



TRABAJO FINAL DE GRADO

# ESTUDIO DE SOLUCIONES PARA RESOLVER LAS FILTRACIONES EN LA CERRADA DE LA PRESA DE ALLOZ (NAVARRA)

---

ANEJO Nº3: ESTUDIO GEOLÓGICO

**Titulación:** *Grado en Ingeniería Civil*

**Curso académico:** *2017/2018*

**Autor:** *Valentín Marín Dumitru*

**Tutor:** *Julio Garzón Roca*

**Cotutor:** *Francisco Javier Torrijo Echarri*

*Valencia, Junio de 2018*

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN ..... 5

1.1 OBJETO .....5

1.2 ALCANCE .....5

2. MARCO GEOLÓGICO ..... 5

2.1 UNIDADES LITOLÓGICAS .....6

2.2 GEOMORFOLOGÍA .....6

2.2.1 Estudio morfoestructural ..... 6

2.2.2 Estudio del modelado .....7

2.2.3 Formaciones superficiales .....7

2.3 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL .....8

2.4 HIDROGEOLOGÍA.....8

3. GEOLOGÍA LOCAL ..... 9

3.1 GEOLOGÍA DEL VASO .....9

3.2 GEOLOGÍA DE LA CERRADA.....9

4. SISMOLOGÍA ..... 10

5. CONCLUSIONES ..... 10

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS ..... 11

- APÉNDICES
- APÉNDICE I. MAPA GEOLÓGICO REGIONAL
- APÉNDICE II. MAPA GEOMORFOLÓGICO REGIONAL
- APÉNDICE III. MAPA GEOLÓGICO LOCAL
- APÉNDICE IV. MAPA DE PELIGROSIDAD SÍSMICA



## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1 OBJETO

El objeto del presente estudio es la caracterización geológica de la zona del emplazamiento de la presa de Alloz, tanto a nivel regional como a nivel local, a fin de llevar a cabo la posterior campaña geotécnica y la elección de la solución adecuada acorde al tipo de terreno existente.

### 1.2 ALCANCE

El alcance del siguiente estudio comprende el análisis del marco geológico, en el cual se desarrollan las distintas unidades litológicas, la geomorfología, la geología estructural y la hidrogeología de la zona de estudio, así como el análisis de la geología local del vaso y la cerrada del embalse.

## 2. MARCO GEOLÓGICO

Para llevar a cabo la definición geológica del área de estudio se ha empleado la hoja a escala 1:25.000 de Abarzuza (140-IV), que forma parte de la hoja a escala 1:50.000 de Estella del mapa topográfico nacional. Se adjuntan en los apéndices 1 y 2 los mapas geológico y geomorfológico regionales empleados.

Toda el área de esta hoja queda íntegramente englobada en la Comunidad Foral de Navarra, considerándose un área bastante montañosa con una llanada situada en la zona occidental con alturas próximas a los 500 m, donde se encuentra situado el embalse de Alloz, rodeada por relieves que llegan a alcanzar en ocasiones alturas próximas a los 1.000 m y a veces lo superan. Estos accidentes geográficos, que en este cuadrante ocupan el sector oriental del mismo, son Sierra Esparza (1.025 m) y Pico de Axixuri (848 m).

Desde el punto de vista de las aguas superficiales, el embalse de Alloz, que ocupa la zona centro septentrional de la hoja, recoge las aguas provenientes de los relieves situados al norte por los arroyos Ogancia, Guembe y Salado, y tiene su salida por el río Salado, siendo regulado por el Canal de Alloz. Otra arteria de interés, la constituye el río Iruñu en el sector occidental de la hoja cortándola con dirección N-S. Por último, en el borde oriental del cuadrante los barrancos provenientes de los relieves de la Sierra Esparza y Pico de Axixuri, vierten aguas al río Arga.

Desde el punto de vista geológico el cuadrante se sitúa en el extremo noroccidental de la cuenca terciaria continental del Ebro en su límite con el denominado dominio Navarro-Cántabro, integrado en la Región Vasco-Cantábrica. La mayor parte de los materiales que afloran están constituidos por conglomerados, areniscas, arcillas, margas y yesos de origen continental, cuyas edades oscilan entre el Oligoceno y el Mioceno. Al Eoceno corresponden los afloramientos de calizas de Estella-Murugarren, así como los que arman la cerrada del Pantano de Alloz.

El diapiro de Alloz, formado por sedimentos arcillosos y yesíferos de edad triásica, que engloban bloques calizo-dolomíticos de edad jurásica y margosos del Cretácico inferior, constituye la principal expresión estructural de la hoja afectando en parte al resto de materiales circundantes. Este diapiro, junto con los próximos de Estella y Salinas de Oro forman parte de la alineación SO-NE de diapiros Navarros. Es un accidente de gran importancia considerado como parte de la expresión de la denominada Falla de Pamplona. La movilidad tectónica ha ido acompañada de variaciones de cierta importancia en el espesor de las series detríticas. Otras estructuras de interés son las fallas de Mañeru y Murugarren. La primera que separa los materiales intensamente plegados con buzamientos subverticales del Oligoceno de los sedimentos del Mioceno, y la segunda, de carácter inverso que pone en contacto las calizas eocenas con los materiales detríticos miocenos. En el resto de la hoja predomina el pliegue sinclinal de amplio radio (sinclinal de Murillo).

## 2.1 UNIDADES LITOLÓGICAS

Los materiales pertenecientes a la zona de estudio se engloban en el dominio estructural de influencia del diapiro de Alloz, situado en la alineación de diapiros navarros, quedando estos materiales comprendidos en el Triasico (Keuper), Jurásico y Albiense superior-Cenomaniense inferior.

Las unidades litológicas aflorantes en la zona de estudio son las siguientes:

### Margas y margocalizas (Cenomaniense inferior)

Las facies aquí observadas consisten en margas, relativamente arcillosas, grisazuladas, monótonas, que presentan hasta un 30-40% de términos margocalizos y calizas margosas; estas últimas pueden llegar a ser algo nodulares. Se distinguen escasas bioturbaciones, pequeños tubos planares de muy pequeña sección (1-2 mm) y obliteraciones de la marga de contornos redondeados (posiblemente debidas a equínidos). No ha sido encontrada fauna fósil.

Corresponden a un medio de plataforma carbonatada distal, posiblemente pelágica. La potencia máxima aflorante no sobrepasa 125 m, puesto que a techo presentan una discordancia sobre la que se dispone el Eoceno marino.

Este tramo es asignado al Cenomaniense inferior, parte alta, por correlación con la hoja de Estella y por su posición estratigráfica.

