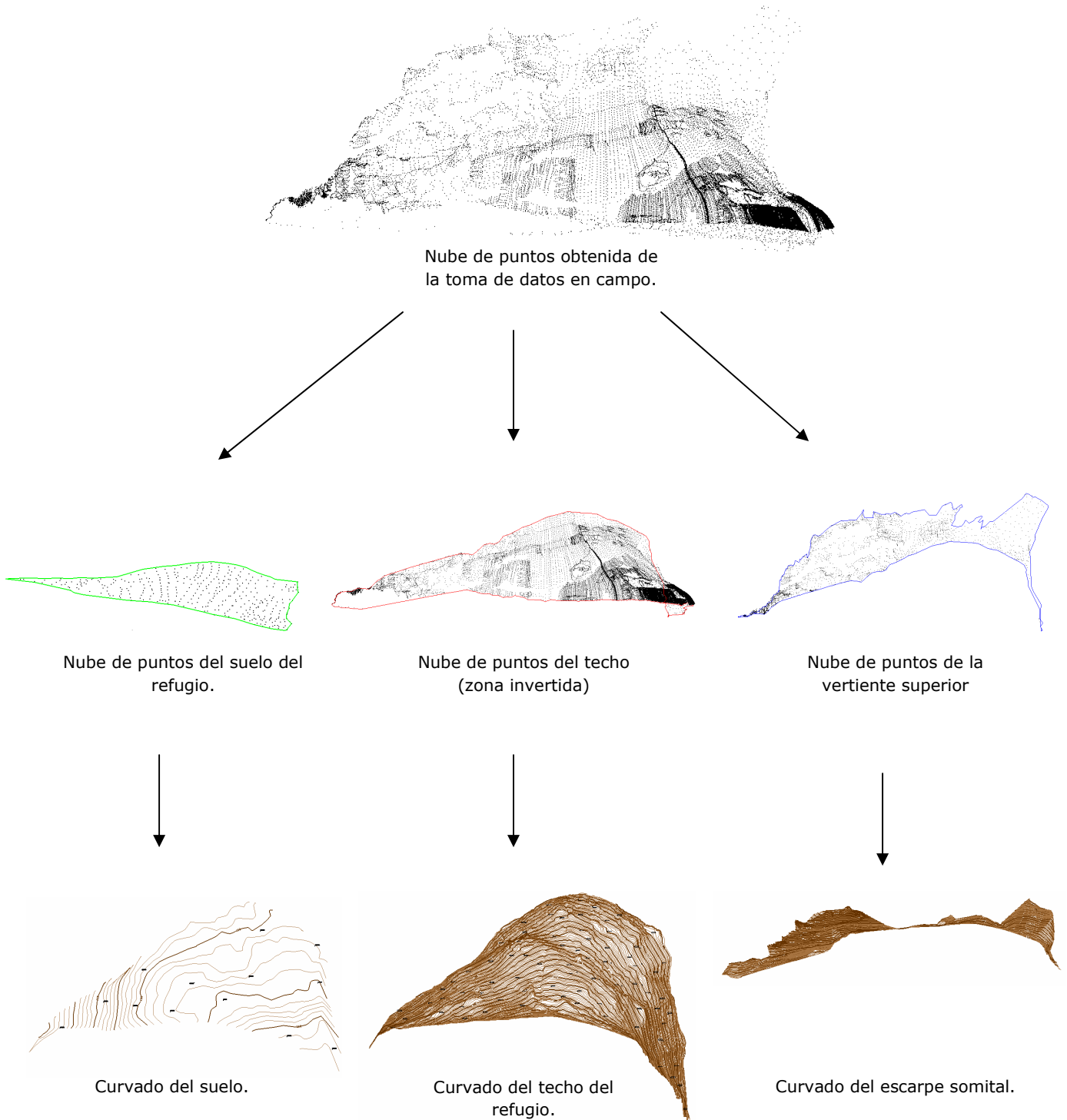


Figura 6. Unión de puntos para obtención de líneas de ruptura.

En el diseño de los símbolos se tuvieron en cuenta las normas cartográficas establecidas para la escala a la que fueron realizados los planos y las reglas lógicas que permiten una buena legibilidad.

La representación del relieve se efectuó mediante curvas de nivel de 0.2 m de equidistancia en el plano a escala 1:200, completado con una serie de puntos acotados. Para la obtención de las curvas de nivel en las zonas de solape vertical, se separó la información y se realizaron modelos y curvados diferentes para cada zona, ya que los programas no estaban preparados para resolver los conflictos que se generan con esta clase de solape.

A continuación se muestra un diagrama para explicar el flujo de trabajo seguido para diferenciar las distintas partes de la cueva.



