

HOJA 141 - IV (ELORZ)

La presente Hoja y Memoria ha sido realizada por "Informes y Proyectos, S.A. (INYPSA)", durante el año 1993, con normas, dirección y supervisión del Gobierno de Navarra habiendo intervenido los siguientes técnicos :

Dirección y Supervisión (GOBIERNO DE NAVARRA)

- | | | |
|---|-------------------------|------------------------|
| - | Faci Paricio, E. | Dirección del Proyecto |
| - | Castiella Nuruzabal, J. | Dirección del Proyecto |
| - | Galán Pérez, G. | Dirección del Proyecto |

Autores y Colaboradores

- | | | |
|---|---------------------------------|--------------------------------------|
| - | García de Domingo, A. (INYPSA). | Cartografía, memoria y teledetección |
| - | Solé Pont, J. (INYPSA). | Sedimentología |
| - | Cabra Gil, P. (INYPSA). | Geomorfología y Cuaternario |
| - | Blas Balaguera, I. (INYPSA). | Informática geológica |
| - | Alameda Revalderia, J. (INYPSA) | Geotecnia |
| - | Martínez Arias, A. (INYPSA) | Hidrogeología |
| - | Del Valle de Lertxundi, J. | Cartografía y memoria |
| - | Ramírez del Pozo, J. | Micropaleontología y Petrología |