### Calcarenitas bioclasticas (Luteciense medio - Bartonense inferior (Biarritziense))

En los afloramientos de los alrededores del Diapiro de Alloz la unidad se presenta como una sucesión de calcarenitas bioclásticas algo recrystalizadas en las que sobre todo se identifican fragmentos de algas rodoficeas, discocyclinas y gran cantidad de nummulites de pequeño y gran tamaño. En general estas calcarenitas tienen un carácter masivo, aunque a escala de afloramiento aparecen estratificadas en bancos de espesor métrico separados por intercalaciones de calcarenitas de grano más fino. En las dos secciones de esta zona en que se han analizado en detalle (Alto de Arradia y borde E de la presa de Alloz), los primeros 10-15 m de la unidad están representados por conglomerados que aparecen ordenados en niveles métricos y con granoclasificación positiva. La matriz de estos conglomerados es arenosa y dentro de ellos se reconocen clastos de naturaleza variable y de diferentes edades (principalmente fragmentos de calizas y calcarenitas eocenas, clastos de calizas de algas posiblemente del Paleoceno, y clastos de areniscas y margocalizas cretácicas).

### Conglomerados de cantos de yeso, areniscas y lutitas rojas (Sueviense-Arverniense)

Esta litofacies aflora exclusivamente en la zona de borde del diapiro de Alloz, donde existen buenos cortes para su reconocimiento en las proximidades de la cerrada de la presa. Se apoya mediante discordancia sobre las calizas brechoides eocenas. Consiste en una serie detrítica de tonos

anaranjados-rojizos, formada por capas de orden métrico de areniscas conglomeráticas, de grano grueso, con cantos de pocos centímetros de yeso alabastrino blanco y abundantes jacintos de compostela, y lutitas de la misma coloración con capas intercaladas de gipsarenitas, con nódulos de yeso disperso en la masa arcillosa. La potencia visible no sobrepasa los 50 m.

### Areniscas en capas extensas y lutitas rojizas y ocreas (Arverniense-Ageniense)

Unidad constituida por areniscas de grano medio y grueso en bancos potentes (de 3 a 6 m) y con extensión kilométrica, lo que permite su trazado como capas guía en la foto aérea, alternando con lutitas pardo rojizas y ocreas. En detalle, estas capas están formadas por la incisión de varios canales amalgamados procedentes de varias fases erosivas.

## 2.2 GEOMORFOLOGÍA

La totalidad de la zona de estudio se encuentra ocupada por la vertiente meridional de los Montes de Iturgoyen en su enlace hacia la Depresión del Ebro. La red de drenaje principal de la zona está constituida por el río Salado, que transcurre por la zona central de la zona en dirección Norte-Sur, y el río Irantzu que, con la misma dirección se localiza en el tercio occidental de la misma.

Las cotas más altas se localizan tanto en la zona septentrional, en las últimas estribaciones serranas, en torno a los 700 m, como en la alineación montuosa entre Garisoain y Cirauqui, en la zona centro meridional, donde se alcanzan cotas cercanas a los 900 m (Alto de Iguste, 861 m). Las zonas más bajas, en torno a los 400 m, se sitúan en la zona más meridional del río Salado, en la zona centromeridional.

Morfométricamente, la zona de estudio se caracteriza por el predominio de las pendientes suaves, correspondientes al paisaje suavemente alomado que se desarrolla a favor de los sedimentos del terciario continental predominantes en la hoja. Solamente en relación con la alineación montuosa ubicada al SE del embalse de Alloz, y en los bordes serranos del Norte de la hoja, aparecen pendientes de terreno medias y altas.

### 2.2.1 Estudio morfoestructural

Las morfologías de génesis estructural se localizan asociadas a niveles más resistentes a la erosión, tanto en la serie del Terciario continental, mayoritaria en el ámbito de la zona, como en las litologías de las series marinas (Jurásico a Terciario) que se localizan en la zona septentrional y centromeridional. Ello da lugar a la aparición de morfologías de superficies estructurales que, ocasionalmente, generan escarpes estructurales en series monoclinales y frentes de cuesta cuando las capas presentan inclinaciones adecuadas.

También se han reconocido, sobre todo en la serie continental, líneas de capa en las que, en ocasiones, se ha señalado su indicación de buzamiento. También se han señalado en el mapa geológico regional adjunto algunas morfologías en cerro cónico, provocadas por la presencia, en situación

culminante, de algún nivel más resistente a la erosión, y las alineaciones morfológicas con control estructural, normalmente relacionadas con líneas de fracturación.

### 2.2.2 Estudio del modelado

Se describen a continuación las principales formas de modelado, de origen exógeno, presentes y agrupadas en función de su génesis.

#### Formas de ladera

Las vertientes, como elementos de enlace entre los relieves elevados y las zonas deprimidas, constituyen una parte importante de la morfología del territorio, representando la zona de tránsito de agua y sedimentos hacia la red de drenaje. En la hoja de Abárzuza, se han diferenciado en la cartografía zonas con regularización general y laderas regularizadas y disectadas, aunque debe señalarse que el proceso está bastante generalizado en el área, sobre todo asociado a las litologías detríticas del Terciario continental, habiéndose señalado únicamente en aquellas áreas en que es más evidente. Algunas laderas, sobre todo en los casos en los que la zona elevada de las mismas está constituida por algún nivel resistente, es frecuente la presencia de recubrimientos de tipo coluvión. De forma puntual, ya que no se trata de un proceso generalizado, se han representado en el mapa geomorfológico regional algunos deslizamientos.

#### Formas fluviales

Las morfologías de génesis fluvial más importantes en el ámbito de la hoja, se encuentran asociadas con los valles de los ríos Irantzu y Salado. Aunque algunos valles de la red de menor orden también presentan depósitos correspondientes a fondos de valle, son los de estos dos ríos los que alcanzan mayor desarrollo, reconociéndose también un nivel de terraza, que normalmente presenta escarpe solapado hacia el fondo aluvial, y situado a 2-3 m sobre el cauce actual. El río Salado, en la zona central de la hoja, presenta un mayor desarrollo de estas morfologías fluviales, aunque en la actualidad, la regulación efectuada por el embalse de Alloz provoca que, sin duda, buena parte de estos depósitos se encuentren actualmente sumergidos por sus aguas. Otras morfologías con depósito, de génesis fluvial, corresponden a los conos de deyección que se forman a la salida de algunos barrancos. Los más importantes se localizan en algunos afluentes del río Salado, en la zona centromeridional de la hoja. En la red fluvial de menor orden, se reconoce un proceso generalizado de incisión lineal que, en algún caso, llega a generar morfologías en garganta y/o cañón. El carácter frecuentemente lábil de los sedimentos del Terciario continental, en los que es frecuente la presencia de tramos limoarcillosos y arenosos, propicia la presencia de áreas con desarrollo de cárcavas, así como laderas en las que predomina la arroyada en regueros. Se han diferenciado también en la cartografía algunas aristas (interfluvios), así como los collados de divergencia fluvial que marcan morfologías netas.

