

MUNIBE (Ciencias Naturales - Natur Zientziak)	Nº 49	3-47	SAN SEBASTIAN	1997	ISSN 0214-7688
---	-------	------	---------------	------	----------------

Estudio espeleológico de Aitzbitarte.

Spelaeological study of Aitzbitarte

PALABRAS CLAVE: Aitzbitarte, Topografía, Espeleología, Geología, Climatología, Hidrogeología, Gipuzkoa.

KEY WORDS: Aitzbitarte, Topography, Spelaeology, Geology, Climatology, Hydrogeology, Gipuzkoa.

GAKO-HITZAK: Aitzbitarte, Topografia, Espeleologia, Geologia, Klimatologia. Hidrogeologia, Gipuzkoa.

Javier MANTECA*

Román MUÑOZ*

Iñigo MUTILOA

Koldo SANSINENEA*

Mariví SANTAFOSTA

RESUMEN

El karst de Aitzbitarte es un afloramiento calizo de reducida extensión, en el cual se localizan diferentes cavidades, varias de las cuales albergan yacimientos arqueológicos y/o paleontológicos. Estas cavidades figuran entre las primeras estudiadas de Euskal Herria y aún hoy se realizan en ellas trabajos de excavación arqueológica. A pesar de ello, quedaba pendiente un estudio conjunto del macizo a nivel espeleológico.

El estudio del karst de Aitzbitarte fue planteado en un principio como un trabajo cartográfico, el cual debía a continuación servir de base para elaborar hipótesis sobre el funcionamiento hidrogeológico del macizo y su evolución. En efecto, la ubicación y topografía precisa de cada una de las cavidades conocidas de Aitzbitarte, estaba por acometer, a pesar de su fama arqueológica. Igualmente se ha elaborado un inventario escrupuloso de las cavidades del macizo, el cual ha pasado de 8 a 35 cavidades catalogadas. Se ha llevado a cabo una cartografía geológica precisa. Finalmente se efectuaron ensayos con trazadores para hallar las direcciones de drenaje.

SUMMARY

The Aitzbitarte karst is a limestone outcrop of small extent, in which are located different cavities, several of which contain in both archaeological and/or paleontological beds. These cavities are among the first studied in The Basque Country and still today archaeological excavations are carried out. In spite of this a whole study of the massif at a spelaeological level remained pending.

The Aitzbitarte karst study was conceived at the beginning as a cartographic study, which would, at a later date, have to serve as a basis to elaborate hypotheses about the hydrogeological functioning and evolution of the massif. In effect, the situation and precise topography of each of the known cavities of the Aitzbitarte, was to be carried out, despite its archaeological fame. In the same way a scrupulous inventory has been elaborated the massif cavities. This has risen from 8 to 35 catalogued cavities. A precise geological mapping has been carried out. Finally, tests were made with tracers to find out drainage directions.

LABURPENA

Aitzbitarteko karsta zabalera urriko kareharrizko eraketa dugu eta bertan hainbat haitzulo aurkitzen dira, horietako batzuek aztarnategi arkeologiko edota paleontologikoak gordetzen dituztelarik. Euskal Herrian ikertutako lehenengo leizezuloen artean daude haitzulo hauetako batzuk, bertan gaur egun ere oraindik indusketa arkeologikoetarako lanak burutzen ari direlarik. Hala eta guztiz ere, multzo geologiko osoaren espeleologi azterketaren bat egiteke zegoen.

Aitzbitarteko karstaren ikerketa hasiera batez lan kartografiko gisa bideratu zen, bera multzoaren funtzionamendu hidrogeologikoaren eta bere eboluzioaren inguruko hipotesia sortzeko balio behar zuena. Izan ere, Aitzbitarten ezagutzen zen haitzulo bakoitzeko kokapen eta topografia zehatzak burutu gabe zeuden. Era berean, multzoaren leizezuloen inbentario sakona gauzatu da, 8 haitzulo katalogatuetatik 35era pasatu delarik. Kartografia geologiko egokia egin da. Azkenik, trazatzaileen bidezko saiakuntzak garatu dira dreinairen norabidea ezagutu ahal izateko.

1 - INTRODUCCION

El macizo de Aitzbitarte es un afloramiento calizo de reducida extensión, situado en el término municipal de Rentería (Gipuzkoa). A pesar de su

escaso tamaño no carece de interés, ya que presenta una serie de cavidades interrelacionadas, las cuales albergan diversos yacimientos arqueológicos. Concretamente el yacimiento de Aitzbitarte 4 se descubrió en fecha tan temprana como 1892, siendo el primer hallazgo del Paleolítico en toda Euskal Herria. Desde entonces se han llevado a

* Departamento de Karstología. Sociedad de Ciencias Aranzadi. Alto de Zorroaga. 20014 Donostia-San Sebastián.

cabo numerosas campañas de excavaciones arqueológicas y se han elaborado topografías parciales de algunas cavidades. Sin embargo quedaba pendiente un estudio global del macizo a nivel multidisciplinario, por lo cual se decidió abordar esta tarea, a fin de mejorar el conocimiento que se tiene del mismo. Este estudio constituye la primera base de trabajo y sus conclusiones deben considerarse provisionales. Otros estudios parciales seguirán a este con el fin de completar datos y comprobar las hipótesis elaboradas.

Los métodos topográficos utilizados conjugan las técnicas de la topografía espeleológica y de la topografía clásica exterior, obteniéndose precisiones que rara vez se alcanzan en este tipo de trabajos. La utilización del taquímetro en el interior de dos cuevas, además de en las principales poligonales exteriores, no sólo elevó la precisión de las mediciones efectuadas, también supuso una prueba de su rendimiento y efectividad respecto a las técnicas clásicas de la topografía espeleológica.

Unido al trabajo topográfico mencionado, se tocaron aspectos hidrogeológicos, incluyendo toma de buzamientos de estratos, cartografía geológica del área, coloración de sumideros y determinación de caudales de los manantiales de la zona, cuya principal finalidad fue desentramar la caprichosa circulación del agua al atravesar este macizo calcáreo. Todas las cavidades estudiadas tienen una relación en el conjunto de Aitzbitarte. Varias de éstas se encuentran estrechamente interrelacionadas desde el punto de vista hidrológico y morfológico. Una primera interpretación global y sectorial ha sido posible gracias a las tareas anteriores.

También es de destacar la labor de prospección y exploración realizada para encontrar nuevas cavidades y/o galerías desconocidas hasta el momento. En algunas de estas inspecciones fueron localizados yacimientos paleontológicos cuya importancia se halla aún sin determinar.

Las cartografías de las cavidades, estudiadas en su conjunto, han permitido elaborar las primeras hipótesis sobre el origen y evolución de cada uno de los fenómenos kársticos existentes en el macizo de Aitzbitarte, así como apuntar las primeras interrelaciones existentes entre los diversos fenómenos endokársticos. También se ha pretendido que puedan servir a cualquier persona para comprender, sin dificultad, aspectos fundamentales como la forma general de la cueva, su extensión, su profundidad, la disposición espacial de las galerías, sus rellenos sedimentarios, las circulacio-

nes de agua que eventualmente pueda albergar, etc. A esta aplicación de las cartografías diseñadas, hay que añadir otras de muy diferente índole, como es la arqueológica, geomorfológica, hidrogeológica o medioambiental.

En definitiva, este proyecto ha supuesto un estudio integral del macizo kárstico de Aitzbitarte, en el que se ha fusionado el trabajo de técnicos de diferentes especialidades como son la arqueología, espeleología, geología y topografía.



Foto 1.- Afloramiento calizo de Aitzbitarte. Bocas de AI - 4 (superior) y AI - 3 (inferior)

2 - LOCALIZACION

El monte Aitzbitarte (320 m.snm) se encuentra ubicado en el borde NW del macizo de Cinco Villas, dentro del término municipal de Rentería (Gipuzkoa). (Coordenadas UTM: X: 589883, Y: 4790866, Z: 320)

El área de estudio de este proyecto se localiza en el afloramiento calcáreo de Aitzbitarte que se encuentra entre las regatas llamadas Landarbaso y Antxulo y llega hasta el aparcamiento de Listorreta.

La caliza aflora como un extenso lapiaz con sus típicas formas. El lapiaz está semi-cubierto por una exuberante vegetación de carácter atlántico. Puede definirse como un bosquete mixto caducifólico en el que pueden encontrarse ejemplares de tejo (*Taxus baccata*), acebo (*Ilex aquifolium*), etc...

La localidad a través de la cual se accede al macizo de Aitzbitarte es Rentería. Por las carreteras comarcales GI-3671 y GI-3672, se llega a Ventas de Perurena. Así mismo se puede acceder a este lugar, por la carretera comarcal GI-2132 que une las localidades de Astigarraga y Oiartzun. Desde Perurena se sigue una carretera local durante 3 km y tras llegar al parque de Listorreta se toma una pista descendente hacia la derecha, que nos conduce hasta el solar de la antigua central hidroeléctrica de Landarbaso. De este lugar parte un pequeño sendero que bordea la regata Landarbaso, y tras atravesarlo, se accede a las cuevas inferiores de Aitzbitarte.

El acceso idóneo a la parte más alta del macizo o a la regata de Aldura se encuentra a 50 m del caserío Aitzbitarte. Para llegar a este punto se sigue la carretera asfaltada desde Listorreta llegando a un aparcamiento en el que comienza una pista de cemento que se dirige al restaurante Susperregi. A partir de aquí se accede al resto de las cavidades del macizo.

3 - TOPOGRAFIA - CARTOGRAFIA

3.1.- Introducción

La Topografía Espeleológica se basa en métodos y técnicas desarrolladas en el exterior, pero con ciertas simplificaciones debido a que en muchos casos estas técnicas son muy laboriosas o incluso inviables en el interior de una cavidad. Esto es debido a la dificultad que entraña el trabajar en este medio, la importancia que tiene el factor tiempo en la Espeleología y sobre todo las limitaciones que presentan los instrumentos y métodos topográficos. Por tanto, ante un trabajo de Topografía Espeleológica hay que plantearse qué métodos se pueden utilizar en función de las precisiones requeridas.

3.2.- Referenciación geográfica de una cavidad

Cuando se topografía una cavidad, se toma un punto de partida (generalmente suele estar en la boca de la cueva) que representa el origen del sistema de coordenadas establecido (0,0,0). Pero pa-

ra ubicar la cavidad en un mapa convencional, se dota a este punto origen, de unas coordenadas en un sistema absoluto (por ejemplo UTM).

Es evidente que el error que se cometa al situar este punto se trasladará a todos los puntos que forman la cavidad, por tanto, el método a emplear debe ofrecer la mejor relación laboriosidad - previsión posible. Los métodos más utilizados son:

— INTERSECCION DIRECTA.

Este método es rara vez utilizado, ya que es el más laborioso. Consiste en efectuar visuales desde al menos dos puntos de coordenadas conocidas (generalmente vértices geodésicos) al punto cuyas coordenadas queremos hallar.

— INTERSECCION INVERSA.

Es el método que normalmente se utiliza. A pesar de ser menos exacto que la intersección directa, es menos laborioso, ya que únicamente requiere el estacionamiento en el punto a situar y la visualización de al menos tres puntos de coordenadas conocidas.

— POLIGONAL.

Si la misión es situar un sistema subterráneo importante con varias bocas, o situar sobre la topografía varias cuevas próximas, se suele realizar una poligonal exterior cerrada, es decir, que empiece y finalice en un punto de coordenadas conocidas.

Se realizan lecturas de ángulos verticales y horizontales y también se miden distancias. La poligonal tiene la ventaja de poder dotar a los puntos que interesan de cota trigonométrica y además la precisión es homogénea para todo el sistema.

— FOTOGRAFIA AEREA.

De los posibles métodos, éste es el más impreciso pero el más rápido. Consiste en reconocer la boca de entrada de la cavidad sobre dos fotografías contiguas, en visión estereoscópica. Es un método que servirá para situar sobre una cartografía el punto buscado, pero no para hallar sus coordenadas de una forma precisa.

Con ayuda de las fotografías podremos hacer también un croquis de situación, señalando caminos, edificios y red hidrográfica. En general, también se podrán distinguir los diferentes tipos de roca, vegetación, etc...

—GPS.

El GPS (Sistema de Posicionamiento Global) es un sistema que supera todos los condicionantes comentados. Consiste en un receptor que recibe la información de diferentes satélites artificia-

les, que mediante un software adjunto es traducida en unas coordenadas.

Puede ser utilizado de dos formas: para posicionamiento **absoluto**, únicamente con un receptor, sin posibilidad de comprobación de los resultados y con unas precisiones que no llegan a las tolerancias de la topografía; y en sistema **relativo**, en el que se utilizan dos receptores: uno se estaciona en el punto cuyas coordenadas se quieren hallar y el otro se coloca sobre un punto de coordenadas conocidas, de forma que lo realmente interesante sea el incremento de coordenadas entre ambos puntos. La precisión de este segundo sistema es más que aceptable.

El GPS necesita "ver" los satélites sobre él. La señal es sumamente débil y a medida que atravesemos zonas boscosas o nos adentremos en valles muy encajados, la franja libre del cielo y el número de satélites sobre nosotros se reducirá, por lo que el aparato irá perdiendo precisión.

3.3.- Trabajos de campo

3.3.1- Prospección

Es la primera tarea a realizar y consiste en explorar la zona de una forma exhaustiva, en busca de fenómenos kársticos. Para "barrer" la colina de Aitzbitarte intervinieron de cuatro a seis personas.

La disposición de las personas que realizan el trabajo de prospección es en hilera (a modo de batida de caza), barriendo el área a prospectar y garantizando la localización de todos los fenómenos.

Una vez encontrada la cavidad es indicada en el mapa (1/5000), a partir de una estimación in situ sobre la cartografía, y apoyada por un altímetro para determinar la cota. Se realiza un croquis de la boca de la cavidad y una breve reseña literal. Se señala la entrada con un círculo rojo (indica que la cavidad está localizada a falta de su exploración y estudio) y una nomenclatura de orden interno (letra y número) mediante una pintura plástica. Todo ello sirve para un control y seguimiento de la zona en prospección, y es el método habitual utilizado por los espeleólogos, sobre todo allí donde las condiciones del terreno hacen difícil una localización más precisa.

En el caso concreto de las cuevas de Aitzbitarte, la utilización de este método se redujo a la primera fase de prospección, para posteriormente pasar a localizar las cavidades mediante el levantamiento de poligonales. (ver apartados siguientes, 3.3.2. Trisección Inversa y 3.3.3. Poligonales)

3.3.2 - Trisección

Para georeferenciar la zona de trabajo y dotar a la poligonal de unas coordenadas de partida, se realizó una intersección inversa, desde un punto con buena visibilidad hacia el Norte, que fue considerado origen de la poligonal.

Tras un primer intento en el que la bruma costera impidió la visión de los vértices geodésicos conocidos, se consiguieron las tres visuales necesarias un día de mejor visibilidad.

Los vértices visados fueron, BURUNTZA (3º orden), TXORITOKIETA (3º orden) y JAIZKIBEL (2º orden) cuyas coordenadas ya habían sido consultadas en la Diputación Foral de Gipuzkoa.

Las observaciones se efectuaron de la siguiente forma:

Estacionado el instrumento (taquímetro) en E0, se realizan las observaciones en el sentido de las agujas del reloj en círculo directo comenzando por el vértice situado más a la izquierda. A continuación, se pasa el antejo a la posición C1 y se repiten las operaciones, pero girando ahora en sentido contrario al anterior.

Finalmente, reseñar que fue posible visar más vértices geodésicos pertenecientes a la red de 4º orden, pero la dudosa fiabilidad de sus coordenadas, hizo que no fueran introducidos en el cálculo.

3.3.3.- Poligonales

3.3.3.1.- Poligonal exterior

Seguidamente se comenzó la poligonal exterior, que rodea la colina de Aitzbitarte, realizada con taquímetro y mira. Intervinieron en el trabajo tres personas.

La finalidad de la poligonal era dotar de coordenadas absolutas a ciertos puntos situados en lugares estratégicos, que representaran en unos casos las bocas de entrada de las cuevas principales, y en otros, los puntos de partida de las poligonales de brújula que nos permitían acceder a cavidades de menor interés.

La poligonal constaba de 21 tramos. Las estaciones fueron distribuidas de forma homogénea evitando, en lo posible, tramos de gran pendiente y fueron materializadas en algunos casos mediante estacas cilíndricas de 10 cm de longitud y 1 cm de diámetro, en otros se utilizaron puntas de acero.

El inicio de la poligonal fue el punto cuyas coordenadas se obtuvieron por intersección inversa y se cerró en el mismo punto. El método utilizado fue el de MOINOT, que se explica a continuación:

Lo que con este método se pretende es mejorar la precisión de los itinerarios, para lo cual se procede a medir las longitudes de los tramos por duplicado; es decir, que se realizan las medidas tanto en el sentido directo como en el recíproco. Por lo que respecta a las observaciones angulares, se efectúan aplicando la regla de BESSEL, con lo que se compensan los errores residuales de corrección que pueda tener el instrumento, al tiempo que se pondrá de manifiesto cualquier movimiento extraño que haya podido sufrir el aparato durante el tiempo de estación.

Las observaciones en las diversas estaciones se realizan visando, primeramente, a la estación de atrás en posición CD y anotando las medidas de distancia y las angulares acimutales y verticales. Seguidamente se visa a la estación de delante, en igual posición, efectuándose las medidas correspondientes. A continuación, y en posición CI, se repiten las observaciones angulares sobre la estación de atrás, para realizarlas después sobre la de delante.

Es natural, que para que se correspondan las lecturas verticales que se hacen sobre una misma estación, el anteojo deberá tener igual inclinación cuando se observa en CD y en CI, lo que obligará a visar ambas veces a la misma graduación de la mira colocada en dicha estación, pues con tal modo de operar podrá conocerse el error de eclímetro del aparato y corregir las lecturas verticales convenientemente.

Por lo que respecta a los cálculos en gabinete y en relación con las medidas acimutales, como se han efectuado observaciones duplicadas de distancias, debe tenerse presente que habrán de reducirse al horizonte, a menos que el procedimiento de medida dé directamente esta clase de distancias.

Con el método de MOINOT, además de mejorarse la precisión, como antes se ha indicado, se reducen mucho las posibilidades de equivocaciones, ya que todas las medidas se hacen por duplicado y cualquier error grosero se pone de manifiesto en el propio terreno.

3.3.3.2.- Poligonales de Brújula

Para topografiar los diferentes fenómenos kársticos hallados en la prospección, y debido a su inaccesibilidad, se realizaron varias poligonales abiertas con brújula, clinómetro y cinta métrica, desde una estación de la poligonal principal (E20) y desde dos puntos radiados con el taquímetro desde las estaciones E0 y E3. Para su realización, intervinieron tres personas.

La observación se hizo en un único sentido; se estaciona en el primer punto y desde él se mide la distancia, rumbo e inclinación al punto siguiente y así sucesivamente con el resto de estaciones del itinerario. Es evidente que cualquier equivocación que pueda cometerse en las observaciones sólo se pondrá de manifiesto al desarrollar el trabajo en gabinete, y no existiendo la posibilidad de localizar tal error, se hará necesario repetir toda la poligonal. En cualquier caso este método tiene dos ventajas que lo hacen muy práctico: rapidez de ejecución y buena adaptación al levantamiento de puntos inaccesibles.

La finalidad de la ubicación de los fenómenos es catalogarlos y situarlos en un mapa general de la zona de Aitzbitarte. De esta manera, y en conjunción con los datos obtenidos en el interior de las cavidades, se pretende determinar las posibles relaciones entre ellos.

3.3.3.3.- Poligonales interiores

Desde uno de los vértices de la poligonal exterior se realizó la poligonal interior cerrada que recorrió las galerías principales de la cueva Aitzbitarte 4. Se utilizó taquímetro y mira, además de

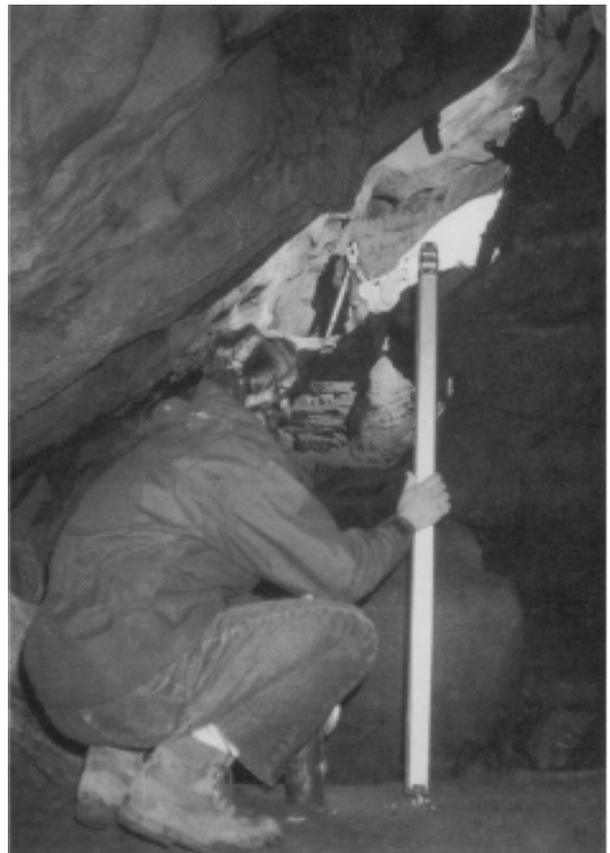


Foto 2.- Labores topográficas en AI - 4.



Foto 3.- Labores topográficas en AI - 4.

elementos de iluminación. Para su realización intervinieron cuatro personas.

La poligonal estaba formada por 22 tramos, de los cuales 11 tramos eran de ida y otros 11 eran de vuelta. Uno de ellos se tomó tanto a la ida como a la vuelta, con lo cual nos sirvió de control.

Desde dos de las estaciones se radiaron dos puntos que sirvieron de partida para posteriores radiaciones (uno al final de la galería principal y otro en la galería secundaria cercana a la entrada).

De la misma forma, se realizó una poligonal abierta en la cueva Aitzbitarte 3 que debido a sus características y dimensiones (techo de la galería principal a baja altura) contó únicamente con cuatro tramos tomados mediante taquímetro. El resto de tramos tuvieron que ser tomados empleando el método tradicional en Espeleología, a base de brújula, clinómetro y cinta métrica.

3.3.4.- Radiación interior

Tras la exploración de galerías secundarias, que implicó el descenso de dos pozos y la escalada de varias galerías colgadas, se realizó la radiación de puntos que definían el contorno de la cueva desde los puntos de la poligonal principal.