INDICE

0.- INTRODUCCION

1.- ESTRATIGRAFIA

1.1.- Cretácico

1.1.1.- Cretácico superior

1.2.- Terciario marino

1.2.1.- Paleoceno

1.2.2.- Eoceno

1.2.2.1.- Ilerdiense-Cuisiense-Luteciense inferior

1.2.2.2.- Bartoniense-Priaboniense inferior

1.2.2.3.- Priaboniense inferior

1.2.2.4.- Priaboniense superior

1.2.3.- Análisis secuencial y paleogeográfico del paleogeno marino

1.3.- Terciario continental

1.3.1.- Oligoceno

1.3.1.1.- Sueviense inferior

1.3.1.2.- Sueviense superior

1.3.2.- Oligoceno terminal-Mioceno inferior

1.3.2.1.- Arveniense-Ageniense

1.3.3.- Mioceno inferior

1.3.3.1.- Ageniense-Aragoniense

1.4.- Cuaternario

1.4.1.- Terrazas

1.4.2.- Fondos de valle

1.4.3.- Conos de deyección

1.4.4.- Coluviones

1.4.5.- Piedemonte

1.4.6.- Arcillas de descalcificación

1.4.7.- Glacis

2.- TECTONICA

2.1.- La Cuenca de Pamplona

2.2.- Descripción de las principales estructuras

2.2.1.- Pliegues

2.2.2.- Fracturas

2.2.3.- Discordancias

2.3.- Teledetección

3.- GEOMORFOLOGIA

3.1.- Descripción fisiográfica

3.2.- Análisis morfológico

3.2.1.- Estudio morfoestructural

3.2.2.- Estudio del modelado

3.2.2.1.- Formas fluviales

3.2.2.2.- Formas de ladera

3.2.2.3.- Formas kársticas

3.2.2.4.- Formas poligénicas

3.2.2.5.- Formas antrópicas

3.3.- Formaciones superficiales

3.4.- Evolución geomorfológica

3.5.- Dinámica actual y subactual. Tendencias futuras

4.- HISTORIA GEOLOGICA

5.- GEOLOGIA ECONOMICA

5.1.- Recursos minerales

5.2.- Hidrogeología

5.3.- Geotecnia

6.- BIBLIOGRAFIA

0.- INTRODUCCION

La Hoja de Elorz (141-IV) se encuentra incluida en la denominada geológicamente como Cuenca de Pamplona, (Fig. 1) cuyos límites geológicos están definidos al oeste por la falla de Estella, con cambios tanto en el estilo tectónico como en los depósitos. Esta estructura se trata en realidad de dos fallas de desgarre diferentes, una que afecta únicamente al cobertera, otra profunda que afecta al zocalo y que es la que desplaza la falla norpirenaica al "Mano de los Marmoles" o falla de Ceiza. En realidad este accidente no es una falla única de desgarre, sino que se trata de una amplia banda de cizallamiento orientada de NNE a SSO que afecta a la cobertera desde la Sierra de Andía hasta la zona oriental de la Sierra del Perdón. Al este está limitada por las estructuras pirenaicas del entorno del macizo de Oroz-Betelu con gran desarrollo de sedimentos turbidíticos que se sumergen bajo los sedimentos margosos típicos de esta cuenca. Al sur está limitado por el cabalgamiento de la Sierra de Alaiz que la separa de la Cuenca del Ebro y al norte por la estructura de dirección E-O, originadas posiblemente por el cabalgamiento de Roncesvalles.

El relieve de esta Hoja se encuentra marcado por la presencia de una alineación calcárea que con dirección NE-SO recorre la mitad meridional de la Hoja. Esta alineación, denominada la Sierra de Alaiz constituye la máxima elevación observada en esta Hoja. La altura máxima es de 1287 m en la Higa de Monreal, descendiendo abruptamente hacia el norte hasta alcanzar una cota media de 550 m. Esta ladera de gran pendiente solo es accesible fácilmente por Ezperun y Monreal. Hacia el Sur el relieve se suaviza, con menos pendiente, terminando aproximadamente en la cota 850 m. Esta ladera se encuentra intensamente repoblada, y por lo tanto con afloramientos de mala calidad. El acceso a este sector de la Hoja se realiza por Unzue y por Echagüe, en concreto el camino que parte de esta última localidad atraviesa la Sierra hasta Monreal.

El resto de la Hoja, exceptuando el vértice NE que ocupa las estribaciones de la Sierra de Tajonar con alturas medias de 600 m y el ángulo NO ocupado por las estribaciones de la Sierra del Perdón con alturas de unos 1000 m, está ocupado por suaves colinas de materiales margosos, recorridos por el río Elorza y sus afluentes; especialmente por la margen derecha; cuyo colector principal está definido en el barranco Errecaldea.

Geológicamente y a grandes rasgos, como se puede apreciar en la figura adjunta, la zona estudiada se encuentra situada en el sector occidental del Pirineo Central: La Cordillera Pirenaica consiste en una cinturón de pliegues y cabalgamientos de orientación aproximada de este-oeste desarrollados entre el Cretácico superior y el Mioceno inferior como

resultado de la convergencia entre las placas ibérica y europea. Las rocas involucradas en la deformación alpina, incluyen un basamento paleozoico (deformado durante la orogénesis hercínica), una serie mesozoica preorogénica, depositada principalmente en un contexto estensional y un conjunto de sedimentos sinorónicos del Cretácico Terciario y Terciario, integrantes en las láminas cabalgantes y en las cuencas del antepaís que bordean la cordillera por el norte y por el sur.

En este contexto, los materiales aflorantes o subaflorantes en esta región comienzan con depósitos arcillosos salinos del triásico superior en facies Keuper. El Jurásico, no aflorante, estudiado en los diversos sondeos profundos realizados en esta zona, presenta una cierta uniformidad diferenciándose a grandes rasgos seis unidades. Comienza con arcillas anhidríticas grises y rojas que pasan hacia techo a dolomías cavernícolas, brechas dolomíticas y niveles de anhidrita, con una potencia máxima de 260 m en el sondeo de Astrain. La siguiente unidad está constituida por calizas y calizas dolomíticas con laminaciones y margas arcillosas, con potencias máximas entre 40-50 m. A techo se observa un conjunto fundamentalmente margoso con intercalaciones calcáreas con potencias próximas a los 50 m. La siguiente unidad está formada por caliza arcillosa con filamentos que en el sondeo de Astrain alcanzan 50 m de espesor, culminando el Jurásico con calizas oscuras algo arenosas y calizas beige con una potencia de 180 m.