De esta forma se tenían tres juegos de curvas de nivel, uno del suelo de la cavidad, otro de su techo y el último de la vertiente superior. Todos se superponían en el mismo espacio horizontal.

El problema aparecía cuando se hacía patente la necesidad de superponer en planta la información resultante de los curvados anteriores, ya que la intersección de curvas de nivel era inevitable. Para solucionarlo se planteó la utilización de líneas discontinuas para aquellas zonas cuya información perteneciera a un nivel inferior.

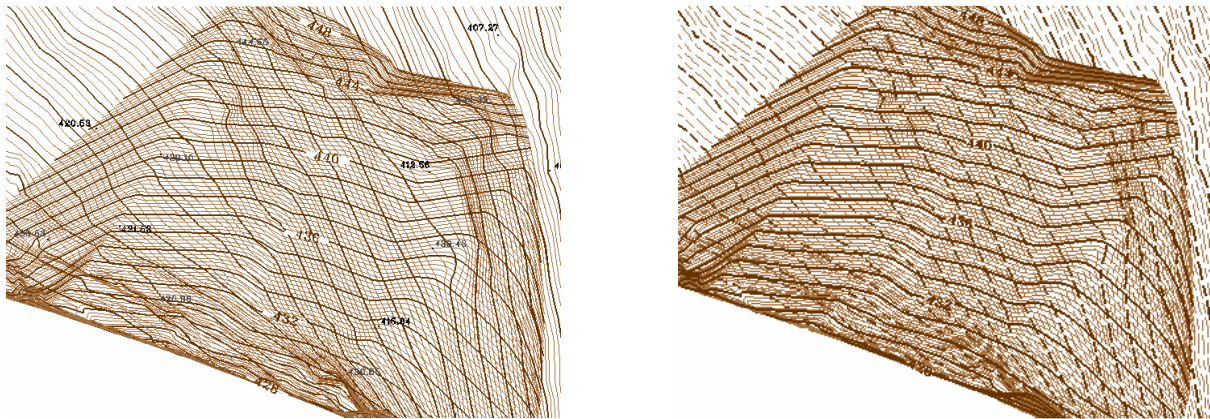


Figura 7: Curvado sin y con líneas discontinuas

En estas zonas de intersección, se insertaban líneas perimetrales rodeando el contorno de aquellas curvas de nivel que poseyeran menor cota, siempre y cuando su aparición mejorara la lectura del plano.

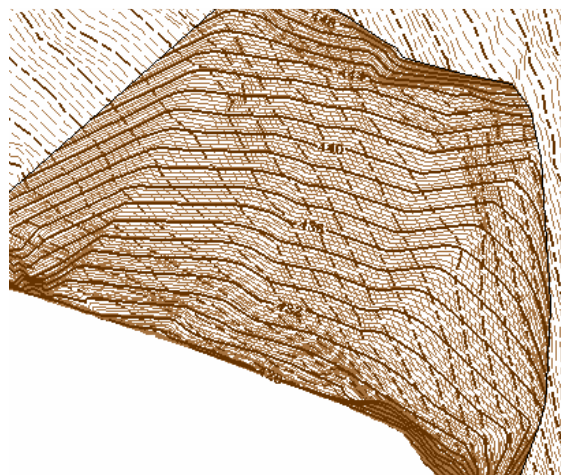


Figura 8: Curvado con líneas discontinuas y perimetrales

Además y dado que la utilización única de este criterio generaba una representación de las curvas de nivel confusa, se decidió la utilización de diferentes colores en las curvas de nivel: grises para las curvas de nivel de las zonas inferiores y marrones para las curvas de nivel de las zonas superiores.

Para terminar de diferenciar lo que era el techo de la cavidad (roca) de lo que era suelo, se hacía necesario el uso de una simbología superficial. Para el suelo se utilizó un patrón

superficial emulando la tierra y para la zona de roca maciza se empleó otro color. De esta forma se conseguía una lectura del plano rápida y clara.