Así mismo, se trazaron poligonales a brújula que completan todos los espacios a topografiar. El sentido de estas poligonales fué inverso, es decir, desde dentro de la cueva hacia afuera. En cada punto de estación se tomaba altura y anchura de la galería, así como otro tipo de información; tipo de suelo (arcilloso, pedregoso), morfología (estalactitas, estalagmitas, coladas, lenares inversos, gours,...), presencia de corrientes de agua o aire.

Las alturas de techo fueron medidas con la mira hasta los cuatro metros, a partir de esta altura fueron estimadas.

Se emplearon brújula, clinómetro y cinta, además de elementos de iluminación y material de escalada (cuerdas, escalas, descendedores, seguros de expansión...) e intervinieron cuatro personas.

3.3.5.- Nivelación barométrica.

Mediante la intersección inversa, se dotó al punto origen de la poligonal exterior de coordenadas planimétricas (x,y). De esta forma ya se encontraba georeferenciada la zona de trabajo, pero surgía el problema de dotar de cota al origen de la poligonal o de la propia cavidad.

En un trabajo topográfico de cierta precisión, se suele realizar una nivelación geométrica que dote a los puntos de interés, de cota con una precisión milimétrica. En este proyecto, esta labor hubiera alargado enormemente el trabajo de campo, ya que el clavo de nivelación de alta precisión (NAP) más cercano, se encuentra a varios kilómetros del lugar y además resultaba innecesaria semejante precisión. Por lo tanto, se decidió dotar de cota a un punto de la poligonal exterior, mediante una nivelación barométrica sencilla.

Un día de gran estabilidad atmosférica, se tomó la altitud del clavo de nivelación R-10-2, cuya cota se conocía, mediante un altímetro-barómetro de una apreciación máxima de 0.5 m. Seguidamente se repitió la operación sobre la estación de la poligonal (I_0) que coincidía con la boca de entrada de la cavidad Aitzbitarte 4. La cota real de este punto, sería la obtenida en el altímetro más la diferencia entre las altitudes NAP y barométrica obtenidas sobre el punto inicial.

Se obtuvieron los siguientes datos:

R-10-2: cota barométrica: 132.5 m
 cota geométrica: 128.889 m
 estación I_0 : cota barométrica: 226 m
cota geométrica: 222.389 m

La altitud definitiva del punto de la boca de entrada de la cavidad Aitzbitarte 4 sobre el nivel del mar, se consideró de **222.39 metros**. A partir de aquí, las cotas de las restantes bocas se calcularon geoméricamente.

3.3.6.- Instrumentos empleados

- El instrumento principal fue un teodolito NIKKON N2 con las siguientes características:
 - Sensibilidad: 40"
 - Aumentos: 30X
 - Apreciación: 25cc
- Mira bimilimétrica
- Trípode de aluminio

- Brújula SUUNTO dural 400. Apreciación de 1g
- Clinómetro SUUNTO dural 100. Apreciación de 1g
- Altimetro EIGHSSEMBLAND10000. Apreciación 0.5m
- Cinta métrica YAMAHA 30m

MATERIALES AUXILIARES:

- Equipos de iluminación mixtos, eléctrico y acetileno.
 - Frontales eléctricos
 - Escala metálica ELECTRON 10 m
 - Cuerdas estáticas y dinámicas
 - Material de escalada (descendedores, bloqueadores, burilador, spit,...)
- Material fotográfico (cámaras 35mm, MINOLTA WATERMATIC, YASHICA FX2000, PENTAX SFXN. Cámara de medio formato: LUBITEL 6x6. Película Fujichrome Provia 400 ASA en todos los casos. Trípode SOLIGOR. Flashes METZ. Célula fotoeléctrica METZ).

3.4. Trabajos de gabinete

3.4.1.- Trisección inversa

Las coordenadas de los vertices geodésicos que fueron visados en la intersección se reflejan en la Tabla 1:

VERTICE	ORDEN	X	Y
Buruntza	3	580130.36	4788029.86
Txoritokieta	3	587581.35	4793873.63
Jaizkibel	2	592830.83	4800003.93

Tabla 1

Las lecturas que se obtuvieron desde la estación E₀, origen de la poligonal principal sobre los vertices se enumeran en la Tabla 2:

VERTICE	LECTURA
BURUNTZA	27.0925
	227.0925
	27.0925
TXORITOKIETA	103.6725
	303.6725
	103.6725
JAIZKIBEL	166.5550
	366.5600
	166.5575

Tabla 2

La metodología utilizada en el cálculo consistió en el método de Pothénot y se obtuvieron las coordenadas del punto origen de la poligonal principal:

$$E_0 \quad (589831.29, 4791009.66).$$

El error máximo cometido fue de **0.294 m**, lo que significa que este método ha permitido hallar las coordenadas absolutas del punto con una incertidumbre de **29 cm**.

3.4.2.- Poligonales

Tanto en la poligonal exterior como en la interior, al ser cerradas ambas, se siguió el mismo criterio en el cálculo y compensación de errores.

Primeramente se hizo la corrida de azimutes. Partiendo del azimut conocido entre la estación E₀ y la referencia Txoritokieta (357.6075), se fueron obteniendo los azimutes de los tramos sucesivos mediante la expresión:

$$\Delta Z_A^B = \Delta Z_A^C + (L_A^B - L_A^C)$$

Tras llegar al punto de partida y visar de nuevo a la referencia se cerró con un error de **1.75°**.

Para el cálculo de las coordenadas U.T.M de las estaciones se procedió a calcular las distancias reducidas medias de cada tramo. Esta distancia se multiplicó por la constante U.T.M de la zona 0,999694346. Las coordenadas X,Y de cada punto se obtuvieron tras compensar los azimutes, mediante las expresiones:

$$\Delta Z_A^B = \Delta Z_A^{B_0} - (e^{cc} / n)$$

siendo e^{cc} el error de cierre de la poligonal y n el número de tramos

$$\begin{aligned} X_B &= X_A + D_{U.T.M} \cdot \text{sen } AZ_A^B \\ Y_B &= Y_A + D_{U.T.M} \cdot \text{cos } AZ_A^B \end{aligned}$$

Al mismo tiempo con las distancias reducidas y los ángulos verticales se calcularon los incrementos de cota mediante la expresión:

$$\Delta Z = (Dr / \cotg V) + i - m$$

siendo V , el ángulo zenital; i , la altura de instrumento; m la altura de mira.

3.4.3.- Errores - tolerancias - compensaciones

3.4.3.1.- Poligonal exterior

a) El **error angular** cometido en la poligonal exterior fue de **ea= 91.30 cc**

$$\text{Tolerancia} = 605.62 \text{ cc}$$

error = 0.0175 g < 0.0605 g => Tolerable y compensable

b) El **error transversal y lineal** son necesarios para conocer el error máximo de la poligonal e influyen al realizar la compensación.

$$ET = 0.884 \text{ m}$$

$$EL = 1.106 \text{ m}$$

Por lo tanto, el **error máximo** de la poligonal es **1.106 m**.

c) El **error angular zenital** cometido ha sido **eaz = 42.42 cc**, de donde deducimos el error zenital, **ez = 0.012 m**

3.4.3.2.- Poligonal interior

a) El **error angular** cometido en la poligonal interior es **ea= 11.99 c**

En este caso, el error de señalización y estacionamiento se considera mayor que en el de la poligonal exterior debido a los problemas que conlleva el estacionar en el interior de una cavidad (iluminación, acceso...).

$$\text{Tolerancia} = 79.60 \text{ c}$$

error = 0.1950g <0.7960 g => Tolerable y compensable

b) El **error transversal y lineal** son necesarios para conocer el error máximo de la poligonal e influyen al realizar la compensación.

$$ET = 1.54 \text{ m}$$

$$EL = 0.207 \text{ m}$$

Por lo tanto, el **error máximo** de la poligonal es **1.54 m**.

c) El **error angular zenital** cometido ha sido **eaz = 42.419 cc**, de lo que se deduce **ez = 0.013 m**

3.4.3.3 - Poligonales de brújula

De todas las poligonales realizadas, se ha considerado el caso más desfavorable para el cálculo de errores, es decir, aquellas que cuentan con más tramos.

a) Exterior.

$$D_m = 18 \text{ m}$$

$$ET = 0.799 \text{ m}$$

$$EL = 0.04 \text{ m}$$

El error máximo cometido es de **0.8 m**.

b) Interior.

$$D_m = 6 \text{ m}$$

$$ET = 0.399$$

$$EL = 0.031 \text{ m}$$

El error máximo cometido es de **0.4 m**.

3.4.3.4.- Radiaciones

En todos los casos la distancia considerada ha sido la máxima que hace que el error sea mayor,

tomándose de esta forma la posibilidad más desfavorable.

a) Taquímetro.

$$D = 73.106 \text{ m} \quad ea = 221.985 \text{ cc}$$

$$ET = 0.036 \text{ m}$$

El error relativo se obtiene por la componente cuadrática del error máximo en la distancia y del error en la distancia por inclinación de mira. Estos errores se han conseguido de tablas normalizadas.

$$EL = 0.39 \% \cdot 73.106 = 0.285$$

El error máximo cometido es de **0.285 m**.

b) Brújula.

$$D = 11 \text{ m} \quad ea = 1 \text{ g}$$

$$ET = 0.173 \text{ m}$$

$$EL = 0.011 \text{ m}$$

El error máximo cometido es de **0.173 m**.

3.4.3.5 - Recapitulación de errores

Se han calculado los errores que pueden afectar a cada una de las redes del levantamiento. Queda ahora por definir el efecto acumulado de los mismos sobre los puntos radiados, pues siendo éstos los últimos que se sitúan, sobre ellos revierten parte de todos los errores de los que le preceden, además del suyo propio.

Llamaremos **error máximo de posición relativa** de un punto (e.m.p.r) al error que tiene respecto de los puntos de la red principal que enmarca al levantamiento.

Definiremos como **error máximo de posición absoluta** de un punto (e.m.p.a) al error que tiene respecto al de su verdadera posición en el terreno. Si el e.m.p.r está referido a la red principal, el e.m.p.a será igual a la componente cuadrática de su e.m.p.r y del e.m.p.a de los puntos de la red principal del levantamiento. Este último valor se alcanza en las mallas más periféricas.

El orden seguido es el de los trabajos realizados en campo, desde la trisección, pasando por las poligonales (exterior e interior) hasta llegar a la radiación.

Cabe destacar que la tolerancia no se ha tenido en cuenta en algunas redes por no constituir una figura encuadrada. Por otro lado, el e.m.p.r de aquellas redes en las que no se ha realizado ninguna compensación, queda afectado por la totalidad del error propio y no por su mitad.

Se han analizado tres supuestos, los puntos de las radiaciones interiores, los de las radiaciones desde la poligonal exterior y los de las poligonales de brújula. De los tres e.m.p.a obtenidos se toma

el mayor como error máximo definitivo, que se da en el que más encadenamientos presenta. Su valor es de **1.122 m**, que es la incertidumbre que presenta cualquier punto radiado respecto a una topografía absoluta. Este error final dividido por el límite de percepción visual, da como resultado la escala de representación que es de $1 / 5610$ redondeando, este valor sería de **1 / 6000**.

3.5.- Software utilizado.

3.5.1.- Quick Basic (QB).

Se han diseñado tres programas, que facilitan la labor de cálculo y conversión de datos, para ser utilizados en un CAD.

- **RADIAC.BAS**: Permite calcular las coordenadas X,Y,Z de puntos radiados y obtenidos mediante las poligonales de brújula. Se introducen por pantalla el nombre del fichero de texto (.TXT) que contiene los datos de distancia, rumbo e inclinación. El resultado se da en fichero de texto (.TXT). Presenta la opción de radiar a partir de puntos de coordenadas conocidas (en ese caso se pedirá el fichero de puntos de origen; nº de punto - X - Y - Z).

- **PERFIL.BAS**: Permite calcular las distancias acumuladas de cada punto respecto a la boca de entrada de la cueva para el diseño de perfiles desplegados o proyectados. Se introducirá por pantalla el nombre de un fichero de texto con las coordenadas X,Y,Z de los puntos que mejor definan un desarrollo lineal de las galerías (evitando zig-zag que falseen la longitud real).

Si se elige la opción de perfiles desplegados, cuando hay un cambio de galería se especifica el punto de ruptura precedido por un signo "+" en el caso de que la galería tenga un sentido de avance creciente, y por un signo "-" en el caso de que el sentido sea decreciente. El fichero de salida dispone de nº de punto, D respecto al origen, cota y es completado manualmente con el dato de la altura del techo.

- **DXFCAD.BAS**: Realiza la conversión del fichero de texto (.TXT), en fichero (.DXF), para ser utilizado en un CAD. Tras introducirse el nombre del fichero a convertir, se especifica si es para el diseño de la planta o del perfil, y el tamaño de la rotulación de los datos de punto y cota que se visualizarán al exportarse la malla de puntos al programa de diseño de CAD.

3.5.2. - Winsurf (versión 5.0)

El programa Winsurf de Microsoft, se utiliza a menudo para realizar los curvados de mallas de

puntos y para diseñar MDT (modelos tridimensionales del terreno). Es una herramienta complementaria muy práctica, que evita el tedioso trabajo del curvado manual. A pesar de ello, no es posible la introducción de líneas de ruptura, como vaguadas y divisorias, por lo que es inevitable la aparición de "islas" que falsean el relieve real. Por lo tanto, el curvado obtenido no será definitivo, sino que servirá de base para ser completado manualmente y adecuado a la forma original del terreno.

Este programa se ha utilizado para el trazado de curvas de nivel de las cuevas Aitzbitarte 3 y 4. Se introdujeron los ficheros con las coordenadas X-Y-Z de los puntos y se siguieron los siguientes pasos para crear el fichero de curvas:

- Mediante la opción **Grid/Data** se crea un fichero (.Grd) que se utiliza para crear tanto mapas de curvas como MDTs (se permite elegir el método de interpolación que empleará en el cálculo, de todos los posibles el más homogéneo y efectivo es el de **Distance Inverse to a Power**). Seguidamente se diseña el curvado mediante la opción **Map/Contour** que presenta diversas opciones (para suavizar las curvas, equidistancias, grosor de las curvas...). Con la opción **File/Export** se realiza la conversión del fichero obtenido a formato (.DXF).

- Desde el Autocad se referencia y escala el curvado mediante la opción **Edición/Desplaza**, controlando las coordenadas reales del origen del curvado en Winsurf (mínimo de X y de Y de la malla de puntos) y **Edición/Escala** que transformará las dimensiones del curvado introduciendo un factor de escala que relacione las dimensiones reales entre dos puntos conocidos y sus dimensiones en la imagen Winsurf.

3.5.3.- Autocad-12

Mediante el conocido programa de diseño asistido por ordenador Autocad (versión 12) se han confeccionado las plantas y perfiles de las cuevas topografiadas.

Se parte de cargar los ficheros (.DXF) que trazan la nube de puntos que definen la cueva y las curvas de nivel (en el caso de la planta).

Con la ayuda del croquis, se irán diseñando todos los detalles de la cueva repartiendolos en diferentes capas temáticas (karst, contorno, suelo, curvas...). Mediante la orden **Polyline** se confeccionan los contornos, rocas, fenómenos kársticos (estalagmitas, coladas y gours) y se corrigen las curvas de nivel incorrectas. Reseñar que se procurará trazar tramos de polilínea de poca longitud

(máximo 0.3 metros) para evitar un efecto anguloso que desvirtue la realidad. El grosor de los trazos es una cuestión importante, ya que da a entender las características de la roca. Se han utilizado los siguientes grosores:

- Contorno principal (roca madre): 0.8 mm
- Curvas de nivel maestras (cada un metro): 0.4 mm
- Curvas de nivel simples, rocas y fenómenos Kársticos: 0.2 mm

Es habitual la repetición de fenómenos como piedras, oseras o gours, así como la utilización de símbolos convencionales que indican, por ejemplo, el sentido de la pendiente o la existencia de circulación de agua. En todos estos casos se han utilizado **Bloques** que permiten plasmar un elemento sin la necesidad de diseñarlo cada vez que aparece.

En el caso de la planta, una vez finalizado el contorno, se procede a recortar las curvas para que queden adaptadas a la cueva. Para ello, mediante la opción **Edición/Recorta**, y activada únicamente la capa Contorno, se selecciona este elemento en su conjunto y tras activar la capa Curvas, estas últimas son seleccionadas para ser recortadas.

En la planta, también se adjuntan varias secciones en las zonas más características de la cue-

va, que añaden una importante información para su conocimiento.

Una vez diseñados todos los elementos que definen la planta y perfil de las cuevas, son guardados en ficheros (.DWG), para poder ser ploteados en papel (formato DIN-A1).

3.5.4.- Toporobot

Toporobot es un programa share para Macintosh, disponible por FTP en la Universidad de Zurich (geosun.unizh.ch) en el directorio pub/toporobot, o bien en <http://www.geo.unizh.ch/~heller/toporobot>. Los usuarios de PC pueden utilizarlo si previamente instalan en su máquina un emulador de Mac como Executor de ARDI (hay enlace en la misma página) Toporobot está considerado como el software más completo para topografía espeleológica. Facilita el paso a limpio de los levantamientos hechos bajo tierra y permite realizar representaciones gráficas mucho más fácilmente que con útiles convencionales. Ha sido declarado estándar por las Federaciones francesa y estadounidense de Espeleología. Al ser un programa share, el usuario encuentra ciertas dificultades adicionales a la curva de aprendizaje habitual (que en el caso de las prestaciones avanzadas es más bien dura). Por ejemplo, no hay un manual completo salvo en alemán. Las versiones francesa, inglesa y

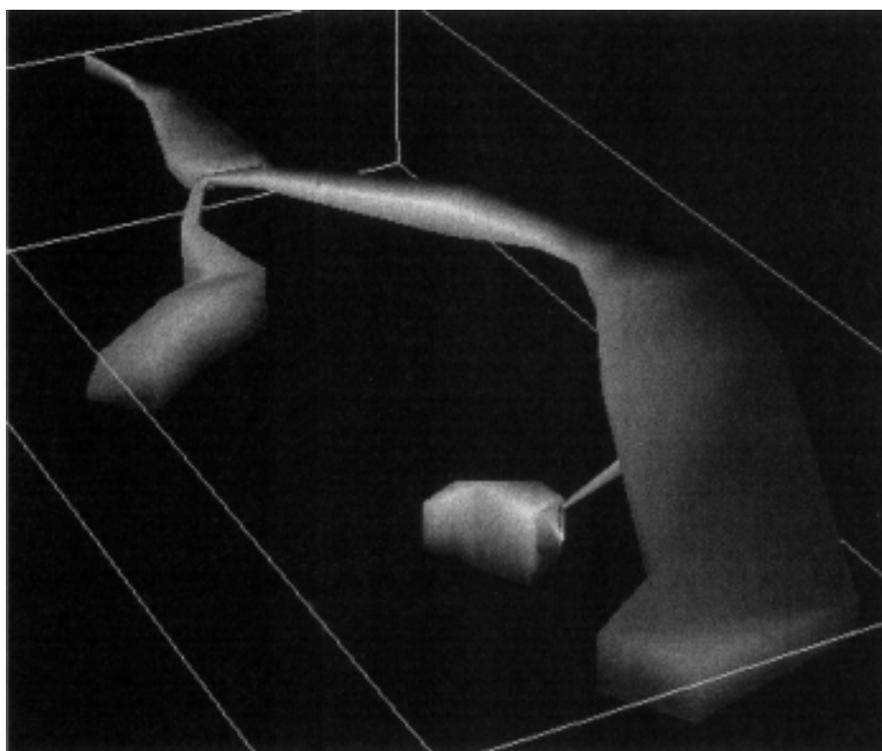


Fig. 2.- Modelo tridimensional de AI-3
La boca se sitúa en la parte inferior de la ilustración

castellana están a medio traducir, ya que todos los avances introducidos en este programa se deben a la colaboración desinteresada de diversos espeleólogos. Sin embargo, es una herramienta valiosa que se ha mostrado útil en este proyecto.

La principal característica de Toporobot es que no almacena visuales aisladas sino agrupadas en series. Así tenemos que la serie 1 empieza en el punto cero (1/0), que habitualmente se asocia con la boca de la cavidad. Debemos introducir los datos de anchura y altura. Al aceptar la entrada, automáticamente pasamos al punto 1/1. El programa solicita tanto las anchuras y alturas como la distancia, inclinación y rumbo entre el punto 1/0 y el 1/1. Así procedemos sucesivamente hasta completar la poligonal de la galería (serie) 1. Los ramales que parten de esta serie principal son denominados serie 2, serie 3, etc. Al introducir una nueva serie, el programa solicita información sobre el punto original de la serie. Por ejemplo, la serie 2 empieza (punto 2/0) en el punto 1/5. Es decir, la estación 5 de la serie 1. El programa registra que el punto 1/5 y el 2/0 coinciden, y elabora una representación. Si al representar una poligonal cerrada vemos que se ha cometido un error, basta con indicar también con qué punto debería coincidir ese final. El programa compensa automáticamente el error en base a una serie de datos (código) que el programa solicita al abrir un documento nuevo. Estos datos

incluyen estimaciones de error sistemático, instrumento utilizado para medir las distancias (cinta o topofil) instrumentos de medición de ángulos (sexagesimal o centesimal) declinación magnética, etc

Una vez introducidos los datos y conectadas las series, el programa calcula automáticamente datos como desarrollo y desnivel, coordenadas UTM de cada punto de la poligonal (si hemos georeferenciado el punto de inicio), etc. También permite obtener rápidamente representaciones esquemáticas de plantas y alzados (incluso alzados desplegados). En todo caso, en esta fase el programa adolece de ser demasiado rígido: nos ofrece la cavidad como una sucesión de líneas rectas. Esto, que puede ser ideal al topografiar una mina, en el caso de una cavidad produce una pobre impresión. Para redondear las formas es necesario exportar los datos a otros programas de diseño (Illustrator, Freehand).