#### Formas poligénicas

Entre las morfologías de génesis poligénica presentes, pueden destacarse las formas de acumulación correspondientes a glaciares y glaciares degradados, en ocasiones limitados por escarpes bien definidos. Se localizan, principalmente, en la zona occidental, al Sur de Abárzuza, y en las márgenes del

río Salado. El espesor de los depósitos no es elevado, aunque su extensión superficial alcanza magnitudes considerables.

#### Formas antrópicas

Destaca la propia presa que regula el embalse de Alloz.

### 2.2.3 Formaciones superficiales

#### Cantos en matriz limoarcillosa. Glaciares y glaciares degradados (Pleistoceno)

Estos depósitos se encuentran representados, principalmente, en la zona occidental y centromeridional de la zona. Litológicamente, están formados por cantos, predominantemente carbonatados, subangulosos a subredondeados, empastados en una matriz relativamente abundante arcillo-limosa, de tonos pardos y amarillentos dominantes.

#### Gravas, arenas y limos (Pleistoceno)

Asociados a los cauces de los ríos Irantzu y Salado, se han cartografiado una serie de depósitos correspondientes a terrazas fluviales. Están compuestos por gravas en una matriz arenosa y limosa de tonos grises. Su espesor se sitúa en torno a los 2-3 m.

#### Cantos en matriz limo-arcillosa (Holoceno)

En algunas vertientes, generalmente las culminadas por un nivel más resistente que, habitualmente, generan morfologías de crestas, cuevas o líneas de capa dura, se localizan depósitos de ladera atribuidos a coluviones. Están formados por cantos, angulosos y subangulosos, procedentes de los niveles que generan la parte alta de los relieves, en matriz de limos y arcillas, generalmente de tonos ocre y amarillentos. Su espesor puede alcanzar los 2-3 m en las zonas más distales de la forma. Se les ha atribuido edad holocena.

#### Gravas, arenas y arcillas (fondos de valle) y cantos en matriz limoarcillosa (conos de deyección) (Holoceno)

Asociados a algunos cauces, tanto de la red principal como de la secundaria, se reconocen depósitos atribuibles a fondos de valle. Los más extensos corresponden a los de los ríos Irantzu y Salado. Están compuestos por gravas dominantes, con matriz arenosa y arcillosa. Su espesor, difícilmente cuantificable, puede estimarse como máximo en 1-2 m, excepto en el caso de los fondos de la red principal en los que, posiblemente, se superen los 2 m. En las salidas de algunos barrancos se han cartografiado morfologías correspondientes a conos de deyección, constituidos por cantos más o menos heterométricos, en abundante matriz limoarcillosa. Su espesor, en las zonas más distales, puede alcanzar los 2-3 m.

Cantos en matriz limo-arcillosa. Glacis actual-subactual y depósitos aluvial-coluvial (Holoceno)

En la zona de Abárzuza se ha cartografiado una morfología de glacis actual-subactual, constituida por cantos, predominantemente calizos, subredondeados a subangulosos, con abundante matriz limoarcillosa de tonos pardos. Su espesor puede estimarse en torno a los 2 m. Por otra parte, se han diferenciado también algunas áreas en las que se localizan materiales de génesis mixta, fluvial y de ladera, compuestos por cantos en matriz limoarcillosa, que se han cartografiado como depósitos aluvial-coluvial. Su espesor es reducido, y no supera habitualmente los 2 m.

**2.3 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL**

El sector estructural correspondiente al ámbito de estudio se caracteriza por un plegamiento de amplio radio y directrices claramente pirenaicas, en el que están bien representadas las sucesiones del Cretácico superior y Terciario marinos. En la parte SE de la zona considerada, asimismo está representado el borde de la Cuenca del Ebro, el cual corresponde a una depresión rellena con materiales continentales oligomiocenos. Un elemento estructural importante dentro de la zona corresponde a la denominada Alineación de Diapiros navarros o Falla de Pamplona. Aparte de haber constituido un límite de cuencas, este importante accidente marcaría la línea divisoria de los esfuerzos que caracterizan las áreas estructurales pirenaicas y vasco-cantábrico.

En base a su ubicación, dentro del área aquí considerada se reconocen estructuras de elongación típicamente cantábrica (pliegues y fallas de dirección aproximadamente EW), así como otras de orientación NE-SW o N-S que posiblemente estarían relacionadas con el accidente principal de la Falla de Pamplona. Atendiendo a las lineaciones principales y estructuras que presentan, dentro de toda la zona considerada se perfilan varias unidades: al SW la Sierra de Lokiz; adyacente a esta última por el E, el Domo de Zufia, al N las Sierras de Urbasa y Andía, y todo el sistema de fallas que las compartmentan; al SE el borde de la depresión del Ebro, y por último, los diapiros de Estella, Allotz y Salinas de Oro.

Junto con los de Estella y Salinas de Oro, estos tres diapiros configurarían la denominada Alineación de diapiros navarros. El diapiro de Alloz es cartográficamente el más complejo de los tres y, en conjunto, aparece como una extrusión diapírica alineada según una dirección NW-SE, aproximadamente paralela a la dirección del anticlinal de Mañeru. En su borde NE la masa extruida, principalmente compuesta por arcillas y yesos del Keuper, presenta una prolongación que marca el contacto del Anticlinal de Mañeru con el bloque donde afloran los materiales marinos del Cretácico y Terciario, el cual aparece compartimentado por la Falla de Puentelarreina y varias fallas normales asociadas de pequeño salto.

**2.4 HIDROGEOLOGÍA**

La masa de agua subterránea más cercana la zona de estudio es la correspondiente a la unidad hidrogeológica de Andía. Ésta se encuentra limitada por la Sierra de Urbasa al oeste y el cauce de los ríos Araquil y Arga al oeste, por lo que no afecta directamente a nuestra zona de estudio.

En la zona del embalse de Alloz no existe ninguna formación acuífera, lo que conlleva una recarga del embalse de forma superficial. En la siguiente figura se muestran las formaciones hidrogeológicas de la cuenca del Ebro (verde), así como las zonas con ausencia de acuíferos (naranja). En amarillo aparece representada la formación de Andía, siendo esta la más cercana a la zona de estudio, pero sin afección directa a esta.