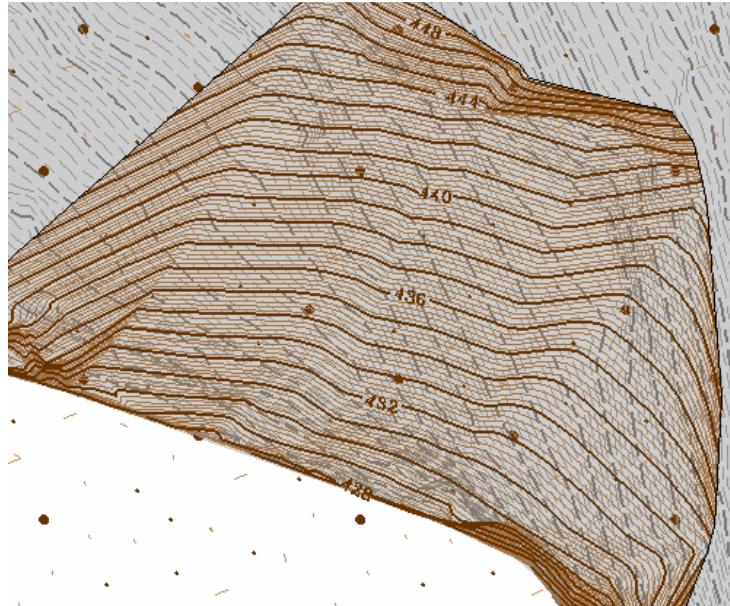


Figura 9. Roca maciza en gris continuo. Suelo patrón superficial puntos y rayas marrones. En la cavidad ambos patrones coinciden superficialmente.

## 6. MODELO DIGITAL DE LA CUEVA

Para la elaboración del modelo digital de la cueva se empleó el programa MGE, cuya aplicación Terrain Analyst es específica para la creación, manipulación, edición, visualización y análisis de modelos digitales.

Para la realización del MDT era necesario dibujar las líneas estructurales del terreno (líneas que indican un cambio de pendiente brusco en el relieve) y las zonas oscuras (zonas en las cuales no se desea que aparezca el modelo digital).

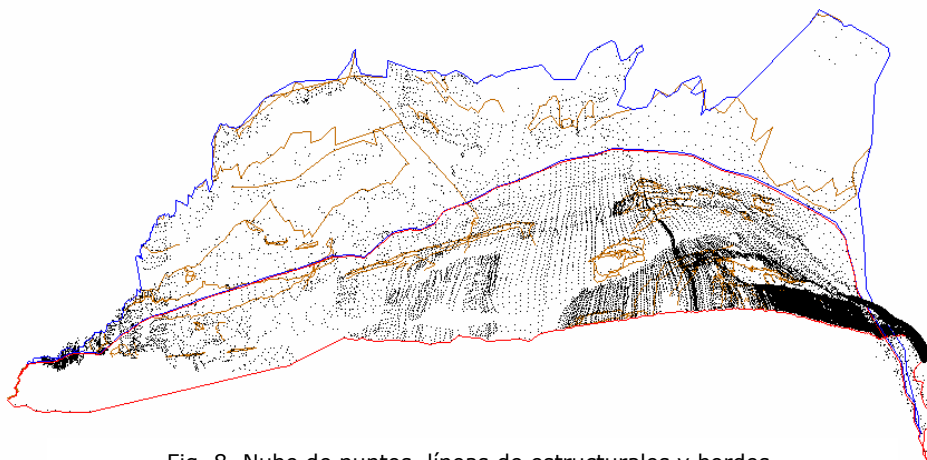


Fig. 8. Nube de puntos, líneas de estructurales y bordes.

El paso siguiente fue la creación de una malla triangular. A partir de esta malla, se generó por interpolación lineal, el curvado del modelo correspondiente al plano a escala 1:200. La equidistancia fue 0,2 metros. Una vez realizado el curvado, se pasó a la edición de las curvas de nivel, eliminando los posibles errores introducidos al aplicar el algoritmo de suavizado, tales como cruces entre distintas curvas, picos no suavizados correctamente o intersecciones con elementos artificiales excesivamente suavizadas.



Figura 9: Imagen del curvado en planta del techo de la cavidad

A continuación se realizó una interpolación para crear la malla regular GRID. El objetivo de la generación de la malla regular es la visualización tridimensional de la misma junto con la reconstrucción tridimensional del refugio.

Se tomaron diversas vistas de los resultados obtenidos de la cueva y del entorno de esta, los cuales se muestran a continuación.