Los materiales de transición al cretácico parecen faltar o estar mal representados en esta región. La base del cretácico se ha cortado en los sondeos de Pamplona 1, 2, 3, Sur y Astrain, estando formado por limolitas negras micáceas alternando con areniscas de grano fino, con piritas. Hay niveles con mayor contenido arcilloso o de predominio arenoso. En Astrain este conjunto presenta una potencia de 1212 m.

El paso al cretácico superior, se inicia con margas arcillosas pasando hacia techo acarbonatados.

En el sondeo de Astrain se observó una evolución hacia facies más profundas. En la Sierra de Aluiz el paquete de calizas santonienses es arenoso a microconglomerático. Durante el Campaniense, la sedimentación se hace homogénea en la Cuenca sin grandes variaciones de potencia. En el sondeo en Astrain se observan margas en el Campaniense que evoluciona hacia techos a areniscas en el Maastrichtiense.

El Paleoceno está representado en Astrain por calizas dolomíticas con 100 m de espesor, existiendo un hiato en el sector de Iza que afecta a este periodo. El Eoceno inferior y medio está representado por un paquete de calizas masivas.

En la base del Bartonense existe una fase erosiva que desmantela parte de los niveles calcáreos anteriores y sobre el que se desarrollan las Margas de Pamplona. El techo de esta formación margosa, culmina con los materiales calco-margosos detríticos de Cizur y sobre estos y mediante un límite erosivo se desarrollan las denominadas Margas de Ilundain que comienzan con los niveles detríticos calcareos turbidíticos de Tajonar, continuando con margas con intercalaciones turbidíticas.

Los últimos metros de las Margas de Ilundain tienen carácter euxínico y sobre estas se desarrolla la sucesión evaporítica que constituye el yacimiento potásico del Perdon. Por encima de las evaporitas se encuentran unos 50 m de margas versicolores (Margas Fajeadas) continuando por un paquete detrítico compuesto por areniscas con ripples (Areniscas de Galar) que representan el Eoceno terminal.

Continúa la sedimentación con una potente serie evaporítica continental con lutitas, anhidrita y niveles de halita (Yesos de Undiano) que se encuentran decapitados por los niveles de Conglomerados Inferiores del Perdón, discurrentes sobre estos el ciclo de los Conglomerados Superiores del Perdon.

La estructura de la Cuenca de Pamplona es totalmente diferente a ambos lados del eje Noain-Zuasti. Al este, se encuentran los anticlinales de Zabalegui e Ilundain con dirección E-O en su parte oriental, girando hacia el NO en su parte occidental.

La Sierra de Alaiz, que limita la Cuenca por el SE, tiene, en su parte oriental una dirección E-O mientras que, a partir de Ezperun, gira al SO.

En el área occidental de la Cuenca, la estructura de mayor importancia es la de la Sierra del Perdon. Esta estructura consiste en un sinforme de dirección ENE-OSO, flanqueado por las fallas de Esparza y Beriain norte.

El borde occidental de la Cuenca está limitado por los diapiros de Salinas de Oro y Arteta, que han originado una serie de fallas concéntricas y radiales. Estas últimas penetran en la Cuenca siendo, la más importante es la de Echauri.

La cartografía de estas hojas está basada en la realizada por J. DEL VALLE para la DIPUTACION DE NAVARRA actualizada y puesta al día en base a criterios sedimentarios y tectónicos.

Los datos disponibles sobre esta zona corresponden, por una parte a los trabajos regionales de PUIGDEFABREFAS (1975), LEON I (1985), DEL VALLE J. (1978-1992), I FROUTE (1988) así como los trabajos específicos relacionados con la explotación potásica del Perdón elaborado por ROSELL I. (1983), ADARO (1989), DEL VALLE. J., y en datos proporcionados por la propia explotación (POSUSA)

1.- ESTRATIGRAFIA

La cartografía de esta hoja se ha realizado en base a la estratigrafía secuencial definiendo unidades tectosedimentarias limitadas por ruptura deposicionales con expresión cuencial. En cada unidad así definida y delimitada se ha cartografiado los distintos cuerpos litológicos determinando hasta donde ha sido posible, en función de los datos, sus variaciones espaciales y sus relaciones de facies entre los mismos.