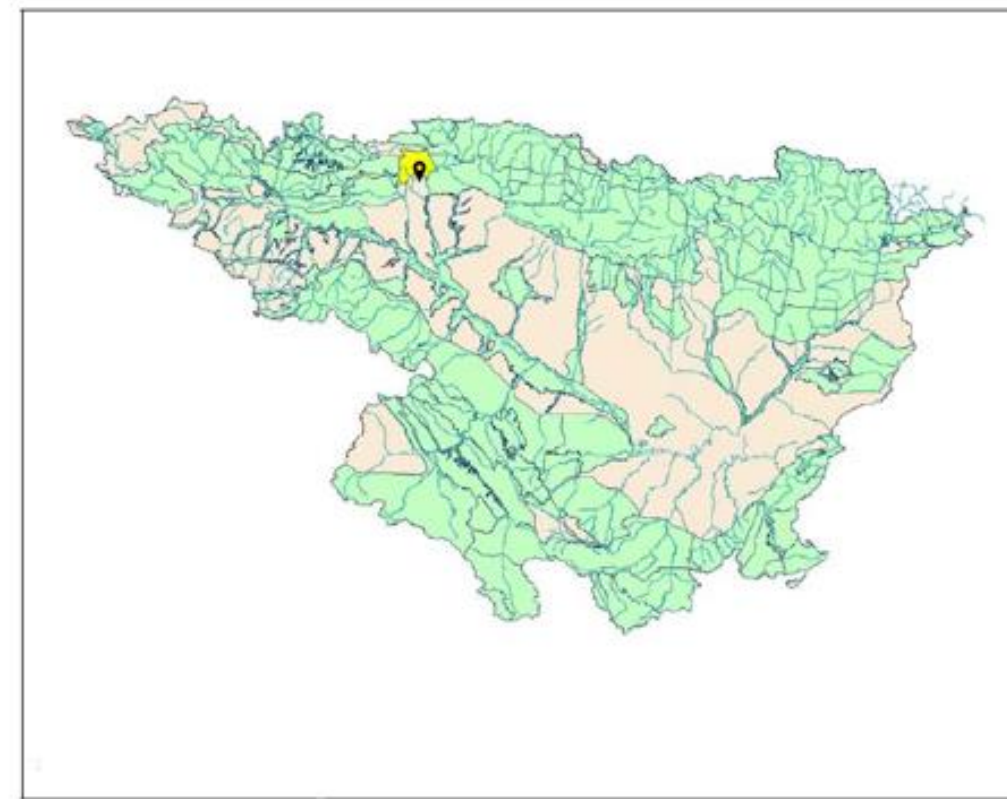


Figura 1. Formaciones hidrogeológicas de la cuenca del Ebro. Fuente: Confederación Hidrográfica del Ebro



### 3. GEOLOGÍA LOCAL

#### 3.1 GEOLOGÍA DEL VASO

El vaso del embalse de Allos lo constituyen esencialmente las margas y areniscas del Oligoceno-Aquitaniense que parece estar plegado en un gran sinclinal que hace aflorar margas yesos basales, cerca de la cerrada y en la cola del embalse.

Esta banda yesífera, claramente del Oligoceno Superior, presenta estratificación alternante de margas ocres o rojizas y yesos lenticulares, que contornean los límites de las calizas eocenas de la cerrada, cabalgando o recubriéndolas en la margen derecha debajo de la presa.

El Keuper aflorante en Allos se extiende radialmente hacia el embalse con dirección NE cortando las margas, areniscas y margas yesíferas del Oligoceno, detectándose su presencia en el collado de la margen derecha y en la margen izquierda, sobre todo por la presencia de "Jacintos de Compostela" de tamaño milimétrico, lo cual explica que, durante mucho tiempo toda la formación yesosa, fuera atribuida al Oligoceno por no haberse detectado dichos minerales.

El otro gran afloramiento del Keuper, situado hacia el NE de la cola del embalse, parece que no lo alcanza, si bien su alineación coincide aproximadamente con el curso del Río Salado, lo que pudiera indicar la presencia de una falla o fractura a favor de la cual se pudiera encontrar nuevos afloramientos.

Todo el Keuper se presenta en su facies de arcillas rojizas con abundantes yesos pudiendo dar tonalidades gris-verdosas. No presenta estratificación, sino una estructura fluida estando, en ocasiones, acompañado por carniolas.

En el collado de la margen derecha, el Keuper aparece en forma acuñada, extendiéndose hacia el embalse, suponiéndose que, en la zona inundada se encuentra bajo los recubrimientos cuaternarios.

#### 3.2 GEOLOGÍA DE LA CERRADA

La presa de Allos cierra la entalladura labrada por el Río Salado en un crestón de calizas eocenas, dispuestas transversalmente al mismo. Por la margen izquierda tienen una continuidad solo alterada por algún pequeño desplazamiento provocado por una falla, mientras que, en la zona próxima al collado de la margen derecha, sufren una fuerte flexión penetrando bajo el Keuper y el oligoceno.

La potencia del paquete es de unos 70 metros y sus estratos buzanan, con gran inclinación, hacia aguas arriba.

Dentro de él se pueden distinguir tres niveles: el tramo superior está constituido por un estrato de calizas de grano fino con algas, con una potencia media de unos 30-40 metros.

El segundo tramo está constituido por calizas detríticas, y el tercero por calizas organógenas y detríticas; en ellas se localizan abundantes nummulites y alveolinas, así como un nivel conglomerático o

brechoidal de 3 a 5 metros de espesor, formados por cantos calizos y alguno silíceo, generalmente redondeados, de diámetro mediano, con una matriz arcillosa.

Estratigráficamente situadas por debajo de las calizas eocenas y concordantes con ellas se encuentran unas margas del Cretácico de color gris a ocre, con algunas intercalaciones más calcáreas. Es de destacar, en el contacto con las calizas eocenas, la presencia del nivel brechoideo y que puede indicar la presencia de deslizamiento tectónico de las calizas sobre las margas.

Por debajo de las margas grises y ocres se dispone una alternancia de calizas, margas blandas y margas más calcáreas. Todo el conjunto margoso pertenece al Cretácico Superior, distinguiéndose dos niveles; el superior, Cenomanense, en el que están de acuerdo todos los autores, y el inferior clasificado como albense, aunque en algunos informes se ha datado como Aptense.

Ocupando el lecho del río se encuentran depósitos cuaternarios correspondientes a sedimentos poligénicos, esencialmente calizos, de granulometría variable y con una potencia inferior a los tres metros.