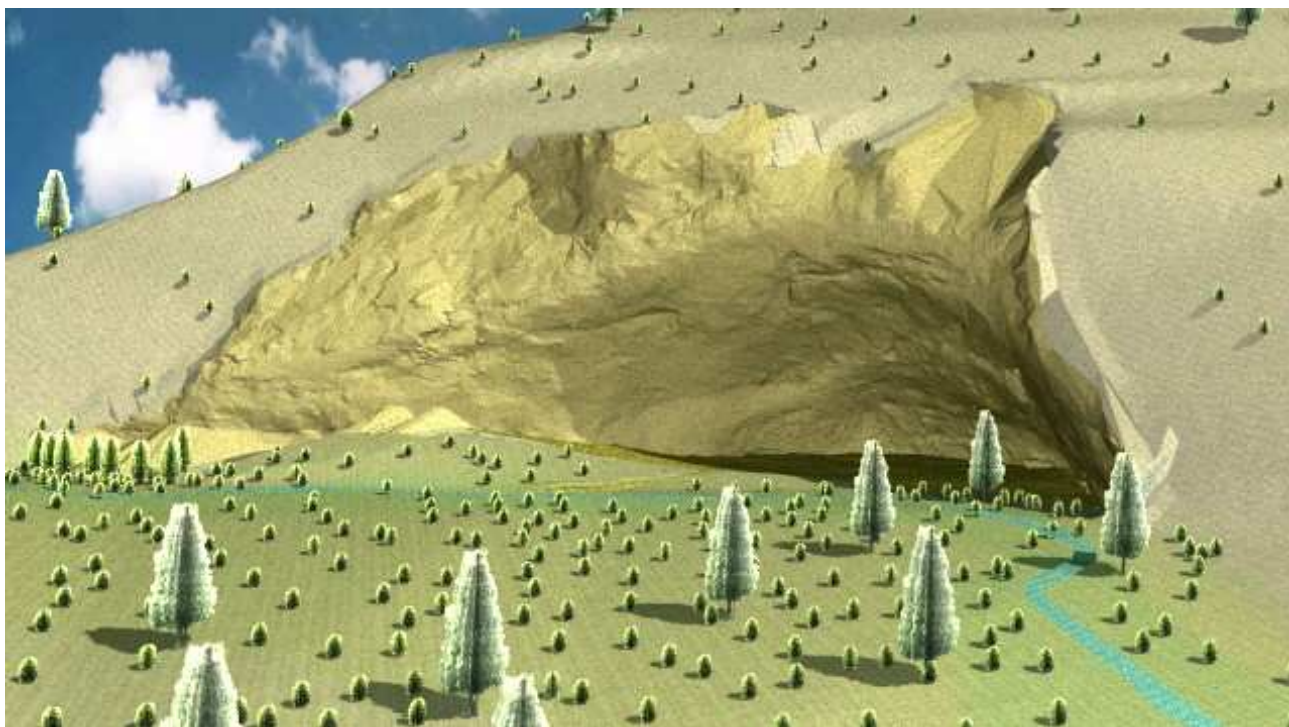


Figura 10. Imagen general del refugio

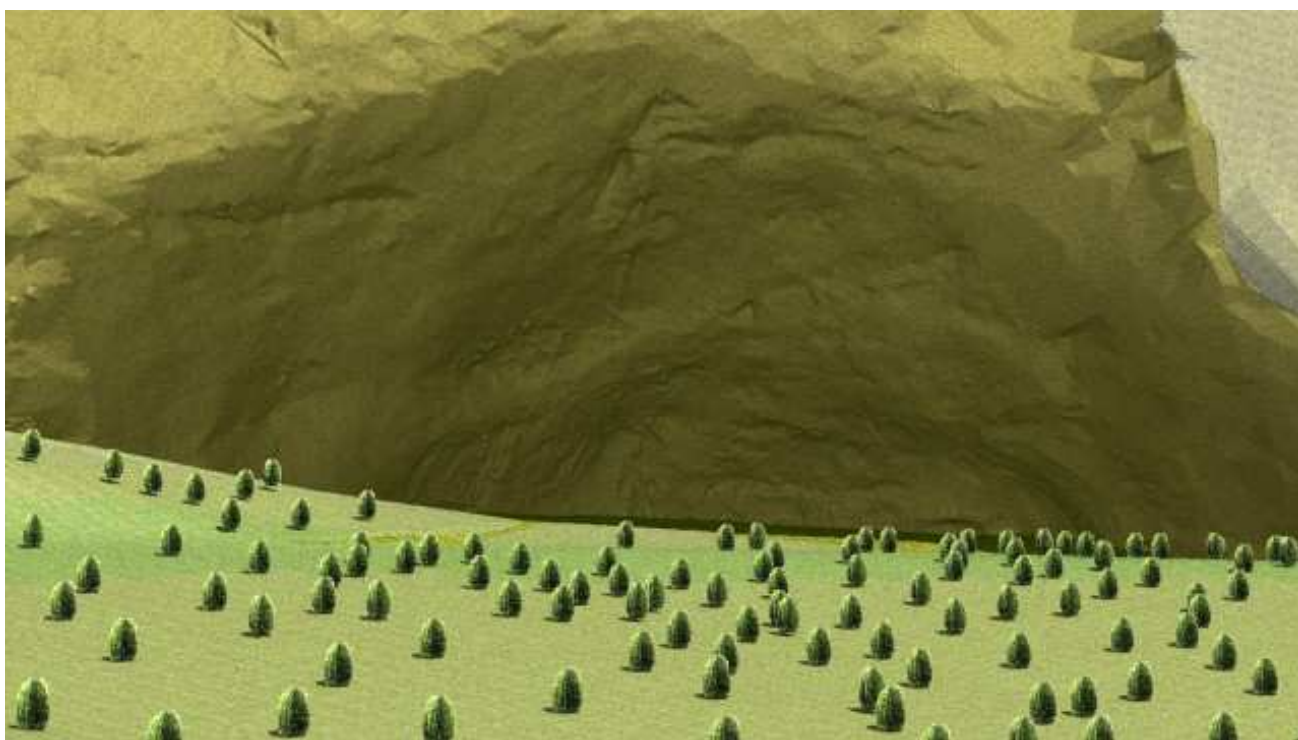


Figura 11. Imagen frontal de la cavidad

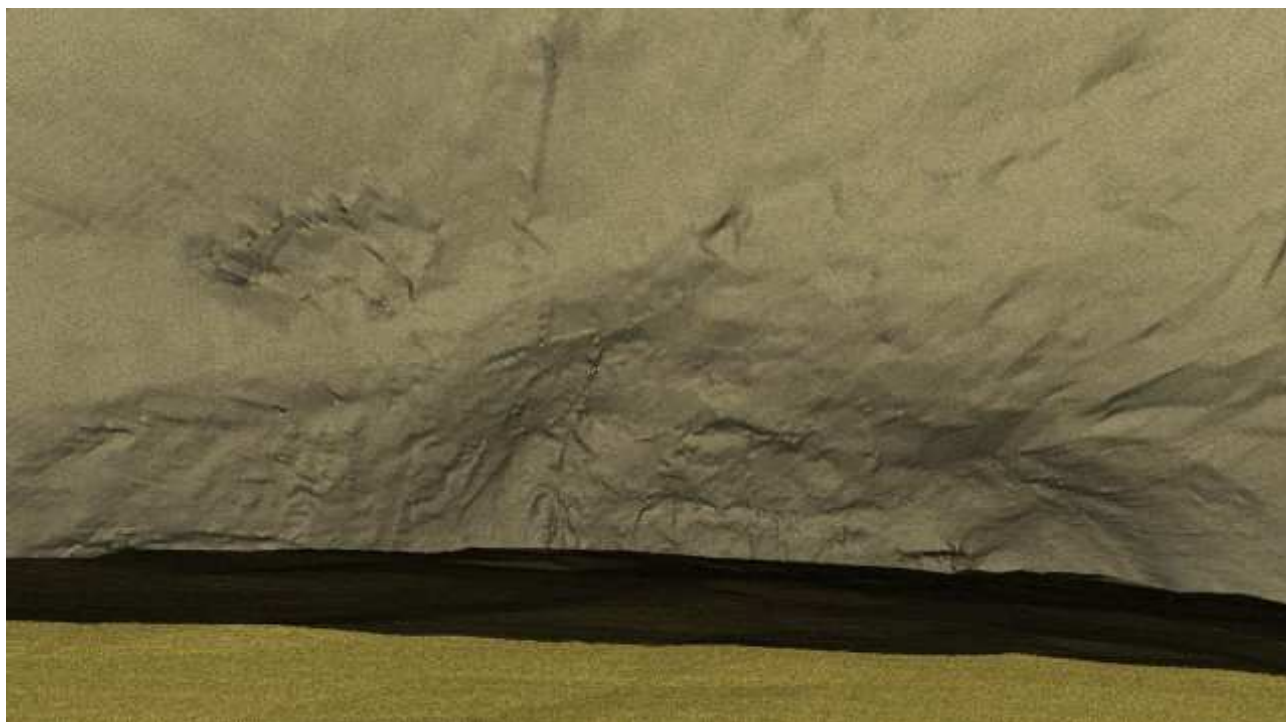


Figura 12. Imagen en detalle de la parte frontal de la cavidad

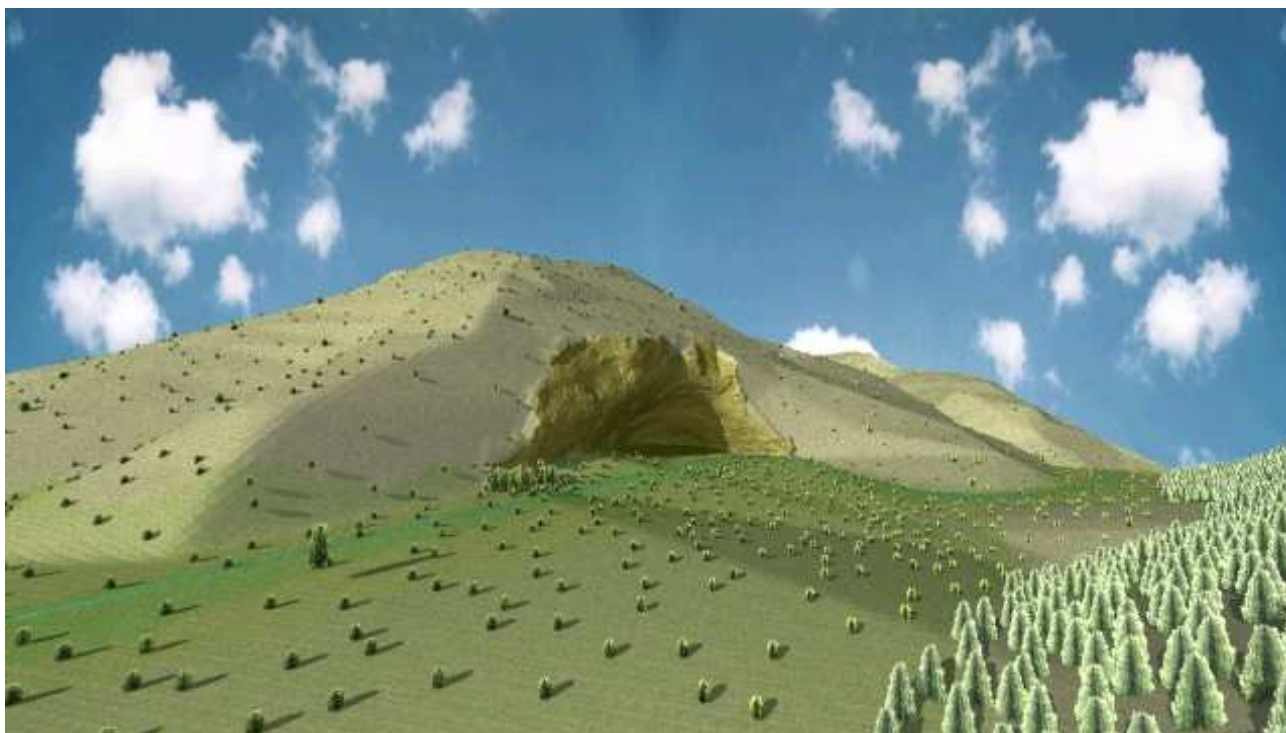


Figura 13. Imagen general del refugio

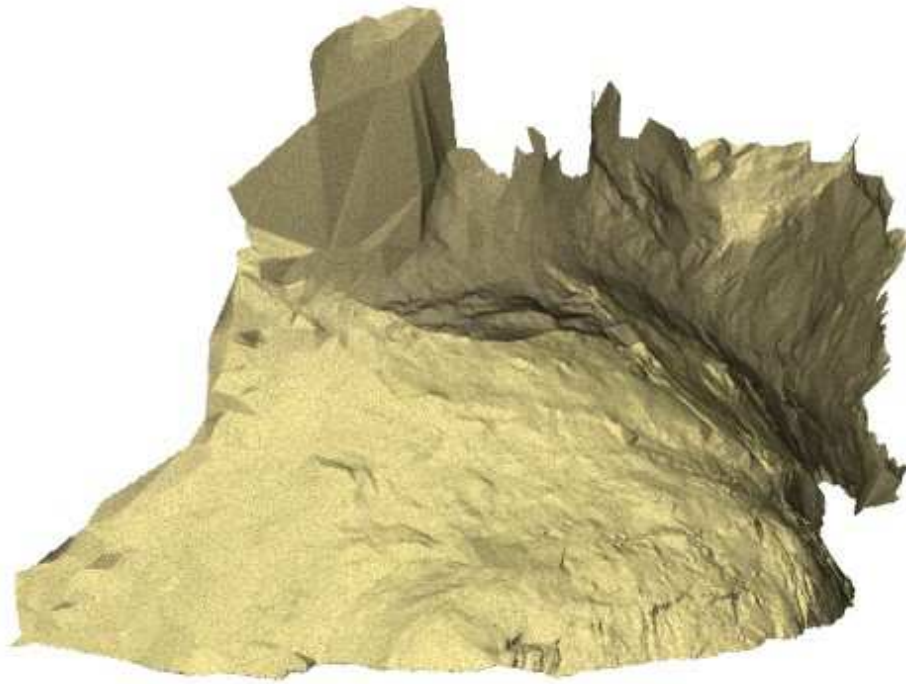


Figura 14. Imagen trasera del refugio

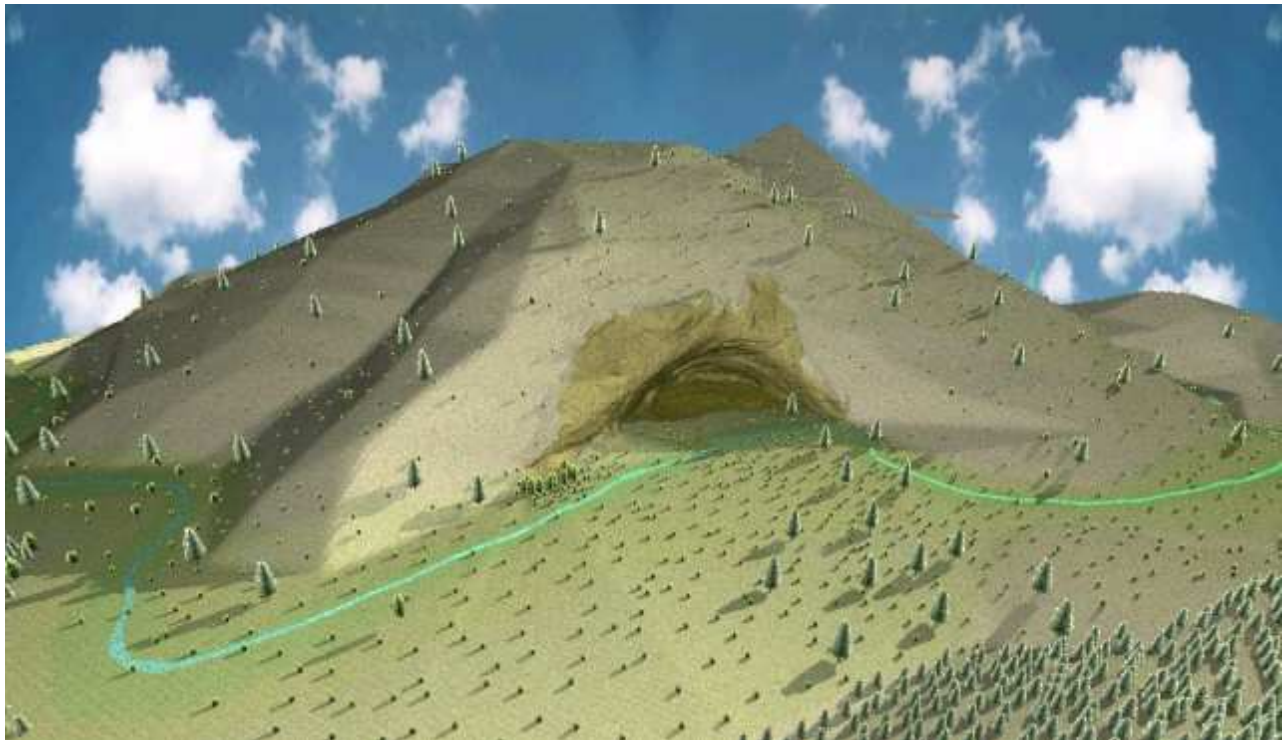


Figura 15. Imagen general de la cavidad con el Sol a las 9 a.m.