Donde se saca todo el rendimiento a este programa es en la elaboración de modelos 3D. Una vez metidos los datos y conectadas las series, una simple opción nos permite exportar directamente un modelo tridimensional de la cavidad, con diversas opciones de representación y renderizado. El modelo puede ser exportado en multitud de formatos: DXF, 3DMF, Renderman, POV-ray, VRML,

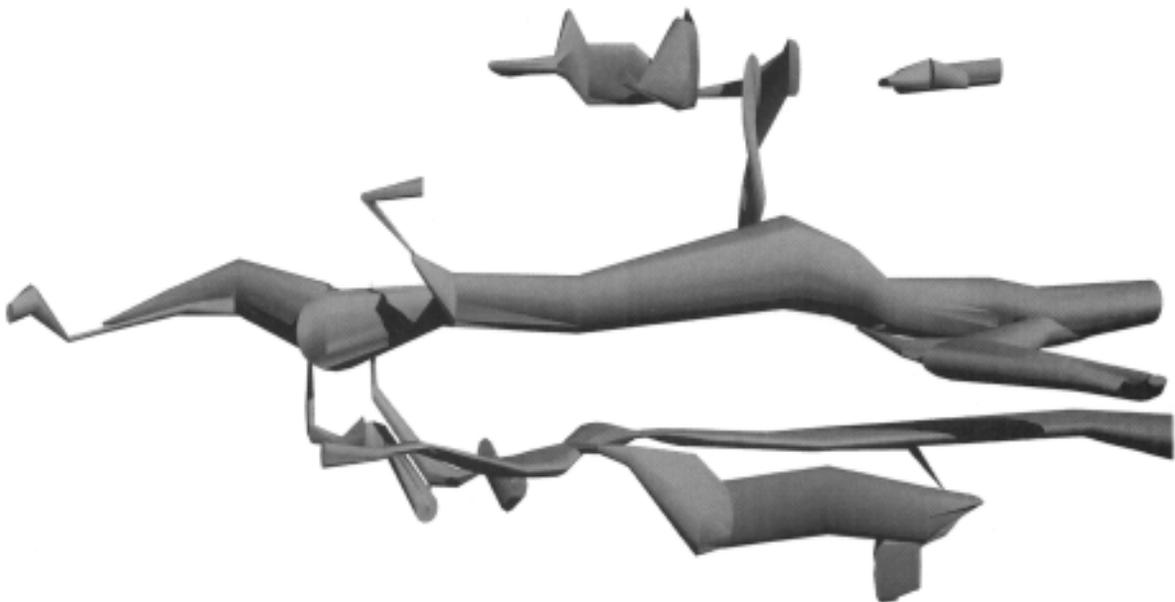


Fig. 3.- Modelo tridimensional de AI - 4, realizado con Toporobot. (Vista trasera)

Showplace, GIUZ... al programa que deseemos, ya sea de modelado, renderizado o visualización. Nosotros hemos probado los formatos DXF y 3DMF. encontrando que este segundo ofrece una calidad más que aceptable sin necesidad de retoque alguno. En la misma dirección electrónica se puede descargar un programa accesorio (Geo 3D) para visualizar el modelo y registrar animaciones fácilmente.

3.6.- Síntesis general topográfica.

3.6.1.- Problemas derivados del entorno subterráneo.

El disponer de una adecuada **iluminación** en un trabajo de topografía espeleológica es fundamental para el proceso de toma de datos y permite además, trabajar con mayor fluidez. En el caso de este proyecto se contó con dos equipos de acetileno y dos frontales eléctricas, lo cuál se demostró insuficiente para el uso del teodolito en el interior de la cueva. Para esta labor es recomendable la utilización de equipos autónomos de acetileno por cada operario.

El mayor problema se presenta en el estacionamiento del instrumento, ya que es necesario iluminar conjuntamente, el punto de estacionamiento y el nivel de línea. En visuales largas (superiores a 15 m) el campo visual al apuntar a la mira se reduce a unos pocos centímetros y una buena penetración entre los dos operarios es conveniente (en ocasiones, el portamiras alumbrará el intervalo de mira pedido por el operario del instrumento). Sin embargo, en las poligonales de brújula y clinómetro la iluminación eléctrica es suficientemente eficaz.

Otro problema habitual en un trabajo espeleológico es el alto **índice de humedad**, cercano al 100%, lo que provoca vaho y el empañamiento de las lentes de los instrumentos. Este problema es solucionable con papeles antivaho para la limpieza y gel de sílice para la protección de las lentes.

La **accesibilidad** de las galerías va a condicionar el tipo de instrumento con el que se topografía. La utilización del teodolito en el interior de una cueva tiene grandes limitaciones. Se decidió utilizarlo únicamente en las galerías principales de Aitzbitarte 3 y 4 (las mayores cavidades del macizo) cuyas dimensiones permitían su uso. Hay galerías en ambas cavidades que presentan inconvenientes a la hora de visualizar la mira y estacionar el instrumento. Techos bajos (alturas inferiores a 1.20 m), suelo accidentado, meandros sinuosos y pozos verticales son los inconvenientes que hemos encontrado para su uso.

En los casos desfavorables hemos sustituido la toma de datos con teodolito por el uso de la brújula, cinta métrica y clinómetro, habiendo casos en los que se demostró sus ventajas en cuanto a rapidez y ligereza del equipo.

Un problema derivado de la iluminación es la **visualización de los techos** para su posterior medición. Como ya se ha comentado, la medición del techo se realiza tomando el ángulo zenital desde la estación previa sobre la vertical del punto.

Las irregularidades del techo de la cavidad, en muchas ocasiones interceptaban la visual entre el punto de estación y el punto del techo, con lo cuál, el método antes mencionado no era posible. Añadido a esto las dificultades de iluminación para alumbrar el techo eran muy grandes, porque el alumbrado eléctrico se mostró insuficiente. Un puntero láser colocado en la mira solucionaría este problema.

En nuestro caso, se midió con la mira los techos con alturas inferiores a cuatro metros y fueron estimadas para alturas superiores.

En cuanto al personal necesario, se ha llegado a la conclusión de que el equipo ideal para un trabajo de topografía espeleológica con taquímetro es de cuatro personas. Un operario se encarga de las lecturas del aparato, un segundo operario anota los datos y dibuja los croquis, el tercero se encarga de la mira y el cuarto facilita las labores de trabajo y de iluminación.

En el caso de topografiar con brújula y clinómetro el número de personas se reduciría a dos, aunque un tercero podría facilitar el trabajo encargándose del croquis.

Destacar que en caso de contar con una estación total, que permita trabajar sin luz, bastaría con dos operarios y el trabajo sería similar a un trabajo convencional de topografía.

3.6.2.- Problemas derivados de las características del terreno

El primer problema que se planteó en el trabajo topográfico exterior fue encontrar un punto desde el cuál se pudieran observar los vértices necesarios para realizar una intersección inversa.

La ladera en la que se localizan las bocas de las cuevas se encuentra encajonada en un valle y por lo tanto carece de un amplio **campo visual**. El único vértice que se podía divisar era Urdaburu (4º orden). En esta situación, se escogió, como se ha dicho, un punto en la ladera enfrente del macizo con visibilidad óptima a tres vértices geodésicos. Se obtuvieron las coordenadas de este punto y se

unió a la boca de la cueva por medio de la poligonal exterior.

Para el planteamiento de los vértices de la poligonal exterior se tuvieron en cuenta las zonas de mayor **vegetación y pendiente**. Es importante destacar que en el caso de que la visibilidad fuese buena se intentaron alargar en lo posible los tramos para que el número de estaciones no fuese elevado. Es destacable el hecho de que el trabajo se realizara en invierno ya que en otras épocas del año la vegetación impediría tal planteamiento.

La elección del itinerario, con el condicionante de ser cerrado, fue difícil debido a la ausencia de laderas con poca pendiente por lo que la geometría de su trazado en las zonas más empinadas se hizo en zig-zag, para evitar ángulos zenitales superiores a 30 g. De esta manera se conseguía que los errores fueran más homogéneos.

Con la finalidad de no influir en la precisión de la poligonal principal, para la localización de cavidades de menor importancia situadas en la zona más alta del macizo, se trazaron **poligonales abiertas a brújula**. De esto se desprende que en terrenos abruptos es más rápida y ventajosa la utilización de brújula y clinómetro en vez de teodolito.

3.6.3.- Problemas surgidos en el trabajo de gabinete

En los trabajos topográficos convencionales la **escala** está directamente condicionada por el error máximo obtenido ($e_{max} = 0.2mm \cdot Escala$). En el caso de este proyecto la escala óptima sería de 1 / 6000 debido al error final cometido. La representación de las cuevas en esta escala no tendría sentido debido a que no se apreciarían con detalle elementos de pequeño tamaño pero gran interés. También se tuvo en cuenta el formato de hoja en el que iban a ser plasmadas. Se escogió la escala 1:250 para adaptar los diseños de planta y perfil de la cueva AI-4 (la más larga y espaciosa) a una hoja DIN-A1 (tamaño estándar). De esta forma, todas las cuevas serían representadas en su integridad sin desplazamientos.

En AI-3 y AI-4 se representaron separadamente el perfil y la planta, debido a su tamaño. En cambio, en el caso de AI-2, al ser factible la representación conjunta de la planta y el perfil, éstos fueron diseñados en una misma hoja, con lo que la forma de la cueva se comprende con mayor rapidez.

Las demás cavidades, cuyo desarrollo no supera los 30 m, han sido diseñadas en una misma hoja, lo que facilita su catalogación y estudio conjunto.

El mapa general ha sido diseñado a escala **1/1000** de forma que el área de estudio, que coincide con los afloramientos calizos de la zona, encaje en el formato de la hoja (DIN - A1). A pesar de ello, la base topográfica digital con la que se contaba era a escala 1 / 5000 con equidistancia de 5 m. Por lo tanto, se ha aumentado la escala del mapa digital a 1 / 1000, manteniéndose la equidistancia de 5 m. Esta práctica cartográfica no sería recomendable en mapas propiamente topográficos, pero en nuestro caso, esta base topográfica ha sido considerada como complemento de los fenómenos kársticos ubicados, primando la correcta representación de los mismos.

La primera cuestión a tener en cuenta al realizar el **perfil** de la cueva es la elección de los puntos que van a definirlo. En el caso de que la galería sea estrecha, no surge ningún inconveniente, ya que las estaciones de la poligonal se escogen describiendo su eje central. Pero en salas o galerías anchas en las que se han realizado radiaciones y la poligonal se ha trazado en zig-zag, es necesario elegir los puntos que mejor definan un desarrollo lineal de la galería sin falsear la longitud total de la cueva. Al plantear las estaciones de la poligonal con taquímetro es necesario tener en cuenta este hecho.

Al realizar el enlace entre galerías se debe tener en cuenta el punto de partida de la secundaria en el borde de la principal evitando el semiancho de la misma. Este hecho se ha solucionado no teniendo en cuenta la longitud del tramo de enlace entre las dos galerías.

Para dibujar los contornos de las cuevas en Autocad, surge la disyuntiva de hacerlo en modo continuo (Boceto) o utilizando la orden Polyline. Se utilizó esta segunda opción debido a que facilita algunas gestiones como cambios de grosor, recorte o desplazamiento que en el modo boceto se realizan individualmente por cada tramo generado.

3.6.4.- Comparación de rendimiento y eficacia entre brújula y teodolito.

Antes de comenzar la topografía de las cuevas se planteó los instrumentos a utilizar en cada trabajo. Se estudiaron las ventajas e inconvenientes que se dan en el trabajo con brújula-clinómetro y taquímetro. El primero destaca por su rapidez y el segundo por su precisión.

Tras realizar el trabajo topográfico, se llegó a la conclusión de que la utilización del taquímetro o estación total en una cueva, es recomendable, en

el caso de querer obtener su relación precisa con otras cavidades o con la topografía exterior. También sería recomendable en trabajos arqueológicos, de ingeniería (construcciones hidroeléctricas, túneles...) o los ligados con una futura explotación económica.

En el caso de grandes cavidades con dificultades de progresión (meandros, pozos, bloques, gateras...), el uso del taquímetro sería casi imposible, por lo que la brújula y el clinómetro son los instrumentos utilizados.

3.6.5. - Comparación de la cartografía diseñada con la cartografía antigua.

Antes de comenzar el trabajo de campo, se revisó el archivo espeleológico de la Sociedad de Ciencias Aranzadi con el fin de obtener todos los datos conocidos del área de estudio. Se encontraron dos planos a escala 1/500 de Aitzbitarte-4 elaborados en los años 1960 y 1977. La falta de precisión de estos planos hizo que no se tuvieran en cuenta al comenzar el trabajo topográfico.

Una vez trazados los mapas de las cuevas se compararon con las representaciones antiguas. Se ha llegado a los siguientes resultados:

- En primer lugar cabe señalar la diferencia existente en las coordenadas del posicionamiento absoluto de la boca de la cueva.

Coordenadas anteriores (589763, 4790761,228)

Coordenadas actuales (589745.64, 4790784.22, 222.39)

La metodología de posicionamiento mediante trisección y poligonal es más precisa que la empleada en los trabajos anteriores, ya que ésta se reduce a situar un punto en un plano topográfico y obtener sus coordenadas mediante un escalímetro.

- Analizando el grado de detalle de las representaciones, a simple vista se observa que las antiguas carecen de información referida a fenómenos típicos de una cavidad (gours, estalagmitas, coladas, sumideros, corrientes de agua...) y la información representada (bloques y pozos) se encuentra mal ubicada y es incompleta.

- Hay zonas de la cueva en las que hay una confusión en la definición del contorno, es decir, en las topografías antiguas el espacio representado es la zona transitable, que en ocasiones, no coincide con el contorno físico real. En este proyecto se ha hecho una mejora en este aspecto, logrando una representación más verosímil.

- En las cartografías anteriores, únicamente se ha representado la planta. En las representaciones

actuales además de la planta, se ha realizado el perfil y varias secciones que nos proporcionan una visión integral de la cavidad.

- Un aspecto fundamental ha sido la mecanización del diseño por medio del Autocad, mientras que en las anteriores cartografías el trazado era manual. Esta mecanización conlleva unas facilidades de gestión de las cuales carecen los diseños manuales.

- También se detectan importantes carencias en la falta de representación de galerías (fósil superior y pozos inferiores), ello es debido a la falta de una exploración exhaustiva de las zonas de acceso más complicado.

- Se han seguido las pautas de la representación cartográfica convencional, en lo referido a leyenda, curvas de nivel, referencia de coordenadas UTM, Norte, escala gráfica y numérica, título, etc. Sin embargo, en los mapas precedentes, falta gran parte de esta información.

A modo de comparación se han tomado medidas sobre los mapas de los tres trabajos topográficos, obteniéndose los siguientes datos:

	distancia origen-final	azimut origen-final	azimut dominante
1960	52m	50g	30g
1977	46m	28g	25g
1997	66m	40g	30g

De esto se desprende que entre el punto final de la topografía realizada en 1997 y la de 1977 hay una diferencia de 22 metros y ésta es de 17 metros con respecto a la de 1960, por lo tanto, se demuestra que la actualización de las topografías ha supuesto una corrección notable.

De lo expuesto anteriormente se deduce que se ha logrado una notable mejora en aspectos relacionados con la precisión, contenido y acabado. En definitiva, el mapa actualizado posee una claridad de información asimilable tanto por especialistas como por neófitos.

3.6.6. - Aportaciones de la nueva cartografía

Las aportaciones de la nueva cartografía realizada son múltiples. Además de las mejoras sobre la cartografía antigua, enumeradas en el apartado anterior, las labores desarrolladas durante la realización de esta cartografía han aportado datos a partir de los cuales se benefician diferentes disciplinas en mayor o menor grado.

En primer lugar, a nivel Karstología los inventarios de cavidades y puntos de agua han experi-

mentado una considerable mejora. Hasta ahora, en el macizo de Aitzbitarte se habían catalogado 8 cavidades. En la actualidad, el número de fenómenos catalogados es de 35. La localización precisa de estos fenómenos, de los cuales no había constancia anteriormente (incluyendo la surgencia principal del macizo), así como de las partes accesibles de los cursos de agua subterráneos, ha sido de gran ayuda para establecer una hipótesis sobre el funcionamiento hídrico del macizo. (Ver apartado Climatología - Hidrología - Hidrogeología) De la misma manera, al tener representaciones precisas de las cavidades y yuxtaponerlas sobre la cartografía exterior, se observa fácilmente cómo los extremos de galerías de distintas cavidades en algunos casos se hayan muy próximos unos a otros. Ello es particularmente destacable en el caso de la galería fósil superior de AI-4, que queda a sólo 10 m de AI-5, y del extremo inferior de AI-3, que prácticamente conecta con otra cavidad hasta ahora no tenida en cuenta (AI - 9). En ambos casos, la continuación está obstruida por bloques que además ocultan las morfologías originales de las galerías, por lo que la realización de una cartografía de precisión ha sido determinante.

La realización de una cartografía geológica detallada ha permitido definir con exactitud no igualada las características geológicas de la zona, incidiendo en la diferenciación de algunas facies no detectadas en la cartografía del EVE debido a la escala de trabajo utilizada.

Por lo que respecta a la Arqueología, teniendo en cuenta los importantes yacimientos arqueológicos ubicados en algunas cavidades de Aitzbitarte (AI-3, AI-4) fueron examinados cuidadosamente todos los conductos. La topografía de una nueva galería en AI-4 ha supuesto la localización exacta de ocho oseras. Las oseras son los nichos donde los osos hibernaban, generalmente construidas en los suelos de las galerías en arcilla o arena. La forma de la osera es de hoyo o plato grande de unos 180 cm de diámetro y unos 40 cm de profundidad. En esta galería se encontraron, así mismo, numerosos zarpazos de oso y restos de los mismos (cráneos) en las vertientes de las oseras.

Por otra parte, en AI-3 fueron ubicados con meticulosa precisión los cantiles de excavación arqueológica. Ello tiene interés para el arqueólogo, que puede localizar las piezas que se van extrayendo durante el proceso de excavación con un rango de mayor precisión. En la misma cavidad fueron localizados puntos con restos óseos de *Ursus. sp.*



Foto 4. Oseras en AI - 4

Otro punto de interés reside en conocer el funcionamiento hídrico de las cavidades. En el caso concreto que nos ocupa, hasta ahora no estaba claro si la cavidad había funcionado como surgencia o sumidero. Según se ha mencionado más arriba, mediante la elaboración de una cartografía de precisión, en conjunción con otros estudios, se ha determinado como más probable el funcionamiento como sumidero, lo cual tiene cierta influencia en la valoración del contexto y por tanto de los hallazgos realizados en ese contexto.

La última aportación de la nueva cartografía elaborada es la ayuda que ha representado en la elaboración de un plan de retirada de basuras, muy abundantes en las cavidades más visitadas. Es necesario marcar en la cartografía disponible los puntos y áreas de contaminación, a fin de calcular los trabajos y materiales necesarios para eliminar tal contaminación. A partir del levantamiento de la cavidad es posible efectuar a priori, un análisis de las dificultades que plantea la eliminación del vertido, y por tanto, del tiempo y los materiales necesarios para ello. Es evidente que la extracción de una acumulación de basuras será más o menos dificultosa según los obstáculos que oponga la morfología de una cavidad. No es lo mismo trabajar en una galería amplia que permite una fácil progresión, que tener que hacerlo a través de una gatera por la que sólo se puede progresar reptando. Además, en los dos casos mencionados no será necesario más material que el personal y algún recipiente, mientras que si en la cartografía se observa la presencia de pozos, será necesario prever la instalación de cuerdas fijas, anclajes, etc, en cantidad ajustada a las indicaciones de la propia cartografía.

La distancia entre los puntos de contaminación y el acceso por carretera permite hacer una

previsión fiable de los niveles de contaminación; estos serán mayores cuanto más cerca de la carretera se encuentren las cavidades afectadas.

A modo de conclusión, la elaboración de una cartografía precisa y detallada que incluya un inventario de puntos de contaminación, así como su localización precisa, es el punto de partida indispensable para la elaboración de un apropiado plan de extracción de residuos.

3.7.- Inventario de fenómenos espeleológicos

Se han catalogado un total de 35 fenómenos espeleológicos, de los cuales 11 son asimilables con la idea que popularmente se tiene de una cavidad. 8 de ellas son las históricas de la zona (vertiente SW del macizo), a las que se añaden otras 28 localizadas en el curso de las salidas de prospección. Se ha actualizado la nomenclatura de las cavidades del macizo, adaptándola a las convenciones actualmente en uso (numeración árabe y no romana) y unificándolas con otras llevadas a cabo por distintos autores. La nomenclatura actual queda de la siguiente manera:

Aitzbitarte 1 (AI - 1) Coordenadas UTM: X: 589 738,17; Y: 4 790 770,90; Z: 198,93 Pequeña cavidad descendente, de 7 m de desarrollo, con abundante sedimentación (arcilla). Debido a la presencia de esta sedimentación y a la forma redondeada y lisa del conducto, sin formaciones estalagmíticas, le asignamos una génesis freática. Es la más próxima al primer vado de la regata Landarbaso, en dirección ascendente a partir del emplazamiento de la antigua central eléctrica. Probablemente funcionó como sumidero relacionado con la vecina AI - 2.

AI - 2. Coordenadas UTM: X: 589.735,53; Y: 4 790.780,53; Z: 201,66. Cavidad de desarrollo medio (100 m). Actualmente su boca está cegada con grandes piedras para impedir el acceso. Se pueden diferenciar dos zonas principales. La más cercana a la regata adopta una planta de tipo laberíntico, con varias galerías que se entrecruzan más o menos ortogonalmente aprovechando las fracturas originales. La confluencia de estas fracturas condiciona la formación de una pequeña sala de planta irregular por cuyo fondo discurre entre bloques un pequeño aporte hídrico (1 l/s) en dirección al interior de la cavidad.

Un segundo ramal ligeramente ascendente se adentra en el macizo. Adopta una morfología meandriforme (1 - 2 m de anchura, 3 - 10 m de altura), con estrechamientos ocasionales. La cavidad se desarrolla íntegramente en las proximidades

del nivel piezométrico del macizo, lo cual se evidencia por la presencia de: a) Dos sifones, uno de los cuales es inactivo en estiaje, y pequeños cursos de agua en las zonas más inferiores y b) rellenos alóctonos, en la actualidad en proceso de re-excavación, que condicionan la presencia de abundantes falsos pisos estalagmíticos.

Las zonas inferiores de la cavidad se hallan por debajo del talweg de Landarbaso, sin que se halle evidencia de grandes capturas directas de caudal. Esto, unido a la morfología meandriforme de la mayoría de los conductos, excavados a favor de la fracturación, y la presencia de rellenos alóctonos, nos hacen pensar en una evolución vadosa a partir de un funcionamiento original como sumidero de la regata Landarbaso

AI - 3. Coordenadas UTM: X: 589 741,62; Y: 4 790 786, 54; Z: 207,38 Cavidad de amplia boca, situada a la izquierda de AI - 2 y ligeramente elevada con respecto a ella. Contiene un importante yacimiento arqueológico, en proceso de excavación y estudio. Por este motivo se encuentra cerrada. La continuación adopta una morfología de laminador horizontal, con una anchura variable entre 15 y 5 m, y una altura de entre 3 y 1 m. Poco a poco se va cerrando hasta acabar en una diaclasa impenetrable.