En la zona del estribo izquierdo se observan cuatro discontinuidades Este-Oeste de buzamiento subvertical (F-1, F-2, F-3, F-4) que se consideran como una exageración local del diaclasado. Entre la zona de presa y la del collado se deduce o se observa la presencia de distintos accidentes (D-1, D-2, D-3 D-4, D-5). En la zona de la cerrada existen cuatro sistemas de diaclasas dominantes:

##### Sistema 1

Presenta una orientación media Norte 70º Este y buzamiento subvertical. Se trata de un sistema bastante extendido en toda la zona, que da lugar a diaclasas abiertas, aunque sin relleno.

##### Sistema 2

De orientación media Norte 10º Oeste y buzamiento subvertical, presenta un desarrollo similar al anterior.

El rumbo puede variar en  $\pm 15^\circ$  y su buzamiento 20º hacia el Este o el Oeste. A este sistema pertenecen las discontinuidades anteriormente mencionadas (D-1 a D-5).

##### Sistema 3

Rumbo Norte 30º Oeste con buzamiento de 65º hacia el Este. Su desarrollo es mediano.

##### Sistema 4

Presenta una orientación Este-Oeste y su buzamiento oscila entre 45º y 65º. Corresponde a diaclasas muy abiertas de superficie irregular y sin relleno. Desde el punto de vista de la estabilidad del macizo rocoso, son las más importantes.

#### 4. SISMOLOGÍA

Para el estudio de la peligrosidad sísmica de la zona se empleará la Norma de Construcción Sismorresistente (NCSE-02), en la cual viene definida dicha peligrosidad por medio del mapa sísmico que se muestra a continuación:

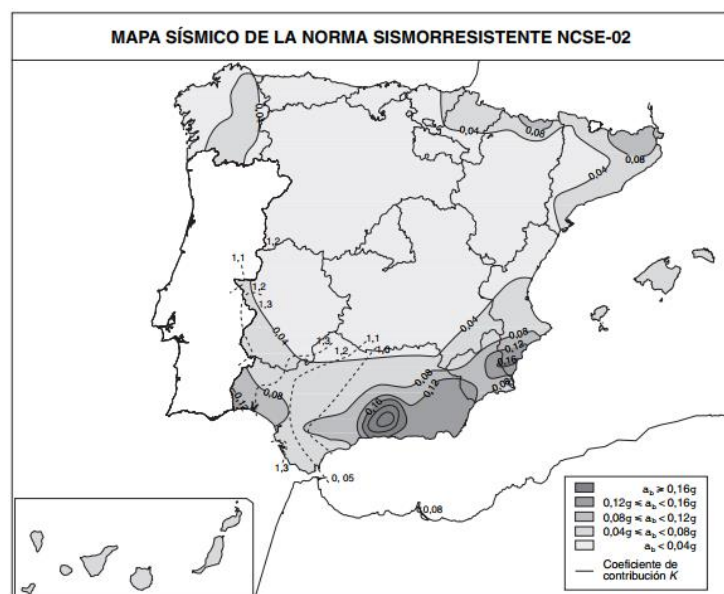


Figura 2: Mapa de peligrosidad sísmica. Fuente: NCSE-02

Dicho mapa suministra, expresada en relación al valor de la gravedad,  $g$ , la aceleración sísmica básica,  $a_b$ - valor característico de la aceleración horizontal de la superficie del terreno- y el coeficiente de contribución  $K$ , que tiene en cuenta la influencia de los distintos tipos de terremotos esperados en la peligrosidad sísmica de cada punto.

Tal y como se puede observar en el mapa de peligrosidad de la NCSE-02 la zona de estudio se encuentra localizada en el límite entre una aceleración sísmica básica de  $0,04g$  y  $0,08g$ . Para realizar una comprobación más exacta se recurre al mapa de peligrosidad sísmica del IGN (Incluido en el Apéndice IV), el cual indica una aceleración básica de entre  $0,06g$  y  $0,08g$ , por tanto, se tendrá en cuenta una aceleración básica de  $0,07g$  como valor intermedio entre ambos. A continuación, se realiza el cálculo de la aceleración sísmica de cálculo según NCSE-02.

Considerando que la construcción es de importancia especial obtendríamos un coeficiente de amplificación del terreno  $S$  (según NCSE-02) igual al coeficiente del terreno  $C$  dividido entre  $1,25$ . Este coeficiente  $C$  toma el valor  $1$  al tratarse de un terreno tipo I (Roca compacta). Por tanto, el coeficiente  $C$  toma un valor de  $0,8$  y a su vez se obtiene una aceleración sísmica de cálculo de  $0,0728g$ .

#### 5. CONCLUSIONES

Tras analizar la geología regional y local, cabe destacar que el terreno existente en la zona de estudio se trata de roca en su totalidad, por lo que, siendo el material más desfavorable (en cuanto a resistencia) las margas, a priori reúnen la resistencia suficiente como para recibir los esfuerzos que transmite la estructura en la cerrada.

Por otra parte, el principal inconveniente que presenta el terreno son los afloramientos yesosos entre las margas, que principalmente afectan al embalse en la zona de la margen derecha, donde se han registrado el mayor número de filtraciones desde la puesta en funcionamiento del aprovechamiento y que, a día de hoy, sigue presentando problemas a pesar de los esfuerzos continuados para paliar la situación.

Es por esto, que se deberán caracterizar geotécnicamente los materiales del Keuper a fin de establecer la solución adecuada para impedir el paso del agua a través del terreno.

Finalmente es necesario poner de manifiesto la inexistencia de formaciones acuíferas en la zona, lo que facilitara el estudio en gran medida. Por el contra, el hecho de tener en cuenta el sismo será un factor condicionante a la hora de elegir la solución definitiva para el problema.

## 6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Las fuentes de información o referencias empleadas para la redacción de este estudio son las mencionadas a continuación:

- 1) GOBIERNO DE NAVARRA (2009). *Cartografía Geológica de Navarra. Hoja 140-IV*.
- 2) IGME (1987). *Mapa geológico de España. Hoja 140*.
- 3) RUIZ DE GAONA, M. (1952). *Notas y datos para la geología de Navarra*. Primer congreso internacional del Pirineo, Instituto de estudios pirenaicos, Zaragoza.
- 4) PAYROS, A. (1997). *El Eoceno de la Cuenca de Pamplona: Estratigrafía secuencial y evolución paleogeográfica* (Tesis doctoral). Universidad País Vasco.
- 5) AMIOT, M. (1982). *El Cretácico de España*. Universidad Complutense de Madrid.
- 6) PALACIOS, P. (1919). *Los terrenos mesozoicos de Navarra*. Bol. Inst. Geol. España.
- 7) LEON, L.; PUIGDEFABREGAS, C.; RAMIREZ DEL POZO, J. (1971). *Variaciones sedimentarias durante el Eoceno medio en la Sierra de Andía*. Acta Geológica Hispánica, vol. 6.
- 8) LEON, L. (1972). *Síntesis Paleogeográfica y Estratigráfica del Paleoceno del Norte de Navarra, paso al Eoceno*.
- 9) MINISTERIO DE FOMENTO (2002). *Norma de Construcción Sismorresistente (NCSE-02)*.
- 10) CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA DEL EBRO (2006). *Masa de agua subterránea de la Sierra de Andía*.
- 11) Web del IGME (1º consulta en febrero de 2018). Disponible en: <http://www.igme.es>
- 12) Web de la Confederación Hidrográfica del Ebro (1º consulta en febrero de 2018). Disponible en: <http://www.chebro.es>