## 7. PRESUPUESTO

La elaboración de este presupuesto se realizó utilizando el programa Microsoft Project.

	Nombre de tarea	Costo total
1	<input type="checkbox"/> <b>Cova Gran</b>	<b>40.374,00 €</b>
2	<input type="checkbox"/> <b>Trabajos preliminares</b>	<b>1.069,00 €</b>
10	<input type="checkbox"/> <b>Trabajo de campo</b>	<b>7.145,00 €</b>
27	<input type="checkbox"/> <b>Trabajo de gabinete</b>	<b>32.160,00 €</b>
2	<input type="checkbox"/> <b>Trabajos preliminares</b>	<b>1.069,00 €</b>
3	Recopilación de informes	440,00 €
4	<input type="checkbox"/> <b>Preparación del trabajo</b>	<b>629,00 €</b>
5	Obtención de cartografía y fotografías	110,00 €
6	Identificación de vértices	60,00 €
7	Obtención de coordenadas	60,00 €
8	Preparación del equipo de trabajo	399,00 €
9	Fin de los trabajos preliminares	0,00 €
10	<input type="checkbox"/> <b>Trabajo de campo</b>	<b>7.145,00 €</b>
11	<input type="checkbox"/> <b>GPS</b>	<b>1.210,00 €</b>
12	<input type="checkbox"/> <b>Red</b>	<b>850,00 €</b>
13	Reconocimiento de la zona	130,00 €
14	Localización de vértices	260,00 €
15	Observación con señalización	460,00 €
16	<input type="checkbox"/> <b>Poligonal</b>	<b>360,00 €</b>
17	Implantación	130,00 €
18	Observación	230,00 €
19	<input type="checkbox"/> <b>Topografía clásica</b>	<b>5.535,00 €</b>
20	<input type="checkbox"/> <b>Poligonal</b>	<b>299,00 €</b>
21	Implantación de bases intermedias	130,00 €
22	Observación	169,00 €
23	<input type="checkbox"/> <b>Radiación</b>	<b>5.236,00 €</b>
24	Toma de puntos	5.236,00 €
25	Toma de fotografías para el modelo	400,00 €
26	Fin del trabajo de campo	0,00 €