Un pequeño ramal secundario se desarrolla a la izquierda de la galería principal, a favor de una diaclasa, zona en la que se localizan varias oseras y que desemboca en un pequeño pozo (10 m). En esta zona se detectan diversas formaciones quimiolitogénicas, sobre todo coladas y algunos gours. Adyacente al pozo encontramos una sala que termina en un caos de bloques. Aquí se pueden apreciar zarpazos de oso en las paredes. La yuxtaposición de la planta sobre la cartografía exterior indica que muy bien pudo haber estado relacionada con AI - 9 y AI - 2. Igualmente se detectan algunas chimeneas colmatadas por concreciones que podrían venir de AI - 4, situada directamente sobre ella. Muy probablemente funcionó como sumidero. En toda la cavidad hay un abundante sedimento arcilloso, con una potencia superior al metro, en la base del cual se hallan bloques y cantos, según han revelado las excavaciones.

AI - 4. Coordenadas UTM: X: 589 745,64; Y: 4 790 784, 22; Z: 222,39 Esta es la mayor de las cavidades del macizo. Su boca es igualmente la más amplia, con un porche de 15 m de anchura y una boca secundaria adyacente. En un primer momento el suelo de la galería desciende, formando una sala de sección irregular, con suelo tapizado de

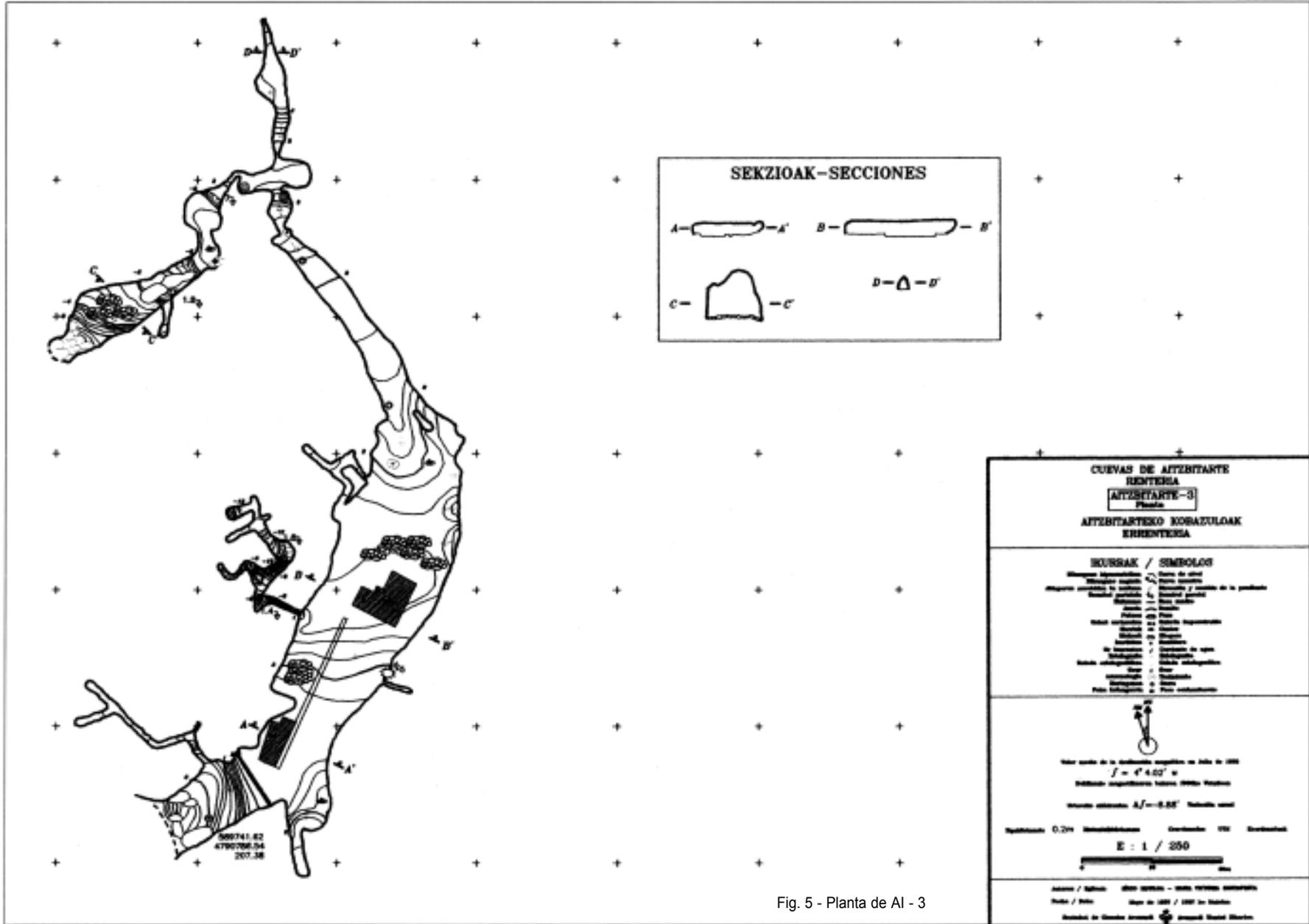


Fig. 5 - Planta de AI - 3

piedras. Aquí se localiza un yacimiento arqueológico, excavado en su día. En la parte derecha (mirando desde la boca hacia el interior) hay 8 - 10 m hasta el techo. Una columna estalagmítica de grandes dimensiones marca la llegada de un aporte superior (probablemente proveniente de AI - 5, situada justo encima) mientras que en la parte derecha éste desciende hasta el punto de tener que progresar agachado bajo un lenar de bóveda que nos hace pensar en un funcionamiento original de régimen freático. Esta parte se encuentra directamente junto a la boca secundaria adyacente, por lo que es posible que en un principio hubiera dos galerías separadas que al evolucionar confluyeron en una sola. A la izquierda se localiza una galería descendente de unos 2 m de diámetro que desemboca en una sala con suelo tapizado de pequeños bloques, que continúa por gateras estrechas, alguna de las cuales desemboca al exterior, en una pared, mientras que otras se dirigen hacia el interior. Suponemos que esto revela un funcionamiento anterior similar al actual de otras cavidades del macizo, en las que el agua de la regata Landarbaso se sume para aparecer de nuevo unos metros más abajo, estando sin determinar si en estos casos el caudal sumido es devuelto íntegramente a la regata Landarbaso o se da además una transferencia hacia la regata Antxulo. (Ver AI - 8)

Continuando por la galería principal, ésta se hace ligeramente ascendente y se aprecian diversos bloques clásticos de tamaño métrico. Estos bloques son visibles también en la misma boca, evidenciando una fase de estabilización de la bóveda tras la excavación original. En la cúspide de la pendiente la morfología cambia, siendo más freática a medida que nos adentramos en la cavidad. Los bloques clásticos van desapareciendo y a los presentes se les puede atribuir cierta influencia tectónica. Al mismo tiempo se comienzan a detectar lenares inversos. Esta morfología es con mu-



Foto 5 - Punta de lenar inverso en AI - 4.

cho la más extendida, no sólo en esta cavidad sino en todo el macizo, hasta el punto de que a partir de ahora nos limitaremos a indicar los casos en que no sea así. Localizamos en este punto los restos de un antiguo muro de piedra, restos de una antigua explotación de la cavidad para cultivo de champiñones, así como un estrecho ramal secundario en la pared derecha que analizaremos a continuación.

Este ramal es ascendente, para acabar desembocando en una chimenea (pozo ascendente), la cual es practicable con ciertos conocimientos de escalada. Una trepada de 7 m nos deja en una galería colgada, con suelo de arcilla, de unos 60 m de desarrollo que termina en una sala de 10 (largo) x 15 (ancho) x 5 m (alto) Tanto en esta sala como en la galería hay numerosas oseras. Los zarpazos de oso son muy abundantes en las paredes. Igualmente se detectan aristas de roca pulimentadas que evidencian el paso de los osos. Se han observado murciélagos (especie sin determinar). Este uso como habitación se explica por la acumulación de aire caliente y ausencia de corrientes, que hacen de esta galería la parte más cálida de la cavidad (fondo de saco ascendente).

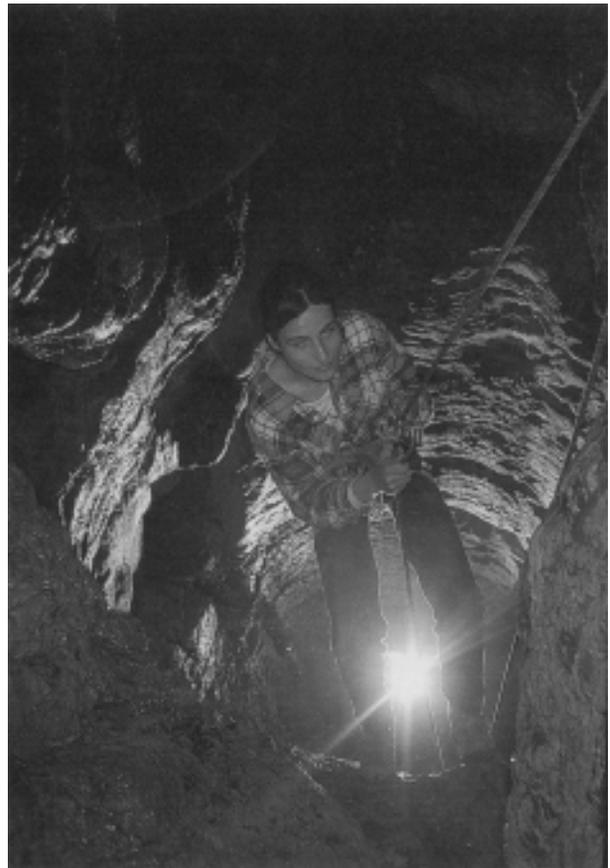


Foto 6 - Pozo de acceso a la galería fósil de AI - 4

De vuelta en la galería principal, el cambio a morfología freática se evidencia también en el suelo, en el cual no se observan ya piedras y pasa a ser una capa arcillosa uniforme y compacta, similar a la de AI - 3 y de potencia indeterminada. La galería es ancha (5 - 10 m) y se aprecian en ella diaclasas transversales bien ampliadas, las cuales juegan un importante papel en el desarrollo de la cavidad. Una galería estrecha y corta excavada a favor de una de ellas nos coloca sobre unos rústicos escalones de piedra que dan acceso a la sala final. En ella las diaclasas transversales están aún más ampliadas y dan acceso a un nivel inferior. En este nivel inferior, con abundante concrecionamiento, se localiza un sifón (cota - 26 con respecto a la boca, queda algo por encima de los sifones de AI - 2 y por debajo del talweg de Landarbaso) y una galería secundaria de igual orientación que la principal.

El final de esta sala se va haciendo más y más estrecho, con diversas gateras muy estrechas que acaban siendo impenetrables por colmatación, en unos casos por bloques y en otros por arcillas. En la parte izquierda de esta sala se aprecian nódulos de sílex muy alterado, más abundantes en los estratos superiores.

Esta cavidad, al igual que las hasta ahora mencionadas, funcionó probablemente como sumidero de la regata Landarbaso, para ir fosilizándose progresivamente a medida que se encajaba el talweg correspondiente.

AI - 5. Coordenadas UTM: X: 589 759,64; Y: 4 790 795,59; Z: 250,62. Situada sobre AI - 4, posee una única galería en zig - zag, con un desarrollo de 20 metros. Morfología clásica, con suelo de arcilla, por lo cual le suponemos un origen y evolución similar a las anteriores. Esta impresión se ve reforzada por la existencia de un abrigo rocoso adyacente a la entrada, que probablemente es el resto de una antigua galería desmantelada por la erosión. En el interior, es visible un pozo colmatado por bloques, que queda a escasos 10 m de las galerías superiores de AI - 4, con la que muy probablemente estuvo conectada. Contiene yacimiento arqueológico, excavado en su día.

AI - 6. Coordenadas UTM: X: 589 813,01; Y: 4 790 669,67; Z: 215,32 Se trata de un abrigo excavado en una pequeña pared caliza, en el contacto con terrenos del Triásico. Continúa por dos galerías divergentes. Una de ellas (a la derecha) tiene un desarrollo ascendente de 12 metros. La de la izquierda es descendente con una altura de 2 - 3 metros y una anchura de 50 centímetros, con sue-

lo de bloques. El desarrollo de esta galería alcanza los 19 metros. Probablemente funcionó como sumidero en régimen vadoso. (AI - 11, que actualmente efectúa la mayor captura del caudal de Landarbaso, se localiza a unos 15 m de distancia)

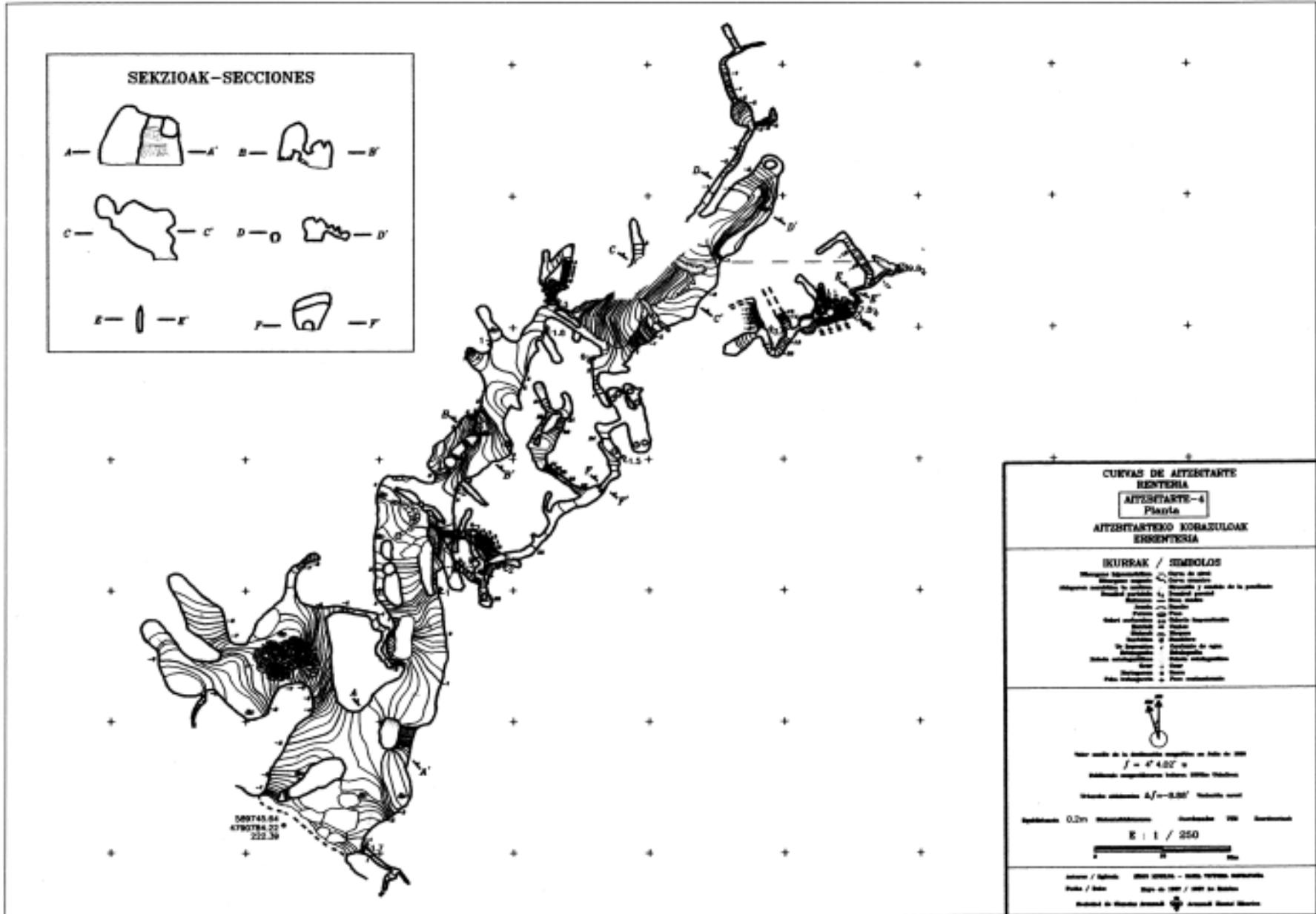
AI - 7. Coordenadas UTM: X: 589 718,63 Y: 4 790 788, 00; Z: 195,27 Situada aguas abajo de la regata Landarbaso. Entrada de 2 x 1,80 metros. Galería en forma de Z con un desarrollo de 20 metros.

AI - 8. Coordenadas UTM: X: 589 695,64; Y: 4 790 797,39; Z: 191,72 Situada unos diez metros aguas abajo de la AI - 7. Tiene tres entradas, una de ellas inaccesible, que actúa como sumidero. El desarrollo total de sus galerías es de unos 30 metros. El agua que penetra en el sumidero circula perpendicularmente a la galería de la cavidad, desapareciendo en una de las paredes. Esta circulación está relacionada con una pequeña surgencia (AI - 13) situada unos metros más abajo en el lecho del río (comprobado por trazador). Las avenidas de la regata hacen variar su funcionamiento, unas veces colmatando el sumidero y otras veces reexcavándolo. Cuando empezamos este estudio, el sumidero apenas capturaba caudal. En la actualidad, tras un par de intensas tormentas, la totalidad del caudal de la regata es capturado y vuelve a surgir casi de inmediato.

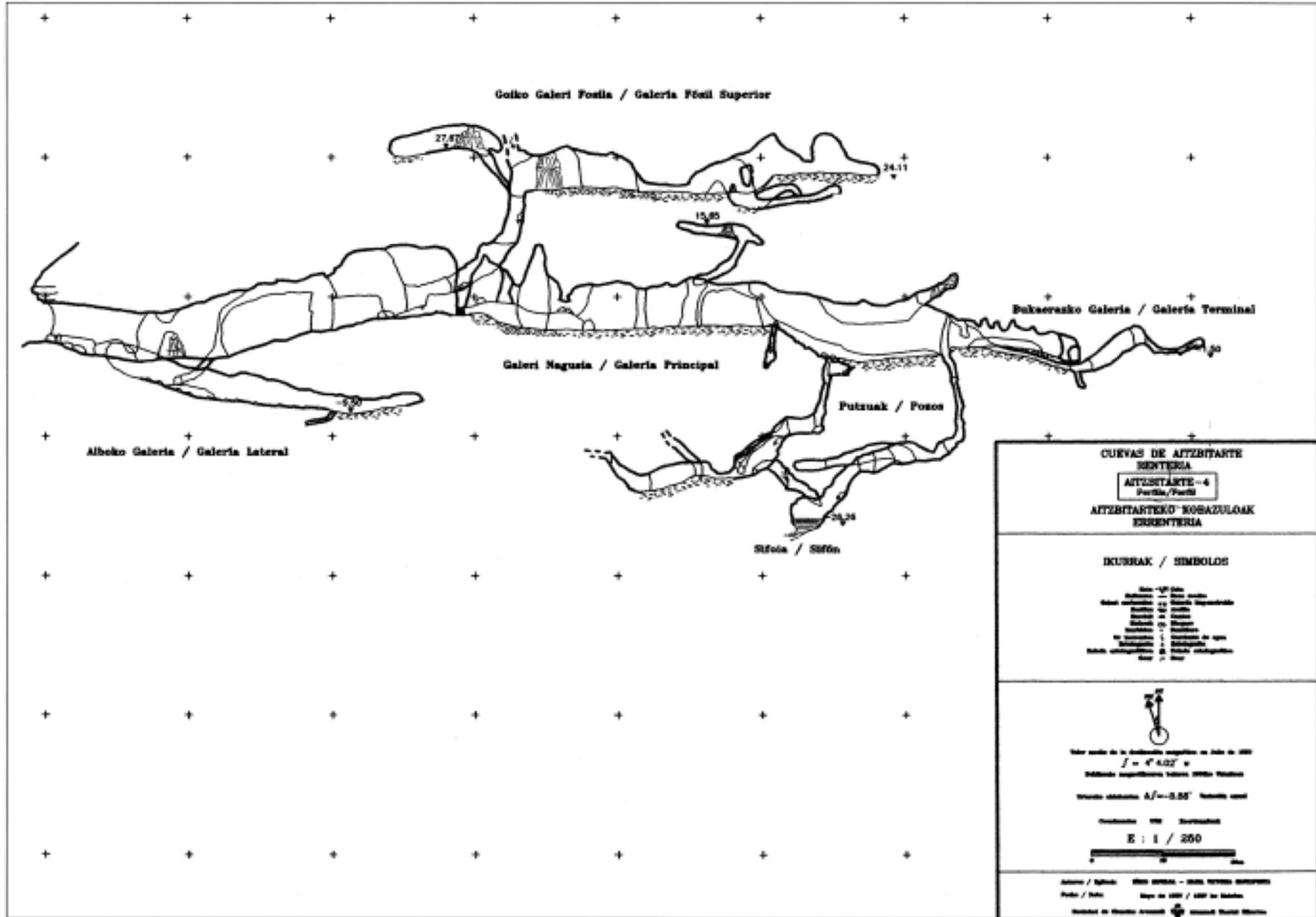
AI - 9. Coordenadas UTM: X: 589 745,64; Y: 4 790 784, 22; Z: 222,39 Pequeña cueva de cuatro metros de desarrollo. La boca presenta un muro de piedras, en el cual se ha dejado abierto un paso. Posiblemente usada en algún momento como refugio de ganado. Esta cavidad se halla a unos 25 m del final colmatado por bloques en AI-3, y probablemente estuvo relacionada con ella.

AI - 10. Coordenadas UTM: X: 589 695,89; Y: 4 790 81 1,95 ; Z: 188,22. Cueva - sima al borde de una pared abrigo. Presenta cierta circulación de agua sifonada. Impracticable. Esta cueva actuó como trop-plein durante las tormentas que reexcavaron el sumidero AI - 8, sin que de momento se haya podido determinar de qué parte del sistema le llega el caudal, si bien la hipótesis que consideramos más probable es que sea de AI - 2.

AI - 11. Coordenadas UTM: X: 589 808,63; Y: 4 790 654,11; Z: 209,48. Sumidero impracticable situado cerca de AI - 6. Es la mayor captación de agua del macizo. Se abre en forma de grieta vertical de unos 10 centímetros de anchura por 30 de altura justo en la orilla de la regata Landarbaso. Presuntamente relacionado con la surgencia de Antxulo.



Figs. 7: Planta y alzado desplegado de AI - 4.



Figs. 8. Alzado desplegado de Al - 4.

Al - 12. Coordenadas UTM: X: 589 894,54; Y: 4 790 665,44; Z: 252,49. Dolina de hundimiento de 7 metros de diámetro por 3,5 de profundidad, situada en las inmediaciones de Al - 6, en la ladera. En el fondo se abre una grieta que enseguida queda colmatada. Destaca por la ausencia en el macizo de este tipo de fenómenos.