La descripción de los distintos niveles cartografiados se ha realizado con el apoyo de las distintas bases de datos elaboradas en esta Hoja, agrupando estos niveles, en las distintas unidades tecto sedimentarias que se han definido en esta región, teniendo en cuenta la escala de trabajo y su carácter eminentemente cartográfico.

1.1.- CRETACICO

1.1.1.- Cretácico Superior

1.1.1.1.- Areniscas con cemento calcáreo (nivel 2) (Santoniense)

Afloran con escasa visibilidad en el núcleo del anticlinal de la Sierra de Alaiz, situándose sus mejores afloramientos al sur del Caserío de Alaiz.

Litológicamente son areniscas amarillas de grano fino micáceas muy cementadas por carbonatos, con pequeños niveles intercalados de margas y limos verdes masivos.

La potencia visible de esta unidad es pequeña, no sobrepasando los 20 m, teniendo en cuenta que constituye el núcleo del anticlinal y es imposible observar el muro de la unidad.

Los estudios micropaleontológicos no han podido asignar una edad concreta a esta unidad, datándose como santoniense en función de su posición estratigráfica. Por la edad y características litológicas se asimila a la Fm. Calcarenitias ferruginosas del Quimboa (TEIXELL 1992) en la zona de Candanchú.

Esta unidad presenta abundante bioturbación, laminación paralela y cantos blandos en el muro de los estratos, con "ripples" de oleaje. Las estructuras sedimentarias y el

fuerte lavado del depósito permiten deducir un ambiente litoral energético e interpretarlo como ciclos de playa.

1.1.1.2.- Calizas arenosas (nivel 3) (Santoniense)

Se sitúan a techo del nivel descrito anteriormente, con un límite entre ambas unidades de tipo transicional.

Sus afloramientos se encuentran distribuidos en el núcleo del anticlinal de Alaiz, situándose los mejores puntos de observación en las proximidades del Caserío de Alaiz.

Se trata de un conjunto de calcarenitas bioclásticas arenosas (wackestone-packstone) de tonos marrones en alteración y gris azuladas en fresco con intercalaciones de niveles margosos, algo nodulosos.

Los análisis petrológicos han determinado un 85 % de carbonatos, un 5% de grava y un 10 % de arena, los terrígenos son de naturaleza silicea. Entre los aloquímicos, el 35 % son fósiles y el 10% son intraclastos y entre los ortoquímicos el 40 % es esparita. El tamaño de los aloquímicos oscila entre 1 y 2 mm.

Los estudios micropaleontológicos han determinado Rotalia reicheli HOTT, Sulcoperculina aff. cubensis (PALMER), Nummofallotia cretacea (SCHLUMB), Dicyclina schlumbergeri MUN-CHALM, Cuneolina pavonica D'ORB, que asignan a esta unidad una edad Santoniense.

Estos niveles presentan una intensa bioturbación, con "ripples" de oleaje y "hummocky cross stratification", presentando una secuencia grano y estrato creciente, apreciándose en el techo estratificación cruzada de muy gran escala y bajo ángulo con una superficie ferruginosa a techo que marca una importante interrupción sedimentaria.

Sedimentariamente se encuadran dentro de un ambiente litoral energético, e interpretado, junto con el nivel descrito anteriormente, como un ciclo de playa con los términos de "shoreface" y "foreshore" bien desarrollados.

1.1.1.3.- Margas grises y margocalizas (nivel 4) (Campaniense)

Aflora al norte del caserío de Alaiz y al norte de Unzue, en donde existen varios afloramientos de buena calidad.