**APÉNDICE I. MAPA GEOLÓGICO REGIONAL**



140-IV

---

(48-16)



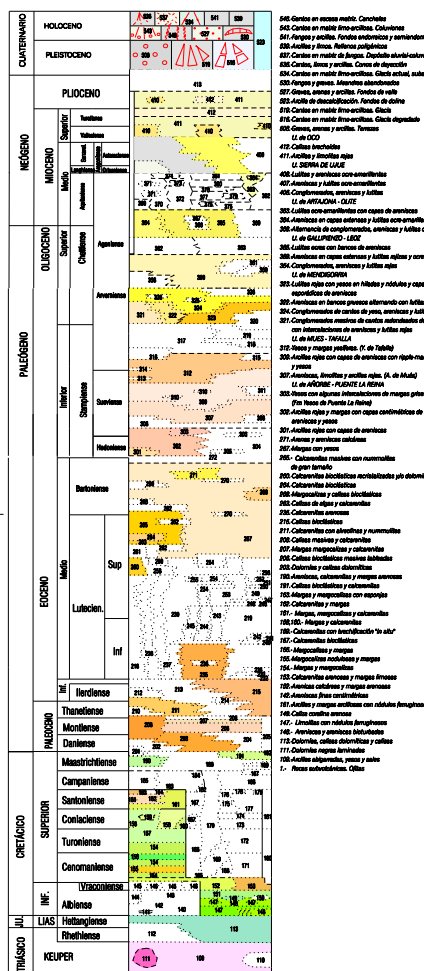
|                   |                |                 |                |                |
|-------------------|----------------|-----------------|----------------|----------------|
| SUCRETERIA<br>113 | ALTABAR<br>114 | AMORIN<br>115   | Zudaire<br>I   | Lezaun<br>II   |
| ERATE<br>120      | ESTELLA<br>141 | PAULPENA<br>141 | Estella<br>III | Abárzuza<br>IV |
| WARRA<br>171      | ALLO<br>172    | TIENILLA<br>173 |                |                |

A map of the Ebro river basin in northern Spain. The map shows the river's course from the north towards the south. Key locations marked with red dots and labels are Zudaire, Lezaun, Barroiza, and Estella. A large reservoir, labeled 'EMBALSE DE ALCAÑIZ', is shown on the right side of the river. The map includes topographical features like mountains and rivers, and a grid system with letters A, B, C, D, E, F, G, H, I, J, K, L, M, N, O, P, Q, R, S, T, U, V, W, X, Y, Z and numbers 1 through 25.

Escala 1:200.000

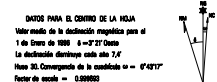


|           |                                    |  |  |
|-----------|------------------------------------|--|--|
| -----     | Contacto normal                    |  | Deslamiento  |
| - - - - - | Contacto discordante               |  |  |
| -----     | Contacto gradual                   |  | Anticlinal   |
| -----     | Contacto medievino                 |  | Sinclinal  |
| -----     | Cambio lateral de tacto            |  | Dirección y cantidad de buzamiento   |
|           | Unas de cappa                      |  | Salinificación invertida   |
|           | Falla con indicación de movimiento |  | Salinificación normal  |
| -----     | Falla normal                       |  | Dirección y cantidad de buzamiento, por litología<br>(de 30 a 40 y 50 a 60 grados) |
| -----     | Falla supuesta                     |  | Situación de las corrientes  |
|           | Falla inversa                      |  |  |



\* Leyenda geológica (Folios 139-140) obtenida a partir de la Leyenda Geológica de Navarra a escala 1:25.000

DATOS PARA EL CENTRO DE LA HOJA  
 Valor medio de la declinación magnética para el  
 1 de Enero de 1996  $\delta = 3^{\circ} 21'$  Oeste  
 La declinación disminuye cada año 7,4"  
 Huec 30. Convergencia de la cuadrícula  $\omega = 0^{\circ} 43'$   
 Factor de escala = 0.999993



1 : 25.000

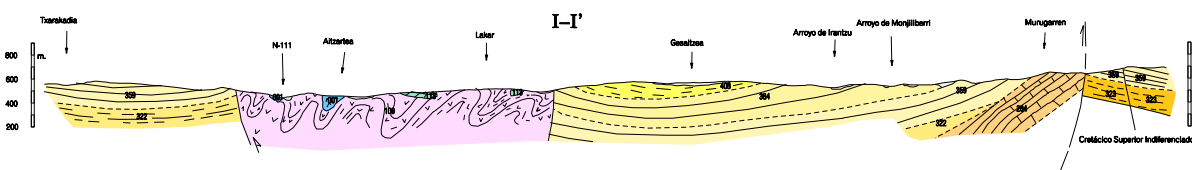
0 1 2 Kilómetros

Español Internacional, Proyección U.T.M. Datum europeo. Las longitudes están referidas al meridiano de Greenwich.

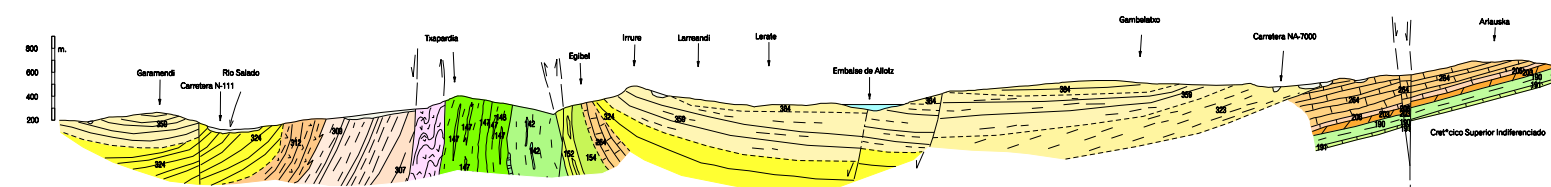
Las altitudes se refieren al nivel medio del Mediterráneo en Alicante. Espotaciones de las curvas de nivel 10 metros.