27	<input type="checkbox"/> <b>Trabajo de gabinete</b>	<b>32.160,00 €</b>
28	<input type="checkbox"/> <b>GPS</b>	<b>840,00 €</b>
29	Volcado de datos y edición de datos	240,00 €
30	Cálculo de coordenadas y ajuste	600,00 €
31	<input type="checkbox"/> <b>Topografía clásica</b>	<b>960,00 €</b>
32	Volcado de datos y edición de datos	240,00 €
33	Cálculo de coordenadas y ajuste	720,00 €
34	<input type="checkbox"/> <b>Diseño cartográfico</b>	<b>1.560,00 €</b>
35	Diseño de los planos	720,00 €
36	Edición de los planos	600,00 €
37	Impresión de los planos	240,00 €
38	<input type="checkbox"/> <b>Reconstrucción tridimensional del refugio</b>	<b>4.800,00 €</b>
39	Dibujo del refugio	2.400,00 €
40	Asignación de materiales y de la iluminación	2.400,00 €
41	<input type="checkbox"/> <b>Formación del modelo digital</b>	<b>600,00 €</b>
42	Creación del modelo	600,00 €
43	Generación de la película	600,00 €
44	<input type="checkbox"/> <b>Edición de la información</b>	<b>5.760,00 €</b>
45	Edición de la memoria	3.600,00 €
46	Edición de las imágenes	1.800,00 €
47	Edición de los videos	360,00 €
48	Fin del trabajo de gabinete	17.040,00 €

El coste total fue de 53.858 euros.

## 8. CONCLUSIONES

En cuanto a las metodologías empleadas se concluyó que el uso de los receptores GPS para la toma de datos resultó decisiva a la hora de la implantación de la red, pues se tradujo en un ahorro de tiempo muy importante. Sin embargo, uno de los inconvenientes que se presentaron fue la imposibilidad para observar todos los puntos que se hubiese deseado, porque por las características propias del método era imposible realizar ciertas observaciones.

Gracias a la topografía clásica se pudo terminar la red utilizada para la radiación de los puntos del refugio, pero requirió de un estudio previo de la colocación de los vértices para tener intervisibilidad entre ellos.

Por último, del modelo tridimensional del terreno y de la cartografía, se matizó que aunque a día de hoy existen herramientas informáticas que permiten la creación de

modelos, aún no están preparadas para resolver los conflictos que se generan cuando existen zonas de solape vertical, lo que obliga a la separación de la información en niveles, para su posterior tratamiento. Estas tareas se acaban convirtiendo en las más laboriosas

#### Agradecimientos

A José Manuel Castaño y Fabián Estebarán, y a todos los tutores y alumnos que han hecho posible el proyecto y la redacción de este informe.

## 9. BIBLIOGRAFÍA

- **Cid Palacios, Rafael; Ferrer Martínez, Sebastián.** "Geodesia Geométrica, Física y por Satélite". Ministerio de Obras Públicas y Transportes, 1992.
- **Núñez-García del Pozo, Alfonso; Valbuena Durán, José Luis; Velasco Gómez, Jesús.** "G.P.S La nueva era de la Topografía". Ediciones Ciencias Sociales. 1992.
- **Martín López, J; Vázquez Maure, F.** "Lectura de Mapas". EUIT.Topográfica. FGEUPM
- **INTERGRAPH.** Manuales de Microstation J.
- **INTERGRAPH.** Manuales de MGE Terrain Analyst.
- **LEICA.** Manuales GPS Leica System 300.
- **LEICA.** Manual Leica TPS Performance Series.
- Diccionario de la Real Academia de la Lengua Española.
- Enciclopedia interactiva "Encarta 2005".

#### Proyectos fin de carrera:

- **Bohigas Roldán, Ana.** "Topografía arqueológica. Obtención de la cartografía a escala 1: 100 del yacimiento arqueológico de Tuqueibah (Emirato de Sharjah)". No publicado.
- **Alonso Rodríguez, Miguel Ángel.** "Levantamiento topográfico del interior de la cúpula de la basílica del Monasterio del Escorial". No publicado.
- **Bodas Bodas, Carlos; Vélez Martínez, José Juan.** "Proyecto e implantación de una Red Básica mediante GPS para posteriores levantamientos de detalle arqueológicos en el yacimiento de Tuqueibah (Emirato de Sharjah). Levantamiento a escala 1: 1 000 con receptores GPS". No publicado.

#### Paginas web consultadas:

- <http://www.icc.es/>
- <http://www.leica-geosystems.com>
- <http://seneca.uab.es/arqueologia.htm/>

# **ANEXO I. PLANOS**

ANEXO I. PLANOS