Está representado por una serie de unos 300 m de potencia compuesta esencialmente por margas grises y limolitas calcáreas nodulosas intercalando en el muro niveles de calcarenitas margosas y nodulosas con abundante macrofauna, observándose algun tramo con margas negras de tipo euxínico. En el techo se reconocen calcarenitas bioclásticas en bancos de hasta 1-2 m de espesor, alternando con margas. Las capas calcareníticas tienen geometría tubular y presentan "ripples" de oleaje y "hummocky cross stratification".

Los estudios micropaleontológicos han determinado, Pseudovalvulineria clementiana (D'ORB), Cibicidoides voltziana (D'ORB), Cibicides excavata BROTZ, Goupillaudina daguini, MARIE, Gaudryina rugosa (D'ORB), Tritaxia tricarinata REUSS, Marginulina trilobata D'ORB, Lituola irregularis ROEM, Globotruncana ventricosa (WHITE), G. (R) fornicata (PLUMMER), G. elevata BROTZ, que asignan a esta unidad una edad Campaniense superior, faltando el Campaniense inferior. Se correlaciona con la Fm. Margas y Calizas de Zuriza descrita en la zona de Candanchú (TEIXELL, 1992), concretamente al miembro superior de dicha formación.

Este conjunto se enmarca en un contexto de plataforma abierta de baja energía y rasgos pelágicos en la parte baja, e influencia de tormentas en la parte alta.

1.1.1.4.- Arenas, areniscas y conglomerados (nivel 5) (Maastrichtiense)

Aflora en la Sierra de Alariz en concreto, al norte de Unzue, caserío de Alaiz y debajo de la Higa de Monreal.

Está compuesto principalmente por areniscas y arenas silíceas, limos y arcillas rojas. En la parte alta aparecen niveles de calizas recristalizadas y dolomías que en análisis petrológico han determinado una fracción del 99 % de CO₃Ca, con un 40 % de fósiles y un 10 % de pelets entre los aloquímicos y un 50 % de micrita entre los ortoquímicos.

El conjunto tiene una potencia de unos 300 m.

Las arenas y areniscas se organizan en ciclos de relleno de canales, presentando base erosiva, estratificación cruzada planar y en surco y en ocasiones "herring bone" y "ripples" de oscilación.

En el muro aparecen conglomerados cuarcíticos con cantos muy redondeados formando barras de gravas y depósitos de carga residual. Son frecuentes los fenómenos edáficos en los materiales finos y a techo de los canales, reconociéndose suelos calcimorfos y procesos lateríticos.

Los niveles carbonatados aparecen en bancos métricos y cuando no se encuentran muy recristalizados se reconocen laminaciones algales. Son muy frecuentes los rasgos edáficos a techo de los bancos de carbonatos nodulaciones, peleokarst, laterizaciones y pedogenésis.

Las facies canalizadas corresponden a medios fluviales y fluviomareales en un contexto de llanura deltaica superior. Las facies carbonatadas se relacionan con lagunas costeras desarrolladas en zonas mal drenadas de la llanura deltaica.

En cuanto a los estudios de microfauna, se han encontrado restos de : Globotruncana sp., Hedbergella sp., Spiroplectammina sp., Pithonella sphaerica (KAUFM) que asignan a esta unidad una edad comprendida dentro del Maastrichtiense.

Esta unidad se correlaciona con la Fm. Areniscas del Marbore, definida por SOUQUET (1967).

1.1.1.5.- Análisis secuencial y paleogeográfico del Cretácio superior

La serie del Cretácico superior se divide en dos conjuntos deposicionales asimilables a ciclos tectónicos de 2º orden en el sentido de VAIL et al (1990). Se caracterizan por incrementos en el grado de subsidencia tectónica y se dividen en una primera fase transgresiva de relleno de surco y una fase terminal regresiva y o progradacional, de colmatación y somerización. (Fig. 2).

Los dos ciclos diferenciados se encuentran limitados por una importante superficie ferruginosa desarrollada a techo del Santoniense que constituye una laguna sedimentaria comprendiendo el Campaniense inferior y medio.