Las coordenadas geográficas se expresan con precisión a la 1ª y 2ª decimales según se indica.

**CORTES GEOLOGICOS**



II-II'






**APÉNDICE II. MAPA GEOMORFOLÓGICO REGIONAL**

MAPA GEOMORFOLOGICO  
ESCALA 1:25.000

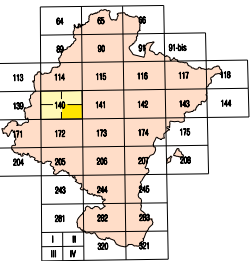
ABARZUZA

140-IV  
(24-8)

 Gobierno de Navarra  
Departamento de Obras Públicas,  
Transportes y Comunicaciones  
SERVICIO DE PROYECTOS, TECNOLOGÍA  
Y OBRAS HIDRÁULICAS  
Sección de Geología y Geotecnia

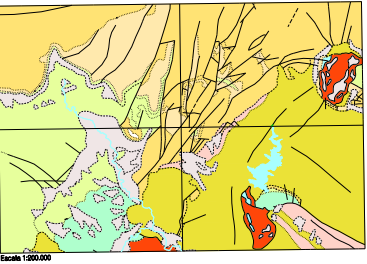
MAPA GEOMORFOLÓGICO DE NAVARRA  
Escala 1:25.000

HOJA 140-IV (ABARZUZA)



|     |     |     |     |     |
|-----|-----|-----|-----|-----|
| 100 | 101 | 102 | 103 | 104 |
| 105 | 106 | 107 | 108 | 109 |
| 110 | 111 | 112 | 113 | 114 |
| 115 | 116 | 117 | 118 | 119 |
| 120 | 121 | 122 | 123 | 124 |

ESQUEMA MORFOESTRUCTURAL



Geological Legend:

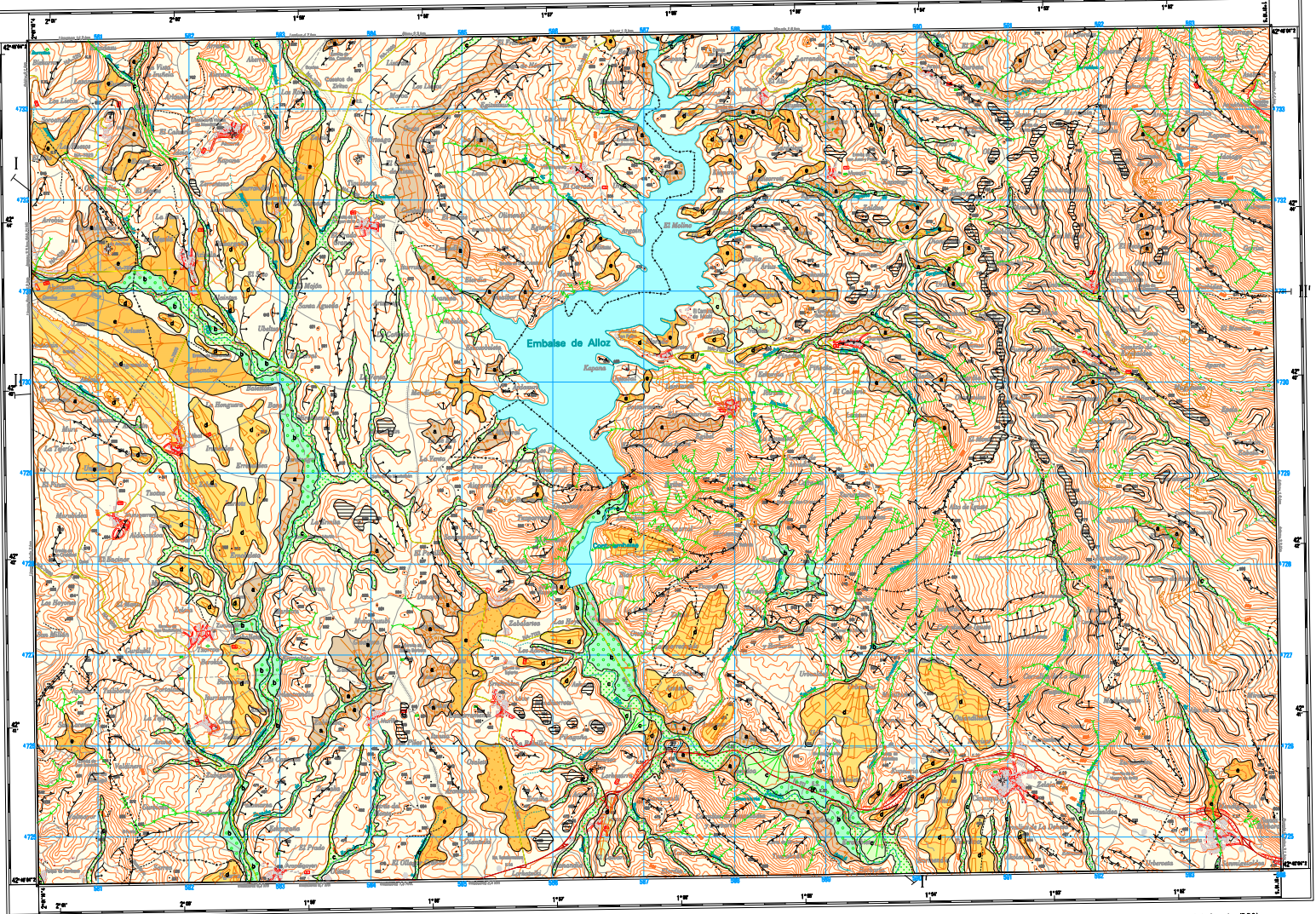
|             |                    |
|-------------|--------------------|
| Cuaternario | Cretácico Superior |
| Neógeno     | Cretácico Inferior |
| Oligoceno   | Jurásico           |
| Eoceno      | Keuper             |
| Paleoceno   |                    |

LEYENDA

| CUATERNARIO | NEÓGENO | OLIGOCENO | EOCENO | PALEOCENO | CRETÁCICO | JURÁSICO | TRIÁSICO |
|-------------|---------|-----------|--------|-----------|-----------|----------|----------|
| 1           | 2       | 3         | 4      | 5         | 6         | 7        | 8        |