Al - 13. Coordenadas UTM: X: 589.665; Y: 4 790 835; Z: 185 Pequeña surgencia, ubicada seis metros por debajo de Al - 8 e hidrológicamente vinculada con la misma.

Al - 14. Coordenadas UTM: X: 589 722,10; Y: 4 790 893,19; Z: 214,62. Pequeña cavidad, de unos tres metros de desarrollo, practicable entre bloques. Situada en la zona de paredes cercana a la antigua central de Landarbaso.

Al - 15. Coordenadas UTM: X: 589 740,70; Y: 4 790 900,12; Z: 224,91. Sima muy estrecha al pie de un paredón, cercana a la anterior. Impracticable.

Al - 16. Coordenadas UTM: X: 589 819,64; Y: 4 790 942,82; Z: 275,46. Sima situada en la ladera noroeste del macizo. Boca de 1 x 0,60 metros. Obstruida en un principio por bloques, tiene un pozo practicable de unos 20 m de desnivel. Precisa desobstrucción. Se trata de la mayor vertical del macizo. Esta sima, como todas las de las zonas cercanas a la cumbre de Aitzbitarte, es producto de la karstificación por infiltración.

Al - 17. Coordenadas UTM: X: 589 806,54; Y: 4 790 883,73; Z: 287,92. Sima-grieta impracticable, ubicada en la misma zona que la anterior. Sondeada acústicamente en unos tres metros de desnivel.

Al - 18. Coordenadas UTM: X: 589 813,38 Y: 4 790 841,22; Z: 303,21. Sima practicable de cinco metros de desnivel. La boca es de 1 x 0,85 metros. Situada en la misma zona que las anteriores. En el fondo de la sima hay numerosos restos óseos.

Al - 19. Coordenadas UTM: X: 589 850,38; Y: 4 790 905,14; Z: 304,20. Pequeña cueva obstruida. Boca de 1 x 1 metros. Ladera noroeste.

Al - 20. Coordenadas UTM: X: 589 910,90; Y: 4 790 910,75; Z: 300,96. Sima impracticable y obstruida por piedras y barro. Ladera noroeste. 0,25 metros de diámetro de boca.

Al - 21. Coordenadas UTM: X: 589 838,79 Y: 4 790 833,17; Z: 312,62. Sima practicable, presenta un pozo de tres metros. Situada en las inmediaciones de la cumbre, ladera Suroeste, justo en el contacto de las calizas con terrenos impermeables.

Al - 22. Coordenadas UTM: X: 589 830,78; Y: 4 790 81 1,95; Z: 307,32 Abrigo natural en la roca, en contacto con materiales arenosos, a escasos metros de la anterior.

Al - 23. Coordenadas UTM: X: 590.015; Y: 4 791.060; Z: 265 Diaclasa-sima muy estrecha. Sondeada acústicamente en tres o cuatro metros. Impracticable. Situada junto a la pista de hormigón, al Norte del macizo.

Al - 24. Coordenadas UTM: X: 589.995; Y: 4 791.045; Z: 270 Sima-cueva de tres metros. Boca de 0,60 x 0,40 metros, en las inmediaciones de la anterior. Se sondea una vertical de dos o tres metros. Continuación impracticable.

Al - 25. Coordenadas UTM: X: 590.000; Y: 4 791.008; Z: 277 Cueva de pequeñas dimensiones (boca de 1 x 0,5 metros, da acceso a una salita de 1,5 x 1,5 metros. Colmatada por concreción estalagmítica. Se sitúa entre la antigua pista de tierra y la nueva de hormigón.

Al - 26. Coordenadas UTM: X: 590.045; Y: 4 790 948; Z: 292 Sima de diaclasa con un desnivel de tres metros. Situada a 25 m al Este de la anterior.

Al - 27. Coordenadas UTM: X: 590.150; Y: 4 791.070; Z: 245 Conjunto de cuevas - abrigo. Conductos fósiles. Continuaciones impracticables. Tiene unas dimensiones de 13 m de largo por 2 de altura. Situada en la ladera Noreste del macizo.

Al - 28. Coordenadas UTM: X: 590.072; Y: 4 79.882; Z: 290 Cueva practicable. Boca de 1 x 1 metros. Desarrollo 5 metros. Se sitúa cerca del límite Noreste del macizo, en las cercanías de la pista.

Al - 29. Coordenadas UTM: X: 590.185; Y: 4 791 085; Z: 210 Conjunto de tres entradas angostas, dos de las cuales son practicables. La boca principal es de 1 x 0,70 metros. Se ubican en la ladera noreste del macizo.

Al - 30. Coordenadas UTM: X: 590.117; Y: 4 790.979; Z: 265 Pequeña fuente impracticable al pie de un paredón calizo. En contacto con arcillas subyacentes. Estimación de caudal: 0,50 litros/minuto en estiaje. Surgencia epikárstica.

Al - 31. Coordenadas UTM: X: 590.180; Y: 4 791.112; Z: 202 Conjunto de dos cuevas practicable, pero de escaso desarrollo. Situado en la ladera noreste del macizo.

Al - 32. Coordenadas UTM: X: 590.195; Y: 4 791.100; Z: 179 Cueva laminador. Desarrollo 3 metros. Ladera noreste del macizo, cercana a la regata.

Al - 33. Coordenadas UTM: X: 590.235; Y: 4 790.998; Z: 193 Surgencia kárstica (Aintxulo) Captada para caseríos y fuente del Parque de Listorreta (Rentería) Estimación de caudal 10 litros/segundo.

Al - 34. Coordenadas UTM: X: 590.146; Y: 4 791.170; Z: 174 Cueva - surgencia impracticable. 1 x 0,70 metros de diámetro en su boca. Ladera Norte del macizo, cerca del río. En estiaje está totalmente seca, mientras que en lluvias altas su caudal podría estar en torno a los 5 l/s.

Al - 35. Coordenadas UTM: X: 590.115; Y: 4 790.995; Z: 270 Pequeña cueva colmatada. Boca de 1 x 0,70 metros. Entrada obstruida por piedras.

4.- GEOLOGIA

4.1.- Historia geológica de la zona

El Noreste de lo que actualmente es Gipuzkoa se encontraba sumergido bajo un mar cálido y poco profundo en el periodo Devónico de la Era Primaria (380 millones de años). Este era un mar interior de un gran supercontinente llamado Pangea del que han derivado los actuales continentes. En ese mar comenzaron a depositarse los sedimentos que actualmente forman las pizarras metamórficas del macizo de Cinco Villas, área que a finales del Carbonífero (280 millones de años) comienza a emerger del mar (Añarbe, Malbazar, Aldura, Zaria). La orogenia Herciniana genera la elevación y pliegue de los fondos marinos, formando las primeras tierras emergidas del País Vasco.

En la Era Secundaria o Mesozoico (220 millones de años) tiene lugar una fuerte erosión de los materiales Paleozoicos. El clima árido con fuertes lluvias torrenciales del Triásico (200 millones de años) contribuye a la formación de ríos que arrastran y redondean los materiales depositándolos en la costa. Los cantos se rodearon de un cemento silíceo y originaron conglomerados (zona de Urdaburu e Igoín). Conforme la erosión iba allanando el relieve, los ríos fueron perdiendo capacidad de arrastre y depositando cantos de menor tamaño, arenas y finalmente arcillas.

Con la llegada del Jurásico (180 millones de años), se produce un hundimiento de la masa continental de modo que el mar vuelve a cubrir la zona y el actual océano Atlántico comienza a formarse. En este periodo se depositan sedimentos calizos y margosos.

En el Cretácico (130 millones de años), los fondos marinos comienzan a recibir aportes arenosos y arcillosos procedentes de las zonas emergidas del Sur del continente, pero continúa la sedimentación de calizas y margas (calizas más recientes de Landarbaso). Estos depósitos, en el Cretácico Superior (70 millones de años), forman una alternancia de estratos de margas, calizas y areniscas que constituyen el denominado "Flyscht".

En la Era Terciaria o Cenozoico (60 millones de años) se da un brusco cambio en las formas de vida. Muchos organismos marinos del Periodo anterior se extinguen y continúa el depósito de más materiales que se incorporan al "Flyscht". Hace 40 millones de años el fondo marino comienza a sufrir los efectos de la colisión entre la placa Ibérica y Europea. La orogenia Alpina produce el pliegue y fractura de los depósitos anteriores y origina los montes que actualmente ocupan el Noroeste de Gipuzkoa. El mar se aleja de la línea de costa actual y surgen ríos que forman valles sobre los materiales más blandos. A finales del Terciario (3 millones de años) y tras una constante erosión queda ya casi definido el relieve actual.

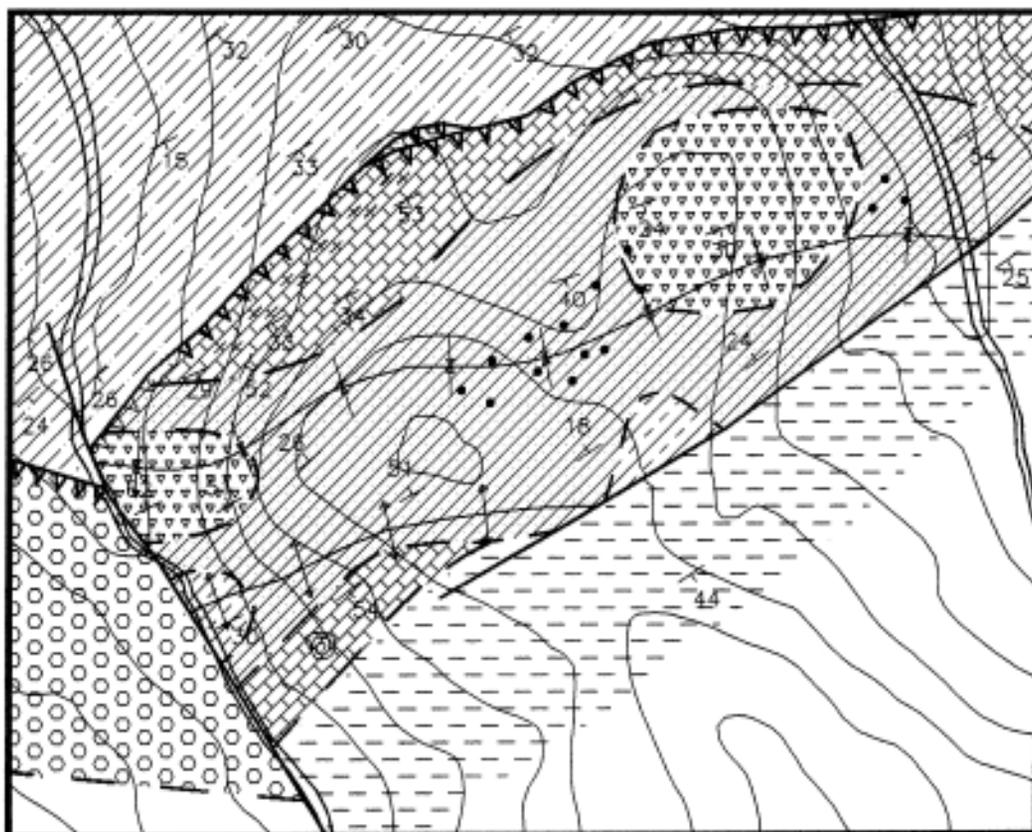
Con la llegada del Cuaternario (2 millones de años) se producen varias glaciaciones, en cada una de las cuales se forma un inmenso casquete helado en el Norte del hemisferio y baja el nivel del mar (durante la última glaciación el nivel del mar bajó más de 100 m alejándose la línea de costa una decena de Kilómetros).

4.2.- Esquema geológico de Aitzbitarte

El monte Aitzbitarte, objeto de este estudio, se localiza en el borde NW del macizo de Cinco Villas; que junto con Alduides-Quinto Real, Labourd y Rhune constituyen los denominados macizos paleozoicos vascos occidentales, pertenecientes al Arco Vasco (FEUILLE, RAT 1971). Siendo, de entre todos ellos, el macizo de Cinco Villas el que representa los últimos afloramientos paleozoicos de la cadena pirenaica en su parte más occidental (PESQUERA 1985).

La realidad geológica del monte Aitzbitarte responde claramente a una tectónica de zócalo y cobertera. En cartografía se pueden distinguir tres sectores bien diferenciados que son de SE a NW: Bloque Paleozoico de Ereñozu, Escama Carbonatada Albiense y Unidad Estratigráfica de Donostia; cabalgándose unos a otros siguiendo el orden expuesto.

MAPA GEOLOGICO DE AITZBITARTE



Equidistancia 25m

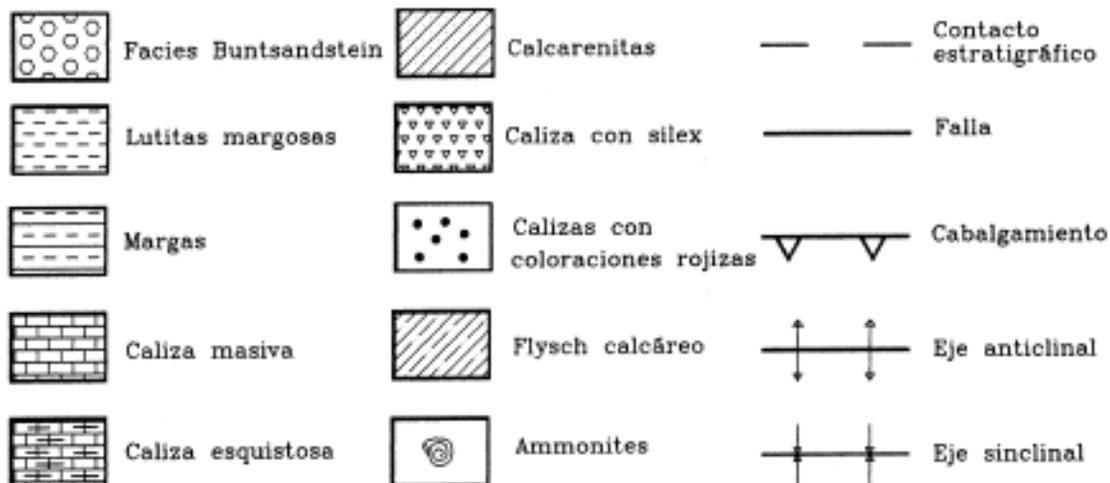


Fig. 10 Mapa geológico de Aitzbitarte

El bloque de Ereñozu está compuesto fundamentalmente por lo que CAMPOS en 1979 definió como la "Sucesión Esquistosa de Cinco Villas". A techo están coronadas por facies Buntsandstein consistentes en areniscas rojizas. No se han encontrado en el área cartografiada las lutitas rojas que suelen ser acompañantes habituales; y en cuanto a los conglomerados sólo se ha detectado un pequeño afloramiento de escala no cartografiable.

Además, en el frente del Bloque se encuentran pinzados materiales mesozoicos que constituyen propiamente la Unidad de Aitzbitarte, flanqueada por accidentes tectónicos.

La Sucesión Esquistosa de Cinco Villas es una serie monótona con predominio de materiales pelíticos. Podemos distinguir en orden de importancia: pizarras y lutitas esquistosas alternando con grauvacas y niveles areniscosos; apareciendo localmente intercalaciones de calizas y conglomerados de modo muy restringido. La interpretación de estas facies es controvertida, ya que no se tiene constancia de ningún estudio litoestratigráfico exhaustivo hasta la fecha, y éste no es el objeto del presente estudio. Sin embargo, citaremos que una de las hipótesis más barajadas, adelantada por CAMPOS en su día y refrendada por diversos autores con posterioridad, sugiere que se trata de una formación de carácter flyschoides representativa de la facies Culm. Su edad, que podría ser cronológicamente heterogénea según PESQUERA, se ha con-

siderado tradicionalmente entre Estefaniense y Westfaliense.

Estos materiales conforman el zócalo paleozoico de Cinco Villas, el cual es empujado hacia el NW por movimientos compresivos, generando en su frente la zona de fallas de Ereñozu que contiene y aísla la formación carbonatada mesozoica que actúa como cobertera.

CAMPOS cita textualmente que "la estructura del borde NW del Macizo de Cinco Villas se resuelve en una serie de fracturas de superficies posiblemente alabeadas, que cortan a estructuras isoclinales previas pudiendo aprovechar las trazas de la estratificación subparalela a los planos axiales de los pliegues; como por ejemplo las escamas del sector de las Cuevas de Aitzbitarte".

En la cartografía y los diagramas de polos realizados se verifican estas conclusiones refrendadas por:

- Direcciones de estratificación NE-SW, presentando buzamientos un tanto variables.
- Cabalgamientos principales y fallas inversas satélites que se acuñan rápidamente en profundidad con orientaciones coincidentes a grosso modo con las de la estratificación (dirección NE-SW buzante al SE) y que aíslan la serie carbonática del Albiense Superior.
- Desarrollo de fallas de salto en direcciones aproximadamente perpendiculares a las escamas.
- Fracturas y diaclasas diversas

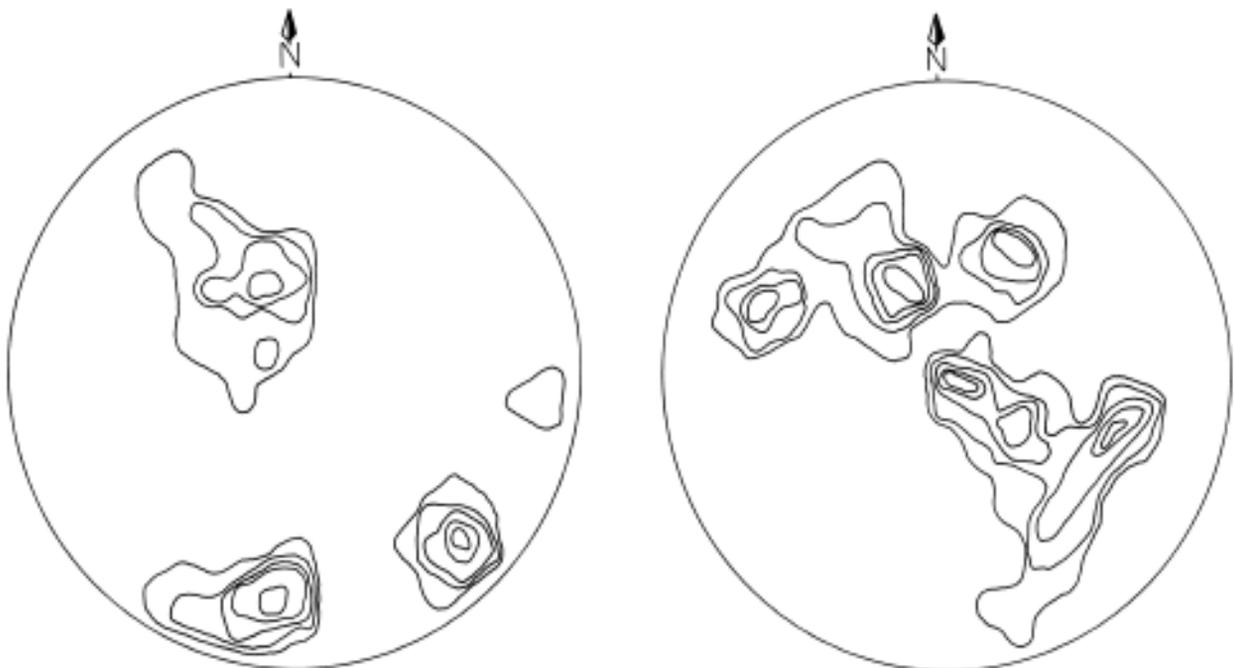


Fig 11. A) Diagrama de polos de las discontinuidades del Flysch Calcáreo Cenomaniense de la Unidad Estratigráfica de Donostia. B) Diagrama de polos de las discontinuidades de la Escama Carbonatada Albiense del monte Aitzbitarte.

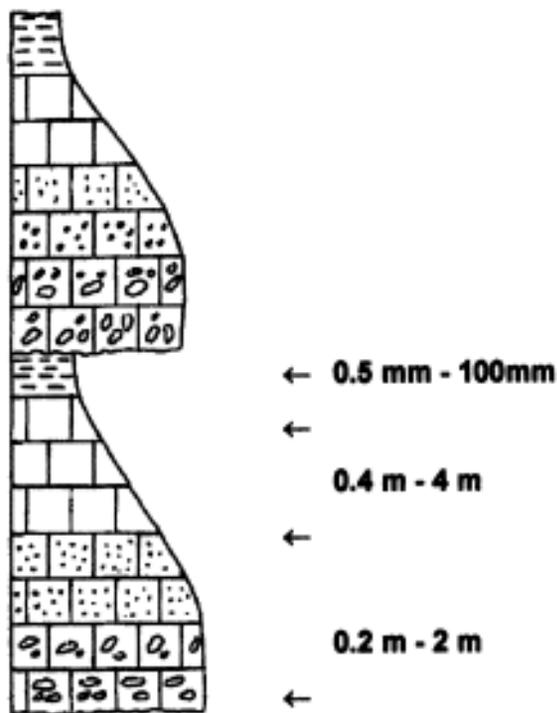


Fig. 12 Secuencia estratigráfica representativa.

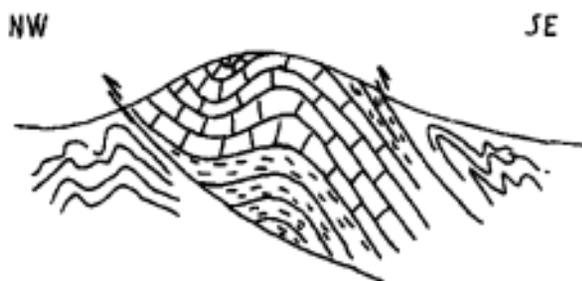


Fig.13 Corte geológico esquemático.

- Asimismo se ha deducido la presencia de un pliegue anticlinal y otro sinclinal cuyos ejes muestran orientaciones cercanas a las anteriormente descritas.

Entre los materiales comprendidos entre las escamas se ubican las siguientes facies, todas ellas del Albiense superior :

- Lutitas margosas de aspecto flyschoides conformando la base de la serie

- Margas con una esquistosidad muy fina, eventualmente nodulares y englobando cantos calizos en las proximidades de las calcarenitas.

- Caliza de grano fino masiva sin aloquímicos. El estudio microscópico al que ha sido sometida esta facies nos revela los siguientes datos:

De acuerdo con los criterios de la clasificación propuesta por TUCKER en 1981 podemos denominar a estos materiales como calcilitas. Se trata de calizas microcristalinas constituidas principalmente por barro microcristalino; el ortoquímico predominante de manera casi exclusiva es la micrita. Ausencia total de aloquímicos y con esparita de génesis secundaria.