- Conjunto deposicional del Santoniense

La unidad cartográfica 2 representa los términos transgresivos de relleno de surco. Los sondeos profundos realizados en la Cuenca de Pamplona pone de manifiesto la existencia de una zona subsidente en la que se alcanzan los 2000 m de potencia, destacando los accidentes de Iza y Estella que registran descensos bruscos en el espesor de la serie de Santoniense.

La unidad cartográfica 3 constituye un episodio claro de somerización en la cuenca y corresponde a la fase terminal regresiva.

El límite superior de conjunto viene marcado por la superficie ferruginosa de techo que representa un hiato sedimentario importante, faltando los términos inferiores del Campaniense.

- Conjunto deposicional del Campaniense superior-Maastrichtiense

De una manera análoga al conjunto deposicional anterior, las dos unidades cartográficas se corresponden respectivamente a la fase transgresiva y regresiva. El contacto entre las dos unidades es, en este caso, muy brusco, puesto que pone en contacto facies de plataforma abierta con depósitos fluviomareales. No obstante en otras localidades (zona de Candanchú) se ha observado una relación lateral entre ambas unidades.

Desde un punto de vista paleogeográfico, los trabajos de índole regional propone un esquema de, cuenca abierta hacia el norte, donde las series se hacen más completas y potentes, apareciendo depósitos turbidíticos en la parte inferior del ciclo.

1.2.- TERCIARIO MARINO

El terciario marino se divide a grandes rasgos en una parte inferior carbonatada que aflora en las sierras de Echauri y de Alaiz comprendiendo términos del paleoceno y luteciense, y, una parte superior esencialmente margosa que ocupa la mayor parte de la superficie cartografiada y corresponde al resto del Eoceno. Entre los dos grandes grupos se desarrolla un complejo de tránsito de edad Luteciense superior-Bartoniense inferior que presenta una notable diversidad litológica. La serie eocena termina con depósitos evaporíticos y lagunares que marcan el tránsito al oligoceno, de carácter netamente continental (Fig. 3).

A continuación se describen las principales características de las unidades cartográficas diferenciadas agrupándolas por grandes conjuntos estratigráficos con significado secuencial.

1.2.1.- Paleoceno

1.2.1.1.- Calizas dolomíticas (nivel 7) (Paleoceno)

Se sitúan sobre el tramo blando descrito anteriormente, con un contacto de difícil observación debido a la naturaleza detrítica de los tramos inferiores. Aparecen en el anticlinal de la Sierra de Alaiz.

Consiste en una serie de unos 75 m de espesor constituida por dolomías y dolarenitas en la parte baja y calizas arenosas-calcarenitas en la mitad superior, de tonos grises, muy recristalizadas, sacaroideas, con sombras de microfósiles.

Los análisis petrológicos han determinado un contenido del 95 % de CO_3Ca y del 5 % de detríticos de tamaño limo, generalmente silíceo, entre los aloquímicos un 35 % son fósiles y el 15 % pelets y entre los ortoquímicos el 35 % es esparita y el 10 % micrita.

En los niveles superiores, donde la dolimitización es escasa se han tomado muestras, que han aportado los siguientes microfósiles : Alveolina ilerdensis HOTT, A. aragonensis HOTT, A. decipiens SCHWAG, Nummulites cf. involutus SCHAUB, que datan un Paleoceno-base del Ilerdiense.

La mala calidad de los afloramientos impide realizar observaciones sedimentológicas de detalle. No obstante, presentan un carácter de transición marino-continental, con sedimentación en régimen supramareal, relacionando los términos dolomíticos inferiores con depósitos fluviales y fluviomareales en facies Garumniense que han sido observados en la vecina Hoja MAGNA a escala 1:50.000 de Tafalla. Por su posición estratigráfica y litológica, se correlaciona con la Fm. Salarons definida en Ordesa (VAN DE VELDE, 1967).

Los términos calcáreos superiores presentan rasgos más marinos e incluyen restos de algas y foraminíferos, deduciéndose un ambiente marino litoral, probablemente en

un contexto intermareal-submareal. Es equivalente a la Fm. Gallinera, en Ordesa (VAN DE VELDE, 1967).