SIMBOLOGÍA DE LAS FORMAS

- ESTRUTURALES
- 1 Superficie estructural
  - 5 Escarpe estructural en series monoclinales. Frente de crista
  - 6 Cresta
  - 7 Cerro cónico
  - 8 Línea de capa
  - 9 Línea de capa con indicación de buzamiento
  - 10 Alineación morfológica con control estructural
- LADERAS
- 12 Regularización general
  - 13 Deslizamiento
  - 14 Coluación
  - 15 Ladera regularizada y disectada
- FLUMIALES
- 14 Fondos de valle
  - 15 Terraza
  - 17 Conos de deyección
- POLIGENICAS
- 18 Incisión lineal
  - 19 Cárcavas
  - 20 Gargantas, cañones
  - 21 Arroyos en rieguros
  - 22 Escarpe de terraza
  - 23 Aristas (interfluvios)
  - 25 Collado de divergencia fluvial
- ANTROPICO
- 37 Presa

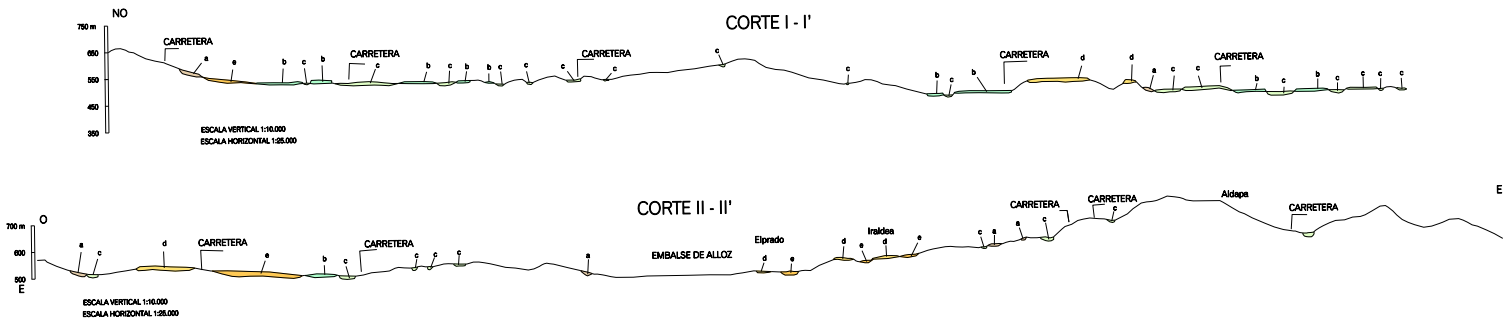


DATOS PARA EL CORTE DE LA HOJA  
Vértice medio de la división regional para el  
1 de mayo de 1980. A = 10° 10' 00" N  
La altitud de la zona es de 100 m.  
El punto de partida de la división es el punto A.  
El punto de partida de la división es el punto A.  
El punto de partida de la división es el punto A.

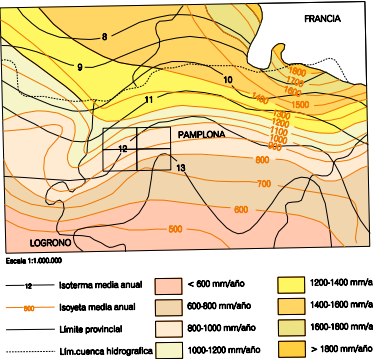
1 : 25.000  
Escala vertical: 1:100.000  
Escala horizontal: 1:25.000

Autónoma: A. Hernández Sanmiguel (E.G.S.)  
J. J. Barrio Ceballos (E.G.S.)  
M. A. López-Hernández (E.G.S.)  
Dirección y Supervisión: Estación Feat Periodo (Gobierno de Navarra)  
Coordinación Cartográfica Digital: M. Jesús Larralde Sainza (Gobierno de Navarra)  
Papel de Especificación: Año 1980

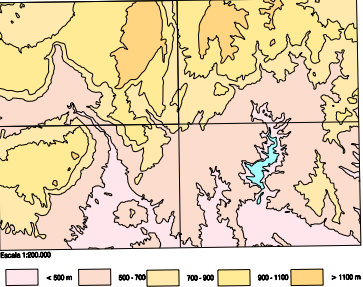
CORTES GEOMORFOLÓGICOS



ESQUEMA CLIMÁTICO

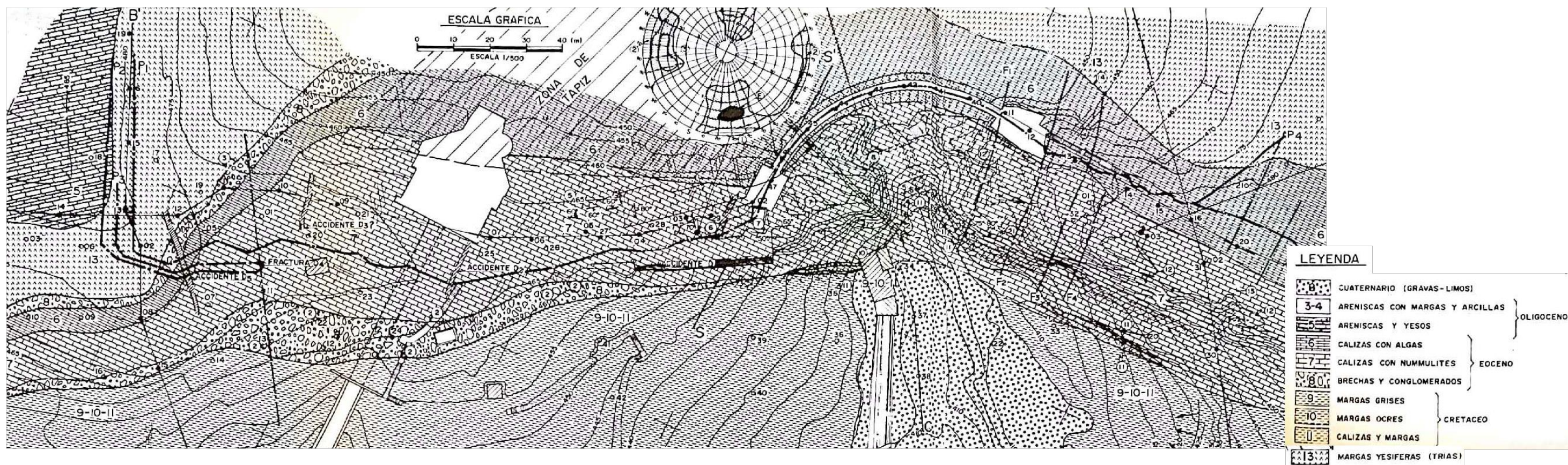


ESQUEMA HIPSOMÉTRICO



**APÉNDICE III. MAPA GEOLÓGICO LOCAL**







**APÉNDICE IV. MAPA DE PELIGROSIDAD SÍSMICA**