Se constata la presencia de fracturas rellenas de calcita esparítica con textura blocky-equant, no obstante hacia el interior de las oquedades la talla de los cristales habitualmente suele aumentar. Además, se hace patente un proceso diagenético isoquímico mediante neomorfismo de agradación, observándose núcleos recrystalizados de esparita en el seno de la matriz micrítica.

Se trata de micritas recrystalizadas según la clasificación de FOLK 1964; y de mudstones siguiendo la de Embry and Klovan 1971 (modificada de DUNHAM 1962).

Concluyendo, estos materiales se depositaron en medios de muy baja energía, en áreas con corrientes tranquilas o inexistentes; correspondiendo

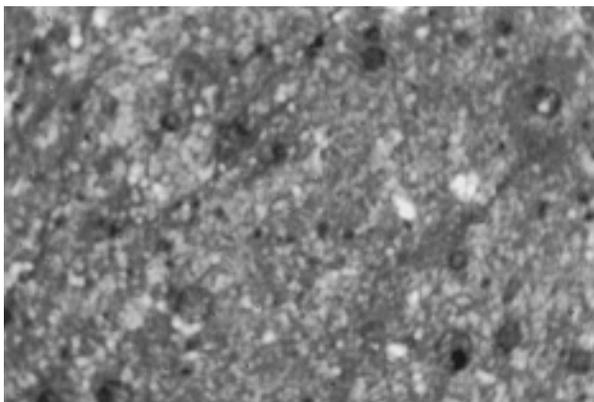


Foto 7: Caliza micrítica sin aloquímicos con esparita (cuando aparece) de génesis secundaria: relleno de fracturas y neomorfismo de agradación. PPL.

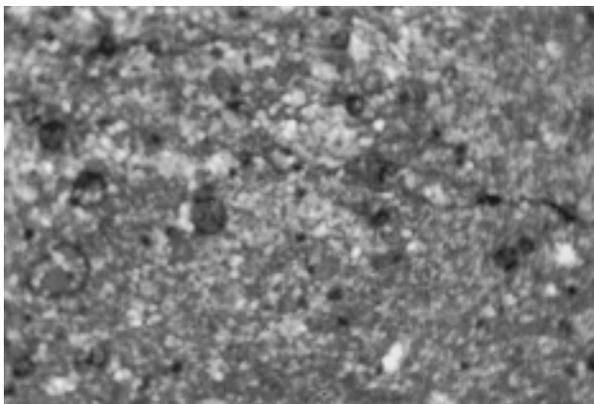


Foto 8: Misma facies bajo nicoles cruzados. XPL

a un ambiente sedimentario de plataforma continental abierta.

- Caliza esquistosa, constatándose su presencia únicamente en los emplazamientos colindantes con los accidentes tectónicos principales, y diluyéndose según nos distanciamos de los mismos. Por lo demás el resto de sus características son coincidentes con la facies anteriormente descrita.

- Calizas con sílex, pudiendo ser nodulares. No obstante, lo más frecuente es que las silicificaciones (bien nodulares con formas arriñonadas más o menos espaciadas o diseminadas, bien en forma de venas o filones centimétricos) sigan unas directrices bien definidas paralelas a las directrices de la estratificación en la que se integran.

Los nódulos síliceos, que aparecen como accidentes salpicando las rocas calizas, son de origen bioquímico procedente de las espículas síliceas de las esponjas. Se generan por precipitación y removilización de la sílice liberada durante los inicios de la diagénesis cuando todavía los sedimentos no se han consolidado y/o litificado totalmente. El aporte de la sílice proviene de la desintegración mecánica de las esponjas y del reemplazamiento a calcita que sufren las espículas síliceas en el transcurso de la diagénesis temprana.

A través del estudio microscópico podemos determinar que se trata de una calcilita aloquímica microcristalina.

La cantidad de aloquímicos es variable, pudiendo alcanzar hasta una tasa del 60% en las regiones más favorables. Esta facies está constituida fundamentalmente por espículas de esponjas acompañadas por bioclastos diversos en reducidas proporciones. Estos componentes se nos muestran flotando en una matriz micrítica donde el cemento esparítico es prácticamente inexistente. Estas circunstancias denotan un ambiente sedimentario de baja energía correspondiente a un medio pelágico ubicado en la parte basal del talud donde se han desintegrado "in situ" las esponjas síliceas

Se corresponde con biomicritas (FOLK) y Wackestone-packestones (EMBRY-KLOVAN).

- Calcarenitas y calciruditas bioclásticas. Incluyen cantos de naturaleza carbonatada muy angulosos y con bajo sorting aunque dejan entrever una ligera tendencia en la disminución del tamaño de los clastos según se asciende en la serie. Delatan un ambiente de alta energía y escasa distancia al área fuente, equivalente a lo que en otras zonas

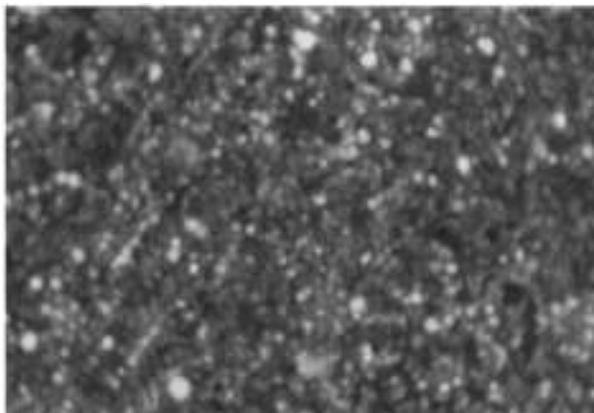


Foto 9: Biomicrita de espículas síliceas de esponjas flotando en la matriz micrítica. Facies wackestone. PPL.

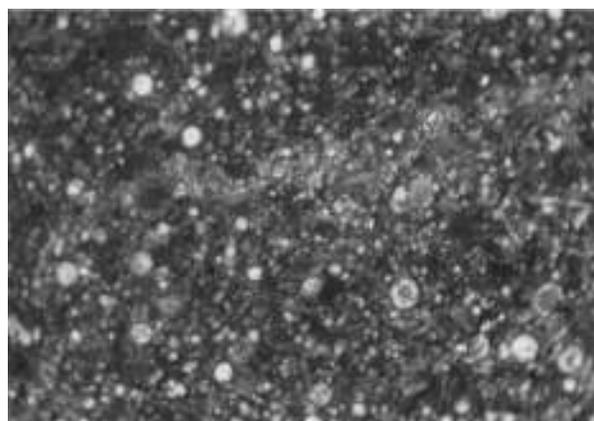


Foto 10: Wackestone de espículas de esponjas. XPL.

de la Cuenca Vasco-Cantábrica se ha dado en denominar facies paraargonianas.

Tras el estudio microscópico se han distinguido cuatro microfacies.

1 - Calizas aloquímicas microcristalinas. Los aloquímicos son fragmentos angulosos de intraclastos micríticos (en ocasiones laminados) con escaso sorting. El ortoquímico dominante es la micrita. El cemento corresponde a esparita en textura blocky habitando en venas y tapizando las oquedades resultantes. Asimismo se comprueba un neomorfismo de agradación en el interior de algunos granos aislados, no siendo un fenómeno muy extendido o generalizado. De la misma forma, se puede observar una débil disgregación en los bordes de algunos clastos.

Estas facies se ajustan a la denominación de rudstone intramicrítico y se enmarcan en un ambiente diagenético freático.

Es destacable también la presencia de estilolitos de tipo irregular. Se nos muestran mayoritariamente aislados, aunque en contadas ocasiones

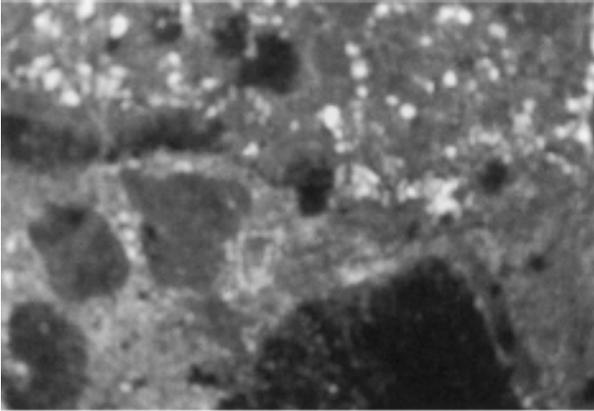


Foto 11: Rudstone intramicrítico. Se observan intraclastos con bajo sorting sobre una matriz micrítica con procesos de neomorfismo de agradación. PPL

pueden presentarse sets paralelos o coalescer varios sistemas llegando a sugerir un aspecto ligeramente anastomosado. Pueden afectar y tener continuidad a lo largo de varios fragmentos produciéndose la transición de uno a otro aprovechando los bordes de grano: estilolitos circunmidénicos (rodeando partículas). La presencia de óxidos de hierro hacen más evidentes tanto las texturas de presión-disolución como las eventuales laminaciones internas de los componentes aloquímicos. Las venas de calcita son de generación posterior a los estilolitos.

El ambiente sedimentario se localiza en una zona no muy alejada del frente del talud.

2 - Calizas aloquímicas espáticas. Los aloquímicos son fundamentalmente intraclastos consistentes en fragmentos angulosos de caliza micrítica de tamaño inferior a los de la facies precedente. Se caracterizan también por su bajo sorting y el escaso redondeamiento de las partículas integrantes que habitualmente contienen una textura interna laminada. Estos aloquímicos tan irregulares y

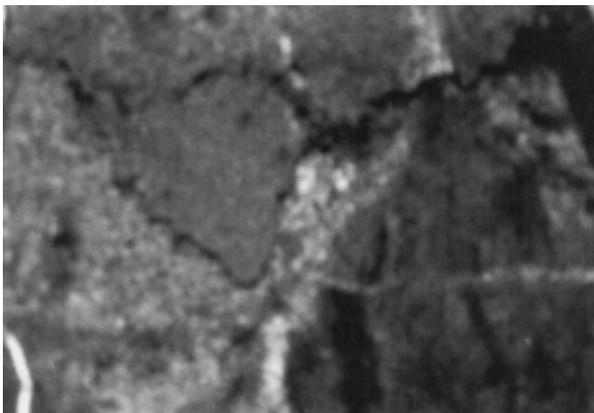


Foto 12: Estilolitos circunmidénicos en las calcirruditas. PPL

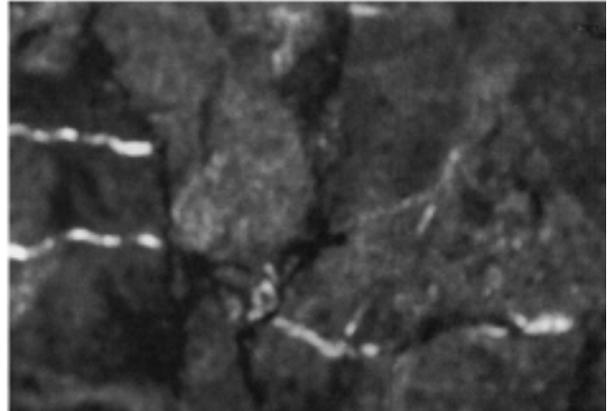


Foto 13: Relación entre los estilolitos y las venas de calcita. PPL

diversos han sido cementados por por esparita, adquiriendo la roca un aspecto brechoide. Algunos fragmentos, a su vez, se nos muestran atravesados por venas de calcita denotando una fracturación más reciente, y en algunos bordes de grano se ha iniciado un frágil proceso de recristalización por agradación.

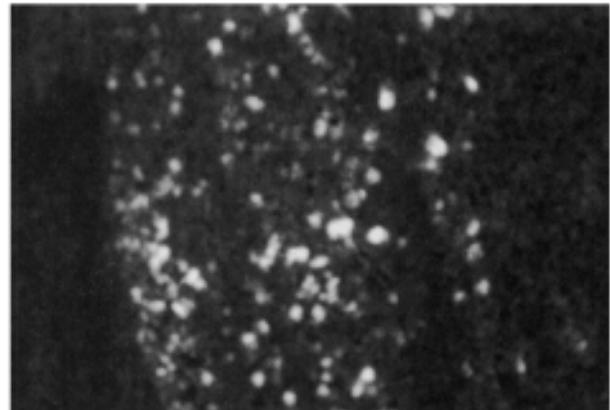


Foto 14: Detalle del neomorfismo de agradación en el seno de un intraclasto. PPL

Las diferencias de estos cantos micríticos (aun dentro de su amplia variedad e irregularidad de tipos) con la caliza micrítica de plataforma descrita más arriba, estriban en dos aspectos fundamentalmente:

uno, la patente laminación interna que antes no era observable; no obstante no es descartable el pensar que pueda haber sectores laminados. Y dos, los procesos internos de recristalización que en estas nuevas facies o bien no existen o se encuentran en una fase más incipiente.

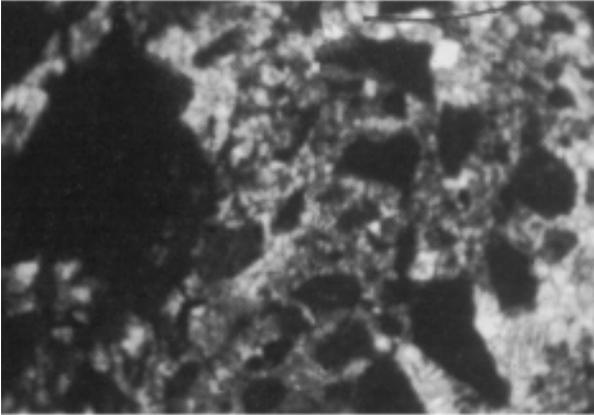


Foto 15: Grainstone de intrasparrudita: intraclastos angulosos de caliza micrítica caracterizados por un bajo sorting y cementados por esparita. PPL

La roca se clasifica como grainstone de intrasparrudita.

El correspondiente ambiente sedimentario se domicilia en un área ligeramente distal del pie del talud.

3 - Se ha localizado también un pequeño afloramiento de escala no cartografiable, de calciruditas en el que los aloquímicos están constituidos por extraclastos. Son fragmentos cuarcíticos, pelíticos y cantos de areniscas rojizas; elongados y con buen redondeamiento. Corresponderían a la erosión de los macizos paleozoicos y permotriásicos emergidos (de facies Culm y Bunt) en zonas más cercanas al paleocontinente o de paleoaltos aislados.

4 - Grainstone de biosparrudita arenosa. De extensión marginal, aflora a una escala no cartografiable. Se compone de intraclastos y bioclastos

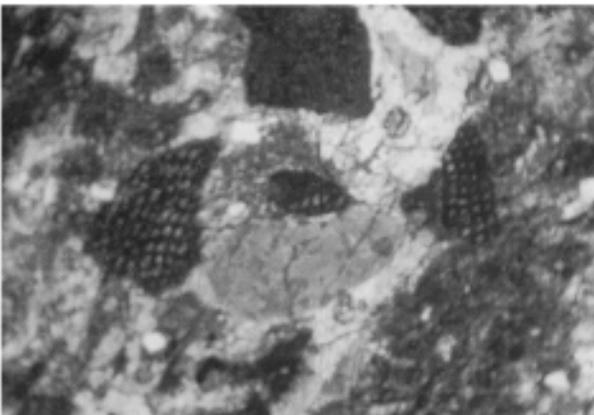


Foto 16: Facies grainstone de biosparrudita arenosa: armazón de granos cementados por esparita. Entre los bioclastos destacan fragmentos de orbitolinas y de placas de equinodermos. Asimismo se constata la presencia de intraclastos y, en menor proporción, de extraclastos .PPL

de diversa naturaleza de entre los que cabe destacar por su predominio fragmentos de equinodermos y foraminíferos de pared aglutinante consistente en orbitolinas. En ocasiones presentan un neomorfismo de degradación. Asimismo se constata la presencia de extraclastos pudiendo alcanzar la tasa del 20%. Están compuestos mayoritariamente por cuarzo y en mucha menor proporción por micas. El conjunto en su totalidad se encuentra cementado por esparita.

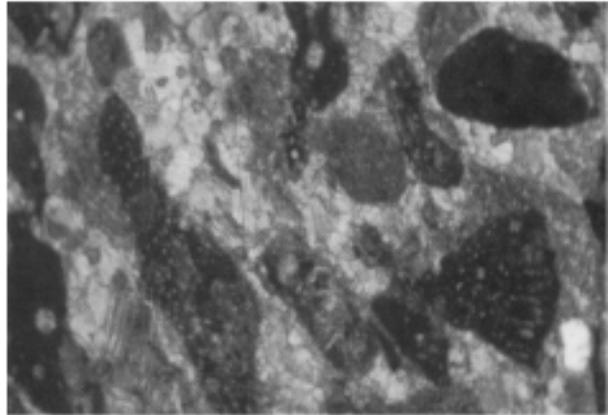


Foto 17: Aspecto que ofrece en otro sector esta misma facies bajo nicoles cruzados. XPL

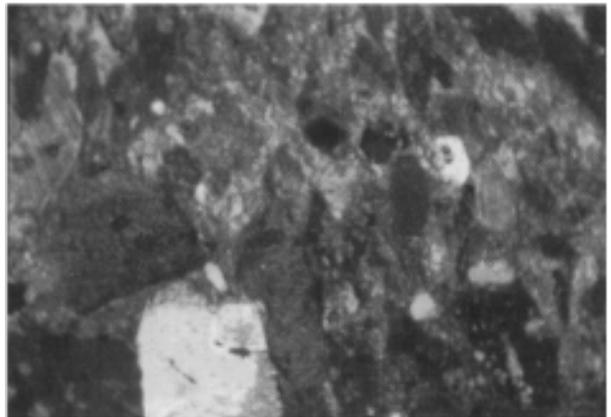


Foto 18: Microdominio con mayor representatividad de extraclastos. XPL

Otras características son: la intensa fracturación evidenciada por fallas, diaclasas, venas rellenas de calcita recristalizada, venas de cuarcita en la zona más septentrional; y un elevado grado de karstificación que frecuentemente llega a obliterar y hacer confusas las direcciones tanto de la estratificación como de los accidentes tectónicos menores.

Este conjunto de facies, cabalga a la unidad de Donostia. Consiste en la alternancia de pizarras con un flysch calcáreo compuesto por margas y margocalizas esquistosas que pueden intercalar bancos de calizas arcillosas, y que están datadas como Cenomaniense-Santoniense (EVE).

Las directrices estructurales son variables a lo largo de toda la extensión del afloramiento cartografiado. Sin embargo, en la zona estudiada (circunscribiendo al monte Aitzbitarte) sus características son coincidentes en líneas generales con las de los demás materiales geológicos ya comentados.

5.- CLIMATOLOGIA - HIDROLOGIA - HIDROGEOLOGIA

5.1.- Introducción

Para estudiar la circulación hídrica que se da en el macizo de Aitzbitarte, además de conocer sus características geológicas y geomorfológicas, también es necesario saber la cantidad de agua que penetra en el macizo (por infiltración en las zonas más altas o a través de sumideros). Este factor está estrechamente ligado al clima de la zona, por lo tanto, en este apartado pretendemos definir las características climáticas del área de estudio, las cuales están representadas por las variables climáticas principales.

Se han recogido las variables climáticas de los observatorios y estaciones meteorológicas de Igeldo, Landarbaso, Añarbe y Artikutza, al ser éstos los enclaves más próximos a la zona de estudio. La situación de los observatorios se expresa en la Tabla 3:

Estación	Igeldo	Añarbe	Artikutza	Landarbaso*
Longitud	01° 39'	01° 53'	01° 50'	01° 40'
Latitud	43° 19'	43° 14'	43° 12'	43° 13'
Altitud	218	120	305	70
Municipio	Donostia	Rentería	Goizueta	Rentería
Datos Estac.	Completa	PyT	PyT	P

P= precipitación T= temperatura

* Estación sin funcionar actualmente.

Tabla 3

5.2.- Variables climáticas

El área de estudio, como parte de la zona Vasco-Cantábrica, se sitúa dentro del mismo dominio climático, el denominado Oceánico Templado, con las características que proporciona su

cercanía al mar. La zona está afectada por la circulación general del Oeste, lo que implica la sucesión de frentes atlánticos a lo largo del año. Este flujo motiva la existencia de dos estaciones bien marcadas (Invierno - Verano), separadas de otras de transición (Primavera - Otoño).

En invierno, el flujo del Oeste adquiere gran nitidez y potencia y las ondulaciones del frente polar atlántico se desplazan con facilidad por el Cantábrico hacia la región ciclogénica del Mediterráneo Occidental.

Durante el verano, la situación se modifica drásticamente ya que el flujo del Oeste se debilita, desplazándose hacia latitudes más altas, al mismo tiempo que el anticiclón subtropical de las Azores se mueve hacia al Oeste, quedando la Península Ibérica bajo su radio de acción.

El clima de la zona de estudio se caracteriza por presentar temperaturas moderadas y precipitaciones abundantes. La temperatura media anual es de 13°C. El nivel de precipitación es muy alto, con valores cercanos a los 2000 mm/año, bien repartido a lo largo del año, no observándose estación seca (precipitación en verano, 399 mm en Añarbe).

A - TEMPERATURAS.

Térmicamente la zona de estudio presenta un clima confortable, con temperaturas invernales suavizadas por su proximidad a la costa y por el predominio de masas de aire templadas de componente SW. Los excesos térmicos estivales se ven mitigados por los vientos del N y NW, como consecuencia de la situación y posición del anticiclón de las Azores.

La **temperatura media** en la zona de estudio es de 13°C siendo de entre los años observados la más elevada el año 1989 con 14,6°C y la más fría de 12,3°C en 1972.

El mes más frío es Enero con 8°C de media (max. 10.6 en 1982, min. 4.1 en 1985) y el más cálido, Agosto con 18.7°C (max. 20.5 en 1990 y min. 16.8 en 1977). El mes más regular es Junio y el más irregular Febrero.

La **temperatura máxima** media es de 16°C, oscilando esta variable desde los 10.6°C de Enero a los 21,8°C de Agosto. El valor más alto registrado fué el 16 de Julio de 1928 con 38,6°C (observaciones desde 1901).

Respecto a las **temperaturas mínimas** medias, el valor anual es de 10°C con Enero como mes más frío (5.3°C) y Agosto el más cálido (15.3°C). La temperatura mínima más baja fué ob-

servada el 3 de Febrero de 1956 con -12°C (datos desde 1901).

Para el observatorio de Igeldo tenemos una media de 7.8 días al año con temperaturas inferiores de 0°C y 4,2 días al año con temperaturas superiores de 30°C , lo que demuestra la suavidad del clima indicado anteriormente.