1.2.2.- Eoceno

1.2.2.1.- Ilerdiense-Cuisiense-Luteciense inferior

1.2.2.1.1.- Calizas tableadas (nivel 9) Ilerdiense-Luteciense inferior

Aflora en la Sierra de Alaiz, formando la gran masa calcárea.

Se distingue una parte inferior más tableada constituida por bancos tubulares de espesor métrico y decimétrico de "grainstones" y "rudstones" con abundantes estructuras tractivas.

Los términos superiores corresponden a grandes bancos masivos de potencia métrica y decamétrica de grainstones-rudstones, con desarrollo ocasional de pakstone-grainstone nudulosos. Esporádicamente se aprecia estratificación cruzada a gran escala, muy tendida, y una superficie ferruginosa a techo que la separa de la siguiente unidad.

Los análisis petrológicos han determinado una concentración del 99 % de CO_3Ca , con un 25 % de intraclastos y un 35 % de fósiles entre los componentes aloquímicos y un 40 % entre los componentes ortoquímicos.

Presentan un coeficiente de desgaste "Los Angeles", que oscila entre el 21% y el 23 % y una composición química de CaO entre el 55 y 55,2 %, CO_2 entre 42,6 y 42,9 %, SO_2 entre 0,25 y 0,4 %, Fe_2O_3 entre 0,27 y 0,8 %, Al_2O_3 entre 0,08 % y 0,3 % y MgO entre 0, y 0,36 %.

La parte inferior tableada de este conjunto se enmarca en un contexto de plataforma carbonatada energética en régimen submareal a "offshore" con fuerte influencia de las tormentas. La parte superior, más masiva; se integra en un complejo de "shoals" en plataforma somera.

Las dataciones micropaleontológicas han determinado : Alveolina levantica HOTT, Eorupertia magna (LE CALVEZ), Orbitolites complanatas CAM, que datan el Luteciense inferior. En otras muestras de la base de esta unidad se han conseguido datar el

Ilerdiense faltando el Cuisiense. Esta circunstancia indica una importante laguna estratigráfica y sugiere la existencia de una ruptura sedimentaria en la parte basal de la unidad.

Se ha adoptado para este conjunto estratigráfico, el término, con carácter informal de Calizas de la Sierra de Alaiz. Se engloban en la Fm. Calizas de Guara (PUIGDEFABREGAS, 1975).

1.2.2.2.- Bartoniense-Priaboniense Inferior

Este ciclo sedimentario es el que alcanza un mayor desarrollo dentro de los límites de esta Hoja, con gran cantidad de niveles cartográficos que constituyen las distintas variaciones de facies.

El límite inferior es neto, y erosiona gran parte de los niveles calcáreos que constituyen el ciclo anterior de edad luteciense mientras que el límite superior es muy difícil de observar en ciertas zonas ya que separa materiales con litología similar (Marga de Pamplona de Margas de Ilundain).

A escala regional, este ciclo se puede subdividir en dos secuencias de menor entidad, con la ruptura situada a techo de los niveles de transición formado por calcarenitas y limolitas.

En esta zona esta subdivisión no ha sido posible debido al escaso contraste litológico existente en el límite entre estas dos secuencias y al escaso espesor que presenta la secuencia inferior en ésta zona.

Este ciclo, de naturaleza blanda está constituido fundamentalmente por las "Margas de Pamplona" y sus variaciones a facies de calcáreas, estas últimas situadas al oeste del río Araquil, conformando un subdominio con predominio calcarenítico, sobre la plataforma calcárea de la Sierra del Sarvil y Echauri, constituyendo a grandes rasgos el límite paleogeográfico occidental de las "Margas de Pamplona".

1.2.2.2.1.- Calcarenitas y margas (nivel 18). Bartoniense

Afloran adosados a los materiales calcáreos del Ilerdiense-Luteciense inferior descritos anteriormente situándose sus mejores puntos de observación en la cantera de Yarnoz.