Las temperaturas más altas suelen alcanzarse en situaciones persistentes de viento Sur, haciéndose más acusadas en verano, ya que unido a la desecación del aire que estas situaciones provocan, existe un aumento de la insolación y con ello un mayor calentamiento nocturno.

B - PRECIPITACIONES.

La zona de estudio y el conjunto del Territorio Histórico de Gipuzkoa, y particularmente su zona oriental, tiene uno de los valores pluviométricos más altos de Europa, siendo prácticamente todas sus precipitaciones en forma de lluvia. En las estaciones pluviométricas situadas en las inmediaciones de la zona (Ereñozu, Añarbe, y Artikutza) se registran valores cercanos a los 2000 l/ m² año.

En el observatorio de Igeldo, la precipitación media es de 1581 mm. De los 30 años observados, 16 presentan valores superiores a esa cifra, con un máximo de 2206,3 mm en 1979 y un mínimo de 1088,7 en 1989.

El reparto de lluvias es regular, existiendo máximas en época invernal (Noviembre - Abril) y mínimas desde Junio a Septiembre, sin que exista estación seca ya que se constatan valores pluviométricos por encima de los 100 mm (excepto Junio y Julio: 90,9 mm y 78,6 mm respectivamente). El mes con mayor precipitación media es Noviembre con 175,4 mm.

La máxima absoluta se produjo en Diciembre de 1969 con 412,9 mm, mientras que la mínima pluviométrica tuvo lugar en Marzo del 1961 con 2,9 mm. El mes con mayor precipitación desde 1901 fué Diciembre de 1923 con 588,9 mm.

Las máximas pluviométricas se producen cuando son más profundas y frecuentes las depresiones atlánticas y más activos los frentes asociados a ellas. La mayoría de las precipitaciones son duraderas, es decir, sin una gran intensidad pero con una continuidad de varias jornadas. A pesar de ello, en época estival son frecuentes las tormentas y gotas frías que generan precipitaciones con gran torrencialidad. La precipitación máxima registrada en 24 horas desde 1901, es de 149,8 l/ m² en Septiembre de 1963.

Del estudio realizado sobre bandas pluviométricas por D. ELIAS y L. RUIZ se han obtenido los siguientes datos (1947-70).

Precipitación máxima en 1 hora: 49.5 mm

Precipitación máxima en 30 minutos: 37.6 mm

Precipitación máxima en 10 minutos: 33.0 mm

La regularidad de la precipitación y la falta de una estación seca la explica A. URIARTE (1979) "Debido a la situación marginal de la vertiente cantábrica de Euskal Herria respecto al anticiclón de las Azores en verano, estando afectada la costa vasca por los vientos del Norte, que conjugados por los montes vascos y las estribaciones de los Pirineos y añadiendo las altas temperaturas de las aguas del vértice oriental del Golfo de Bizkaia, provocan precipitaciones abundantes, y evitan la sequía estival".

La variabilidad anual de las precipitaciones es muy baja, sin embargo, las desviaciones mensuales respecto a sus medias son más importantes. En la Tabla 4, se observan las precipitaciones en mm por estaciones, en los observatorios de Igeldo y Artikutza:

	Igeldo	Artikutza
Primavera	370.1	627.2
Verano	316.1	435.1
Otoño	510.8	332.4
Invierno	406.1	773.4

Tabla 4

La dirección del flujo de circulación tiene gran influencia sobre las precipitaciones. Se observa que los flujos oceánicos, y en especial los pertenecientes al cuadrante Noroccidental, son los que mayor riesgo de precipitaciones proporcionan. Los flujos menos lluviosos son los procedentes del interior de la Península y del Mediterráneo.

El porcentaje de aportación de lluvia en función de la dirección del flujo, viene expresado en la Tabla 5 (periodo 1968-79):

N	NW	W	SW	NE	E	SE	S
21.6	33.0	19.9	5	9.8	2.7	6.4	1.6

Tabla 5

Como se ha observado en la Tabla 2, las épocas de sequía son poco frecuentes, existiendo pocos meses con cantidades inferiores a 30 mm. En Artikutza entre los años 1957-87, esta situación

únicamente se ha dado en una ocasión en el mes de Marzo, otra en Abril, 3 en Julio y 2 en Septiembre. Tampoco existe en el periodo estudiado, dos meses seguidos con valores inferiores a 30 mm cada uno.

El número de días de lluvia en el observatorio de Igeldo es de 183,3 de media anual, con un máximo en Abril y Mayo de 17.4 días y un mínimo en Septiembre y Octubre de 13 días.

C - NIEVE Y GRANIZO.

La presencia de la nieve es escasa a lo largo del año con 6 días de media en el observatorio de Igeldo. Este fenómeno se puede producir desde Noviembre hasta Abril, siendo Febrero el mes en el que más habitual es su presencia (2.1 días).

En el observatorio de Artikutza, situado a una altitud similar a la cima del macizo de Aitzbitarte (300 m), se produce este fenómeno en 9.6 días / año de media, por lo que este dato podría ser válido para la zona de estudio.

El granizo puede producirse a lo largo de todo el año, siendo más frecuente durante los meses invernales. La media anual es de 9.9 días.

D - VARIABILIDAD RELATIVA DE LA PRECIPITACION.

Este parámetro nos indica la mayor o menor regularidad en el régimen pluviométrico a lo largo del año. Un valor bajo representa un comportamiento regular del mes, mientras que uno alto es signo de irregularidad. Para hallarlo se ha utilizado el índice de variabilidad de Biel y Conrad, según la expresión:

$$Vr = (Di \cdot 100) / R$$

Siendo Di la desviación individual respecto a la media aritmética de cada mes y R el valor absoluto de precipitación.

Aplicando esta expresión a cada uno de los meses del año, se determina la variabilidad relativa de precipitación.

El mayor índice de variabilidad se da en el mes de Octubre (48%) y el menor en el mes de Mayo (25.2%). En los meses veraniegos los valores son bastante bajos, lo que significa cierta regularidad en las precipitaciones, sin embargo en los meses otoñales los valores son altos.

La variabilidad relativa anual, utiliza valores referidos a todo el año y es del 12.2%.

E - INTENSIDAD DE PRECIPITACION.

La intensidad de precipitación viene determinada por el cociente entre la precipitación y el nº de días de lluvia.

I= P/D

La intensidad máxima de precipitación se da el mes de Noviembre (11 mm/día) y la mínima el mes de Julio (5.3 mm/día).

Para las estaciones más próximas a la zona de estudio, la intensidad de precipitación es importante (Tabla 6), influyendo por lo tanto en la esorrentía y en la erosión, principalmente en áreas desprotegidas de vegetación o en pistas forestales.

	Igeldo	Añarbe	Artikutza
Ene	9.5	17.6	20.4
Feb	8.1	13.9	18.7
Mar	7.8	14.4	16.9
Abr	6.8	14.7	16.2
May.	7.1	11.7	12.2
Jun	6.2	11.1	9.1
Jul	5.3	9.7	7.9
Agos	7	13.1	10.4
Sep	8.5	16.6	11.7
Oct	10.2	15.5	17.2
Nov	12.4	22.2	17.9
Dic	10.6	21.5	20.4
Año	8.2	15.1	15.1

Tabla 6

F - HELADA.

Se considera como día de helada aquel en el que se registra una temperatura inferior a 0°C y es un fenómeno que se repite anualmente.

El número de días de helada en media anual es de 42.8. Enero es el mes con mayor número de días (11), produciéndose este fenómeno desde los días finales del mes de Octubre, hasta el mes de Abril (Añarbe).

En el observatorio de Igeldo se han producido heladas desde el 12 de Noviembre, hasta el 19 de Abril y la duración media del periodo invernal (días entre la primera y la última helada) es de 66 días.

La helada más intensa en el observatorio de Igeldo se produjo en Febrero de 1956 con -12.1°C.

H - DIAS DE NIEBLA.

Hay que tener en cuenta al tratar este apartado la situación del observatorio de Igeldo, en el que es frecuente la formación de nieblas costeras. La media anual de días de niebla es de 83.

I - EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL.

El concepto de evapotranspiración potencial (ETP) o pérdida por evaporación se inscriben en el supuesto de un desarrollo vegetal óptimo y una capacidad de campo permanente. Se ha empleado el método de THORNTHWAITE para realizar este cálculo.

Las medias anuales de la ETP son de 748.2 mm. El mes con menor índice es Enero con 23.3 mm y el mayor se da en Julio con 11 5.7mm.

En el observatorio de Igeldo, los meses veraniegos presentan déficit de precipitación. En Añarbe este hecho sólo se da el mes de Julio, mientras que la estación meteorológica de Artikutza no presenta déficit de humedad.

J - INSOLACION.

La insolación en el observatorio de Igeldo es moderadamente baja, con un promedio anual de 1648 horas. El mes más soleado es Julio con 196.5 horas y el menos soleado Diciembre con 82.5 horas.

Respecto a la nubosidad hay que considerar lo siguiente:

— día **despejado**: nubosidad media inferior a 2 décimas del cielo.

— día **nuboso**: nubosidad media entre 2 y 8 décimas del cielo.

— día **cubierto**: nubosidad media superior a 8 décimas del cielo.

El número de días despejados al año es de 32, nubosos 155 y cubiertos 178 días. El mes con mayor nubosidad es Diciembre con 3 días despejados, 11 nubosos y 17 cubiertos.

K - VIENTO.

La calma en la circulación de vientos es poco frecuente (2.6% anual). El mes con mayor porcentaje de calmas es Julio.

De Noviembre a Marzo los vientos de componente Norte y Oeste son los más frecuentes, teniendo también relevancia el viento Sur.

En verano la importancia del viento Sur decrece, siendo los de componente Norte los que se dan con mayor frecuencia. Esta situación es fundamental para la suavidad del clima, alterada al formarse flujos del Sur en verano y del Norte en invierno. Este factor es de suma importancia respecto a la contaminación atmosférica, puesto que los núcleos de población situados en la dirección de los vientos dominantes pueden sufrir mayores índices de contaminación.

Respecto a la fuerza del viento, los valores utilizados se han medido en el observatorio de Igeldo. La magnitud utilizada para definir la velocidad son los Km/h, (utilizándose la escala Beaufort) a la que añadimos la frecuencia anual en porcentaje de cada una de las 8 direcciones según fuerza.

El porcentaje de vientos flojos es del 61,6% (alto porcentaje de tiempo poco ventoso), sin embargo los vientos de fuerza 5 o más superan a los moderados de fuerza 4.

La velocidad anual media es de 15.2 Km/h (fuerza 3).

Las velocidades son en general algo más bajas en verano y elevadas el resto del año.

Las rachas instantáneas de viento, registradas a lo largo del año (valores extremos) se reflejan en la Tabla 7, indicándose la dirección de las mismas. La racha máxima se produjo en enero de 1985 con 187 km/h.

E	F	MA	M	J	J	A	S	O	N	D	AÑO	
180	180	160	140	139	130	126	122	155	176	144	157	180
S	S	SSE	S	S	S	NNW	S	SW	S	S	NW	S

Tabla 7

5.3- Clasificación climática

Para comparar el clima del área de estudio respecto a zonas limítrofes a nivel estadístico, resulta interesante realizar una clasificación climática. Para ello se dispone de dos sistemas:

- Clasificación **Köppen**: Mesotérmico sin estación seca, con máximo de lluvias en otoño-invierno; templado oceánico de fachada occidental y verano fresco.

- Clasificación agroclimática según **Papadaquis**:

Tipo de invierno: **Ci**

Tipo de verano : **O**

Régimen térmico: **MA**

Régimen de humedad: **HU**

Índice anual de humedad 1.87

LLuvia de lavado: 71 2

Tipo climático: Marítimo templado

Siendo:

Ci- Tipo CITRUS :

Tª media de las mínimas del mes más frío entre 7º y -2ºC.

Tª media del mes más frío: mayor de 8ºC.

Tª media de las máximas del mes más frío entre 10 y 21ºC.

O- Duración de la estación libre de heladas > 4 meses.

Tª máxima > 21 °C: 6 meses.

MA- Marítimo cálido. El mes con ETP más elevada es posterior al solsticio de verano.

HU- Húmedo. Todos los meses son húmedos.

Para el observatorio de Igeldo (única estación completa):

Invierno:

Tª media de las mínimas del mes más frío (Enero): -2°C.

Tª media del mes más frío (Enero): 5.2°C

Tª media de las máximas del mes más frío (Enero): 10.2°C.

	P	ETP	Ih
ENE	155.1	22.3	6.9
FEB	117.2	23.5	4.9
MAR	133.8	38.1	3.5
ABR	146.4	47	3.1
MAY	126.4	75.9	1.7
JUN	97.4	97.6	1
JUL	77.7	121.7	1
AGO	115.1	115	1
SEP	123.4	91.2	1.3
OCT	148.1	67.1	2.2
NOV	179.9	84.2	5.2
DIC	182.9	24.6	7.4
Año	1604	758	2.1

Tabla 8 - Datos climáticos del área de estudio

P= Precipitación ETP= Evapotranspiración potencial
Ih= Índice de humedad Ln= 889.2> 20% de la ETP

A - INDICE DE CONTINENTALIDAD Y OCEANIDAD.

La función reguladora del mar influye en la temperatura de las zonas costeras, haciéndolo menos extremado que en zonas del interior que pueden acusar fuertes contrastes térmicos.

• El índice de continentalidad de **Johanson** (Ik) se determina:

$$Ik = (1.6 (Tc - Tf) / Sen) - 14$$

Tc = Tª media del mes más cálido

Tf = Tª media del mes más frío

= latitud geográfica (45° 15')

Igeldo: Ik = 10.98 - Añarbe: Ik = 11.8 - Artikutza: Ik = 5.39

Para clima continental puro: Ik =100

Para clima oceánico puro: Ik = 0

• El índice de Oceanidad de **Kerner** se determina de la siguiente manera:

$$Io = ((To - Ta) / (Tc - Tf)) \cdot 100$$

To = Tª media de Octubre

Ta = Tª media de Abril

Tc = Tª media del mes más cálido

Tf = Tª media del mes más frío

En el observatorio de Igeldo: Io = 42.99

• Índice de Aridez de **Martone**:

Ia = (R/t+10)=70 (conveniente para la cría de ganado vacuno)

R= precipitaciones medias.

t= temperaturas medias.

Criterio de Lang:

L = (R/t) 124.6

Aridos L < 40

Húmedos 40 < L < 160

Superhúmedos L > 160

5.4.-Balance hídrico

5.4.1. Introducción

Para la realización del balance hídrico hemos utilizado los sistemas de cálculo de la ETR según TÜRC y THORNWAITE para las estaciones de Añarbe e Igeldo.

La estación de Añarbe se encuentra cercana a la zona de estudio y a una altitud de 120 msnm y situada a 43° 13' de latitud, teniendo la zona de estudio una altitud media de 250 m y situada a una latitud de 43° 15' 55", integrados los dos puntos en el macizo de Cinco Villas, con particularidades climáticas similares, por ejemplo, abundantes precipitaciones.

Hemos considerado para el cálculo la existencia de un suelo con una capacidad de agua utilizable de 100 mm.

5.4.2. Descripción de la zona

Desde el punto de vista hidrológico, en la cuenca de influencia del acuífero de Landarbaso se pueden distinguir dos zonas diferenciadas.

a) Cuencas existentes en materiales impermeables y que conectan con los tramos calcáreos.

b) Afloramientos calcáreos del Albiense superior.

Dentro de los tramos impermeables, se forman dos pequeñas cuencas de 0,67 Km² y 1.34 Km² cada una de ellas.

Estas cuencas forman dos cauces permanentes, infiltrándose parte de sus aguas al contacto con los tramos calcáreos en una proporción no estimada. Las dos cuencas tienen un orden jerárquico de 2 (según HORTON) a su paso por las calizas Albienses.

El tramo permeable formado por calizas Albienses, tiene una superficie de 0,21 Km², en un afloramiento de carácter masivo, con un importante cavernamiento, lo que nos indica su karstificación. Existen además varias surgencias la más importante al NE de la zona de estudio.

5.4.3. Balance hídrico y evaluación de recursos.

Para la realización del balance hídrico, hemos utilizado las estaciones de Añarbe e Igeldo, realizando correlaciones estadísticas para completar la serie en la primera de las estaciones, contrastándola además con Igeldo.

Los resultados de esta evaluación nos proporcionan unos valores de ETR para Igeldo de 745 mm/año y de 763 mm/año para Añarbe.

Las precipitaciones para estas dos estaciones serían respectivamente de 1603 mm y 2300 mm (serie 1957 - 1987) (ver tablas)

Aplicando el correspondiente balance hídrico nos proporcionaría una lluvia útil de 1537 mm y 858 mm con los datos climáticos de las estaciones de Añarbe e Igeldo.

Dada la proximidad de la zona con la estación de Añarbe, estimaremos los datos que nos proporciona para determinar los recursos hídricos, siendo conscientes que es una valoración aproximada, pero que dadas las características de las estaciones de las proximidades (Ereñozu, Artikutza, Arditurri) con precipitaciones superiores a los 2000 mm, puede acercarse más al valor de la zona de estudio (estribación Norte de Urdaburu) con altitudes que oscilan entre los 550 y 200 msnm.

Los recursos hídricos estimados serían de 0,91 Hm³, 1,03 Hm³ y 0,31 Hm³ para las dos cuencas impermeables y el afloramiento calizo antes descritos con unos caudales medios anuales de 29 l/seg, 32 l/seg y 10 l/seg respectivamente.

Para la evaluación precisa de los caudales surgentes en las fuentes sería necesario realizar una estimación de los caudales infiltrados y contrastarlos con los surgentes para establecer los trasvases y recargas de los tramos impermeables, y la compartimentación hídrica del sistema.

5.5.- Hidrogeología

5.5.1. - Introducción

Ha resultado complejo establecer a priori una hipótesis acerca del funcionamiento hidrogeológico del macizo de Aitzbitarte. Ello se debe a que está circundado por dos regatas que circulan en cotas similares y a que la morfología de las cavidades no proporciona indicaciones claras en un sentido u otro. De ahí que un inventariado y localización de puntos de agua (surgencias y sumideros), así como de aquellas partes de los cursos subterráneos que sean accesibles, resulten esenciales para dilucidar esta cuestión.

5.5.2.- Gradiente hidráulico

El conocimiento de la altimetría suele ser el punto de partida, ya que evidentemente el agua circulará desde el punto más alto al más bajo. Esto sucede generalmente tal y como se ha expresado; no obstante en última instancia no es la cota absoluta del nivel hídrico la que marca el sentido del flujo sino el gradiente hidráulico "i", el cual en determinadas circunstancias puede no ser coincidente con la altimetría. El gradiente hidráulico expresa la pérdida de energía por unidad de distancia y su fórmula física viene dada por el cociente entre la diferencia de carga hidráulica y la distancia que separa los puntos donde se han efectuado las medidas. De este modo la circulación hídrica se producirá desde las zonas de mayor gradiente hidráulico hacia las que tengan más bajo este parámetro. Si el gradiente hidráulico no variase, significaría a su vez que la carga hidráulica es constante y no habría flujo. En cualquier caso, en la zona abordada por este estudio no hay indicios que puedan hacer suponer que el gradiente hidráulico se oponga a la tendencia natural de la altimetría. La localización precisa de los cursos de agua subterráneos permitirá igualmente determinar si ese curso se encuentra o no directamente en relación con el nivel piezométrico local.

5.5.3.- Inventario de puntos de agua

La hidrografía exterior viene determinada por dos valles. En el de Landarbaso circula una regata (del mismo nombre) que tiene su cabecera en las proximidades de Malbazar y valle abajo tributa al río Urumea, que muere en Donostia. En el valle de Aldura, por el que circula una regata con el nombre de Aldura o Antxulo, tiene su cabecera en las proximidades del monte Aldura. Valle abajo es tri-

butaria del río Epentza y a su vez del Oiartzun, que vierte sus aguas en la bahía de Pasajes.

Los sumideros y drenajes subterráneos que se han localizado son los siguientes:

AI-11. Sumidero superior impracticable cercano a AI-6 en el cauce de la regata Landarbaso. A través de él se efectúa la principal captura de caudal del sistema

AI-8. Cueva sumidero. Capta parte del caudal de la regata Landarbaso, el cual circula por sus galerías. El drenaje reaparece poco más abajo a modo de pequeña surgencia.

AI-2. Cueva de desarrollo medio. En su interior se aprecian diversos cursos de agua de escaso caudal en estiaje, los cuales van a parar a dos sifones, uno de los cuales funciona sólo en aguas altas. La dirección del flujo y las cotas en que se, nos hacen pensar que provienen de la regata Landarbaso. De momento no se ha determinado si estas aguas provienen de **AI-11** o de otras capturas difusas no localizadas.

AI-3. Cueva de desarrollo medio. En uno de sus laterales se localiza un ramal descendente por el cual circula en aguas altas un pequeño aporte, con seguridad proveniente de infiltración y no de captura.

AI-4. Cueva de desarrollo medio. En la misma se observan varios aportes que confluyen en un pequeño sifón. La cota de este sifón es ligeramente más elevada que la de los sifones de AI-2 por lo que indudablemente se trata de un sifón colgado, a pesar de que al igual que éstos se halla a una cota inferior a la del talweg de Landarbaso. En cuanto a los aportes, la cota en que aparecen imposibilita que provengan de una captura en cualquiera de las dos regatas que circundan el macizo, por lo cual hemos de concluir que son producto de la infiltración de lluvia en la superficie del macizo

AI-13. Pequeña surgencia situada en la vertiente de Landarbaso, relacionada con el sumidero **AI-8**, situado unos metros aguas arriba en la regata.

AI-30. Pequeña fuente situada en la parte media de la vertiente Aintxulo. Descarga de la zona superficial del lapiaz cercano. Al ser su cota superior a la de los puntos de captura y organización de cursos subterráneos, deducimos que se trata de la descarga de un drenaje epikárstico proveniente de la infiltración de lluvia en las inmediaciones.

AI-33. Surgencia kárstica de Aintxulo (10 l/s) Es la descarga principal del macizo de Aitzbitarte. Llegamos a esta conclusión debido al volumen de su caudal y quedó demostrada mediante prueba

de trazador. Se localiza algunos metros por debajo de las capturas situadas en la vertiente contraria.

AI-34. Pequeña cueva surgente temporal situada en la parte inferior del valle de Aintxulo. Si bien su cota es inferior a la de AI-33, su carácter temporal impide que la consideremos relacionada con el drenaje principal.

5.5.4.-Hipótesis elaborada

Los datos obtenidos apoyan la hipótesis de que la transferencia hídrica se hace desde la regata Landarbaso hacia la regata Aldura-Antxulo. A este caudal se unirían algunos aportes provenientes de infiltración en la superficie del macizo, mientras que otros aportes con origen en la infiltración circularían epikársticamente dando origen a la surgencia AI-30.

En efecto, la totalidad de los sumideros se han localizado en la regata Landarbaso, mientras que en la regata Antxulo únicamente se han localizado surgencias. Al mismo tiempo, las cotas en la regata Antxulo son ligeramente inferiores a las de la regata Landarbaso. Ello produciría una circulación lenta, que favorecería la aparición de morfologías freáticas, con sedimentación de arcillas. Precisamente este tipo de morfología es el más habitual en las cavidades del macizo.

De lo anteriormente expuesto deducimos que probablemente las cavidades de Aitzbitarte han funcionado como sumideros de la regata Landarbaso. A medida que la erosión hacía bajar el nivel del talweg de Landarbaso, las cavidades superiores irían quedando inactivas y la captura se realizaría a través de las inferiores.

5.5.5.- Ensayos con trazadores.

Se han realizado los oportunos trazados de tipo cualitativo con objeto de corroborar o desmentir las hipótesis propuestas por el equipo de trabajo, así como para completar el conocimiento de la estructura y funcionamiento del acuífero kárstico de Aitzbitarte.

Tras la concesión de los pertinentes permisos se ejecutaron los ensayos, los cuales fueron divididos en tres etapas motivado por los resultados que se fueron recopilando.

Primer trazado: Realizado el 28 de Abril de 1997, se optó por inyectar fluoresceína en el sifón de la cueva AI-4. El objetivo era comprobar las posibles conexiones hidráulicas de este lugar con los siguientes puntos de muestreo: Antxulo Erreka, surgencia de Antxulo y Landarbaso Erreka. Uno de

los condicionantes era verter una cantidad de trazador suficiente para ser detectado posteriormente en el correspondiente proceso analítico; pero sin provocar la tinción de los cursos de los ríos ni de los manantiales. Para ello, se realizaron los cálculos de acuerdo con una de las fórmulas recomendadas por ANTIGÜEDAD, I. et al. 1989. Su expresión es $P = N + Q$; donde:

P es el peso en kg de fluoresceína a utilizar

Q es el caudal en m³/s de las surgencias

N es el número de Km existentes en línea recta entre el punto de inyección y el manantial más lejano

En nuestro caso la distancia son 600 m y el caudal estimado 0.005 m³/s. De este modo, P resulta **0.003 kg**. Realizado este cálculo, se decidió utilizar 4.5 gr de fluoresceína disueltos en 1 litro de alcohol etílico (99%) y diluido en 4 litros de agua. La operación de vertido transcurrió durante 15 minutos coloreándose 1.8 metros cúbicos en este intervalo de tiempo.

El seguimiento de las surgencias se realizó los días 30 de Abril, 2 y 4 de Mayo mediante colocación de fluocaptoreos (cápsulas de carbón activo); y el día 23 de Mayo recogiendo también muestras de agua.

	23 de Mayo	27 de Mayo	4 de Junio
Aintxulo Erreka	0,081 µg/g	0,026 µg/g	
Aintxulo surgencia	0,108 µg/g	0,020 µg/g	0,020 µg/g
Landarbaso		0,013 µg/g	

Tabla 9. Concentración de fluoresceína absorbida en carbón activo.

• **Segundo trazado:** Teniendo presente que los resultados obtenidos habían sido negativos, se decidió realizar un segundo ensayo con fecha 23 de Mayo (aunque más tarde se comprobaría que los fluocaptoreos recogidos ese mismo día iban a cumplir nuestras expectativas). Para este nuevo intento se aumentó la dosis de fluoresceína hasta 15 gr, manteniendo constantes el resto de las variables. Se inyectó el colorante en el sifón de la AI-4 en condiciones de caudal pequeño (similar a la vez anterior) extendiéndose la operación por espacio de 48 minutos.

La razón de repetir el experimento responde a que la constatación de la presencia del trazador en una surgencia confirma su relación hidráulica con el punto de inyección; pero su ausencia no implica

necesariamente que los dos puntos no puedan estar conectados. Esta situación se justificaría por diversas causas que expliquen la desaparición del trazador durante el tránsito subterráneo, como por ejemplo: una dilución excesiva en el acuífero que diese una concentración por debajo del umbral mínimo de detección analítica (hipótesis que estimamos en su momento como más acertada), retención por algunos materiales...

Los días 27 de Mayo y 4 de Junio se procedió a la recogida de fluocaptoreos y muestras de agua en los sitios predeterminados.

• **Tercer trazado:** Consistente en el vertido de 450 gr de tartracina disueltos en 250 cl de alcohol y diluidos en 5 litros de agua. El punto de inyección propuesto fue el sifón de la cueva AI-8, y se comprobó la salida del colorante en la surgencia AI-13 transcurridos de 30 minutos para cubrir una distancia de 10 metros.

5.5.6.- Conclusiones.

La fluoresceína vertida en la AI-4 ha salido en los tres puntos vigilados transcurridos entre 25 y 27 días desde su inyección. Considerando que la surgencia de Aintxulo (la más alejada) dista 600 m en línea recta, podemos deducir una velocidad media de circulación próxima a 1 m/h que podemos definir como lenta. Este dato respalda nuestras hipótesis que se amparaban en la suposición de un bajo gradiente hidráulico.

De este modo queda confirmada la transferencia hídrica que se realiza desde la regata de Landarbaso hacia la de Aintxulo. Citar que de los puntos muestreados, el de la regata de Aintxulo se sitúa aguas abajo de la surgencia. La importancia de esta precisión radica en que el caudal aportado por la surgencia (el cual es el excedente de la captación para abastecimiento) tributa directamente sobre el cauce de la regata de modo que le cede su carga de trazador que se diluirá en su curso. Observando los resultados obtenidos en el proceso analítico llama la atención que en los primeros momentos la surgencia presenta una mayor concentración de fluoresceína y que según progresa el tiempo la situación se invierte. Una explicación a esta situación puede ser la existencia de dos caminos (pudiendo tener en común una gran parte del trazado y con una bifurcación final): uno más directo hacia la surgencia y otro ligeramente más retardado que concluiría en una surgencia difusa a lo largo del cauce del río.

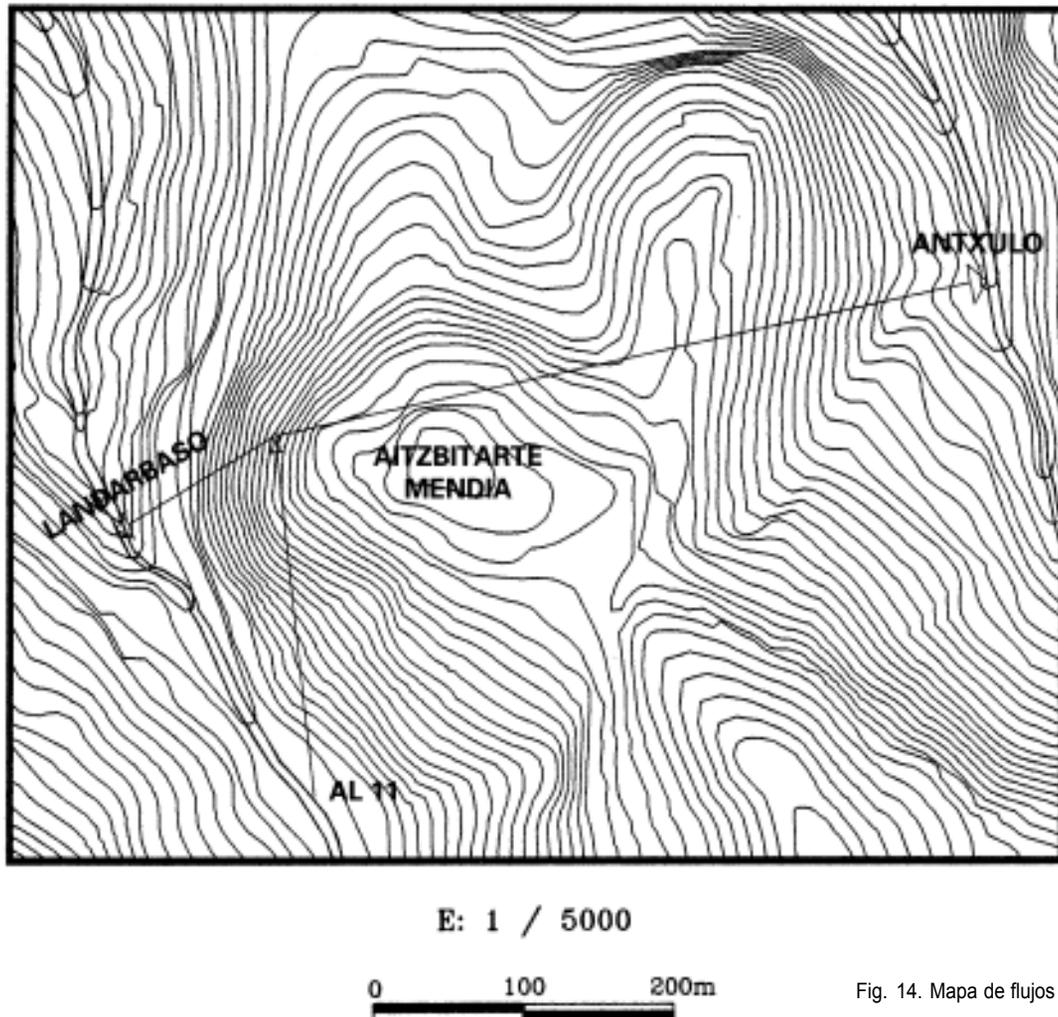


Fig. 14. Mapa de flujos

La coloración en la AI-4 también ha dado positivo en la regata de Landarbaso; y como en esta vertiente no se han inventariado puntos claros de surgencia (aparte de AI - 13, relacionada exclusivamente con AI - 8, y AI - 10, que funciona sólo en

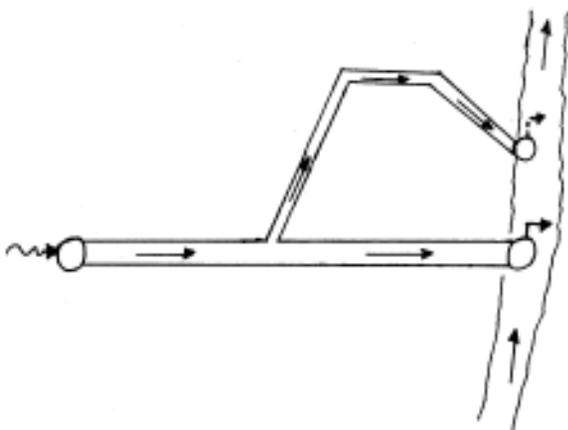


Fig. 15 Esquema simplificado del modelo de drenaje hacia la regata Aintxulo.

aguas altas), la única opción posible es la existencia de una surgencia de tipo difuso. Para comprender mejor el funcionamiento y estructura de esta zona hay que evaluar conjuntamente los datos del trazado con tartracina que evidenció la relación hidráulica entre la cueva AI-8 y la surgencia AI-13. Además el punto denominado como AI-10 nos marca una surgencia tipo trop-plein que nos indica el límite extremo superior que puede alcanzar el nivel freático del acuífero kárstico.

Hay que tener en cuenta que la logística de los ensayos se enfocó hacia la misión primordial de poner de manifiesto las posibles conexiones hidráulicas. De esta forma, las conclusiones adicionales que se deriven del estudio deben ser tomadas con cierta precaución; ya que la periodicidad del muestreo no ha sido lo suficientemente densa como para garantizarlas en su totalidad (al no ser éste el objetivo). Además hay que añadir las posibles incompatibilidades inherentes al método; recordar que los principales inconvenientes de la fluoresce-

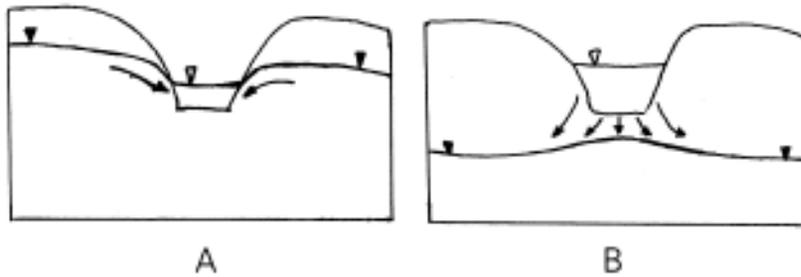


Fig. 16

A) En aguas bajas o estiaje, río efuente, drenante o ganador

B) En aguas altas, río influente, drenado o perdedor

Simbología: ◆ Superficie piezométrica
 ▼ Nivel hídrico del río
 → Trasvase de agua

ina son las retenciones de masa que pueden provocar los materiales orgánicos, carbonosos y arcillosos, así como su alteración con el anhídrido carbónico en aguas de baja alcalinidad.

De la conjunción de todo esto, concluimos que en esta parte del macizo el funcionamiento hidráulico responde a un relativamente complejo sistema global acuifero-río, en el que la semejanza entre las altimetrías de ambos juega un papel fundamental. Los dos polos opuestos de esta aseveración son:

1 - En aguas altas el río se recarga con mayor prontitud y su nivel hídrico queda por encima del nivel freático del acuífero; en esta situación es el río el que alimenta al acuífero. Esta circunstancia es particularmente destacable con fuertes precipitaciones distribuidas en un corto espacio de tiempo. Y es extensible aunque en menor medida, a las condiciones reinantes durante la mayor parte del tiempo; en donde la recarga de nuestro acuífero se produce fundamentalmente por aportes directos del río a través de sumideros, por aportes difusos a lo largo del cauce y por el agua infiltrada por el medio kárstico suprayacente.

2 - En aguas bajas es el acuífero el que ceda agua al río. El agua precipitada, en su viaje a través de las fisuras y el medio kárstico (infiltración), tarda un cierto tiempo en alcanzar el acuífero. De modo que cuando llegue contribuirá a elevar el nivel freático del acuífero, el cual, al estar más alto que el nivel de agua en el río le cederá agua en virtud del desfase en el gradiente hidráulico. Esta situación se encuentra muy localizada tanto espacial como temporalmente y sólo sucede en circunstancias muy particulares.

6.- HUELLA HUMANA.

6.1.- Yacimientos prehistóricos en las cuevas de Aitzbitarte.

El yacimiento prehistórico de la cueva de Aitzbitarte 4 (denominada entonces cueva grande superior) fue descubierto por M. DEL VALLE e

INZAGA, Conde de Lersundi, en 1892, siendo excavado primeramente por él mismo y posteriormente por P. DE SORALUCE en 1898 y 1902. Constituyó el primer hallazgo de yacimiento paleolítico de todo el País Vasco. Al poco tiempo se descubrió el de Isturitz en esta localidad de Baja Navarra.

En 1908 visitó el yacimiento E. HARLÉ, el célebre paleontólogo de Burdeos, quien determinó la presencia del reno entre los materiales excavados, constituyendo el primer hallazgo de esta especie en la Región Cantábrica.

En 1917 visitó las cuevas el abate BREUIL y en carta dirigida el mismo año a J.M. DE BARANDIARAN le hablaba de la presencia de útiles musterienses en Aitzbitarte 3 (cueva grande inferior)

Las excavaciones sistemáticas de acuerdo con las técnicas modernas fueron realizadas por J.M. DE BARANDIARAN entre los años de 1960 y 1964. Descubrió en Aitzbitarte 4 niveles pertenecientes al Aziliense, Magdaleniense, y Solutrense. Los materiales se custodian en la Sociedad de Ciencias Aranzadi. Los resultados de estas campañas se publicaron en Munibe, órgano de dicha Sociedad, en varias memorias, a lo largo de los años 60.

Actualmente J. ALTUNA excava el yacimiento de Aitzbitarte 3, donde han aparecido niveles Solutrenses y Gravetienses, tanto a la entrada de la caverna como en zonas muy profundas de la misma. También estos materiales se custodian en la misma Sociedad. Las dataciones referentes a los niveles Gravetienses (Noaillense) fueron publicadas por el mismo investigador también en la revista Munibe (Antropología-Arqueología) en 1992

6.2.- El hombre en las cuevas de Aitzbitarte

A partir de las excavaciones realizadas en Aitzbitarte se ha podido reconstruir la historia de sus habitantes. Hoy se sabe que el ser humano comenzó a habitar estas cavernas hace 27000 años.

El hombre de Neanderthal se asentó en Gipuzkoa hace 100000 años, en los inicios de la última glaciación. Pero hay que esperar más de 70000

años para contar con datos del asentamiento en la zona de Aitzbitarte del hombre actual, el Homo Sapiens. Las cuevas amplias, secas y orientadas al suroeste constituían un refugio ideal para aquellas tribus. Estos primeros pobladores, pertenecientes a la cultura Perigordienne, ocuparon la cueva de Aitzbitarte III (se demuestra por las herramientas de sílex encontradas en diversas excavaciones).

El clima era frío y seco y la vegetación era de tipo estepario, con bosques de coníferas en las zonas más bajas y protegidas. La fauna estaba formada por especies que actualmente viven en el Norte de Europa como el reno, marmota, perdiz nival, zorro ártico y otras de gran tamaño como el mamut, bisonte, rinoceronte lanudo y oso cavernario. El hombre se dedicaba a su caza y a la recolección de frutos.

Hace 18000 años se instalan en la cueva de Aitzbitarte IV otros grupos pertenecientes a la cultura Solutrense que subsisten de la caza del bisonte, cabra pirenaica y caballos. A éstos, y hasta hace unos 10000 años, les sucede la cultura Magdalénienne que continúa cazando pero con útiles realizados en hueso. Abundan los arpones y agujas que en ocasiones están decorados con variadas incisiones y también se han encontrado piedras labradas con formas de animales.

El final de las glaciaciones y el acercamiento de la costa permite a los pobladores Magdalenienses de Aitzbitarte, la recogida y consumo de moluscos, sobre todo a sus sucesores de la cultura Aziliense, con los que finaliza la ocupación humana de las cuevas de Aitzbitarte.

7.- AGRADECIMIENTOS

Queremos expresar nuestro a los arqueólogos ANA CRISTINA PINTO y FRANCISCO ZUMALABE por corroborar en campo y laboratorios la existencia de restos arqueológicos; al paleontólogo JESUS ALTUNA por facilitarnos un resumen de las excavaciones realizadas en las cuevas de Aitzbitarte; a la Sección de Arqueología histórica de la S.C.A por el prestamo del taquímetro utilizado; a MIKEL ELORZA y JOSE MARIA ARAMBURU del Servicio de Información Territorial de la Diputación Foral de Gipuzkoa por cedernos la base cartográfica digital e información geodésica; al arquitecto MIGUEL MARIA LASA por su desinteresada ayuda en el ploteo de los planos; a BEATRIZ GALLEGU de la Sección de Química Analítica de la U.P.V (Campus de Gipuzkoa) por los análisis de aguas; a FRANCISCO DE LA CRUZ del Departamento de Láminas Delgadas de la U.P.V. en Leioa por la confección de las mismas, al arqueólogo KARLOS OLAETXEA por su asesoramiento en fotografía microscópica; y a ANDONI DA SILVA y PATXI TAMÉS del Servicio de Obras

Hidráulicas de la Diputación Foral de Gipuzkoa por aportar datos hidrogeológicos y sufragar los gastos de los análisis de aguas.

Además hay que agradecer al pleno del Exc. Ayuntamiento de Rentería y su alcalde MIGUEL BUEN LACAMBRA por el interés mostrado en los trabajos realizados y facilitar los medios para la limpieza integral de las cuevas de Aitzbitarte.

8.- BIBLIOGRAFÍA

- ALTUNA J.; ARMENDARIZ A.; MARIEZKURRENA K.; PEÑALVER X. & ZUMALABE F.
1996 Carta Arqueológica de Gipuzkoa.
- ANTIGÜEDAD I.; IBARRA V. & MORALES T.
1989-1990. Los trazadores en la hidrogeología kárstica - Metodología e interpretación de los ensayos de trazado. *Munibe* 41.
- BAUER E.
1971 Espeleología. Editorial Noguer
- CAMPOS, J.
1979 Estudio Geológico del Pirineo al Oeste del río Bidasoa. *Munibe*.
- ELORZA, M. & GOIKOETXEA, I.
1993 Rentería paso a paso: Naturaleza y Huella humana. Ayuntamiento de Rentería.
- ETXEBERRIA, F
1994 *Gipuzkoako Karst eta leizezuloak-Bertan* 6. Gipuzkoako Foru Aldundia.
- EVE
1990 Cartografía 1:25000, Hoja 64-II de San Sebastián.
1996 Mapa Hidrogeológico del País Vasco.
- FABRE, G.
1995 Signes Speleologiques Conventionnels. Association Française de Karstologie.
- FEUILLE, P. & RAT, P.
1971 Structures et paléogéographies pyrénéo-cantabrique. "Histoire Structurale du Golfe de Gascogne. Ed. Technip, Paris.
- FERNANDEZ, E. & PEIRO, R.
1995 Introducción a la Geología Kárstica. Federación Española de Espeleología.
- GOIKOETXEA, I.
1991 Los Grandes Desafíos de la Naturaleza. Espeleología. Editorial Txertoa.
- GROSSENBACHER, Y.
1991 Topographie Souterraine. Commission Enseignement.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGÍA.

1995 Madrid. Valores Normales y Estadísticos de estaciones principales (1961-1990). Observatorio Meteorológico de San Sebastián. Igeldo.

LLOPIS LLADO, N.

1970 Fundamentos de Hidrogeología kárstica.

MAEZTU, J.

1996 Nuevas Herramientas Cartográficas en los Estudios Espeleológicos. Unión de Espeleólogos Vascos. *Karaitza* 5.

MARTINEZ RIUS, A.

1992 Topografía Espeleológica. Federación Española de Espeleología.

MERINO, A.

1990 Bioclimatología de Gipuzkoa. San Sebastián.

OJEDA, J.L.

1984 Métodos Topográficos y Oficina Técnica.

PESQUERA, A.

1975 Contribución a la mineralogía, petrología y metalogénia del macizo paleozoico de Cinco Villas (Pirineos Vascos). Tesis doctoral de la UPV-EHU, Leioa.

PUCH, C.

1997 Cuevas y simas: como representarlas y localizarlas. Espeleo Club de Gracia.

PUIG y LARRAZ, G.

1894 Cavernas y Simas de España. Comisión del mapa Geológico de España.

SECCION DE ESPELEOLOGIA S.C.AРАНZADI

1959 Catalogo Espeleológico de Gipuzkoa.

TALLADA, N & FERNANDEZ, M.

1987 Fundamentos de la práctica espeleológica. Federación Española de Espeleología.

VIERS, G.

1978 Geomorfología. Elementos de Geografía. Editorial Oikos-Tau.