El límite con la unidad inferior se realiza mediante una fuerte discordancia erosiva que da lugar a una superficie ferruginosa.

En la Sierra de Alaiz la potencia de esta unidad no sobrepasa los 50 m y está formado por un conjunto de margas, margas calcáreas nodulosas, limolitas calcáreas tableadas (wackestone-packstone) y depósitos desorganizados de tipo "mud-flow", de tonos oscuros en bancos de 15 a 30 cm.

Los análisis petrológicos de calizas indican un contenido de un 10 % para el CO_3Ca y un 90 % para carbonato magnésico. En la composición, un 5 % son fósiles dentro de los componentes aloquímicos, con un 90 % dolomicrita y 5 % de esparita dentro de los componentes ortoquímicos.

Los estudios faunísticos no han encontrado fauna determinativa, solo escasos microforaminíferos mal conservados con secciones no identificables. La edad de estos niveles es Bartonense, por su posición estratigráfica.

Los términos margosos y limolíticos con calcarenitas, se atribuyen a medios deltaicos distales con desarrollo de canales de plataforma "goullies" e influencia de tormentas. Las facies finas desorganizadas corresponden a un contexto de prodelta-talud.

Este conjunto se correlaciona por su edad y similitud litológica, con la Fm. Limolitas de Urroz (PUIGDEFABREGAS, 1975) y es equivalente al ciclo compuesto por las Fms. Margas de Larres (REMACHA et al 1987) y Areniscas de Sabiñanigo (PUIGDEFABREGAS, 1975; REMACHA, PICART, 1991).

En este trabajo se ha adoptado el término de "Complejo de Tránsito" de forma análoga a la denominación Capas de Tránsito propuesta por DELVALLE (1978).

1.2.2.2.2.- Margas (nivel 22). Bartonense

Este nivel corresponde a las "Margas de Pamplona" definidas por MANGIN (1959-1960). Se trata de una serie monótona de margas grises, nodulosas con niveles centimétricos de calcarenitas. La característica más destacable de esos depósitos es su

homogeneidad, observándose esporádicamente fenómenos de "slumping" y "ripples" en los niveles calcareníticos.

La potencia de esta unidad es muy variable, aumentando hacia el norte donde supera los 700 m, estimándose una potencia media de 400-500 m.

Los estudios microplaeontológicos han determinado gran cantidad de fauna, entre ella : Clavulinoides szaboi (HANTKEN), Eponides carolinensis navarraensis COLON, Heterolepa perlucida (NUTT), Plectina eocenica CUSHM, Cibicides carrascalensis COLON, C. pseudoungerianus CUSHM, C. Granosos (REUSS), C. praecursorius SCHWAG, Gyroidina guayabalensis COLE, Marginulina parvaensis (HANTK), Bolivina reticulata HANTK, Cornuspira oligogyra (HANTK), Nodosaria soluta (REUSS), Globigerina venezolana HEDBERG, G. Senni (BECKM), G. linaperta FINLAY, entre otros que asignan a esta unidad una edad Bartonense.

En general este conjunto presenta un límite con las unidades infrayacentes gradual, no siendo así con los niveles superiores, comprendidos en el ciclo Priabonense, cuyo contacto es neto y en muchos casos fuertemente erosivo.

Los análisis petrológicos de estas margas, presentan un 84 % de minerales de arcilla y calcita, con un 3 % de bioclastos, cuyo tamaño oscila entre 0,05 y 0,5 mm de microforaminíferos, miliolidos y globigerinas. Los opacos representan el 3 % y se presentan en tamaños comprendidos entre 0,02 y 0,25 mm, el cuarzo con un 10 % en tamaños entre 0,05 y 0,07 mm, con micas en un porcentaje menor al 1 %.

La composición mineralógica de estas margas, han determinado un porcentaje de cuarzo que oscila entre el 15-17 %, de calcita entre 40 y 51 %, de illita entre el 20 y 40 %, caolinita entre el 5 y el 12 %, attapulgida con el 13 % como máximo y ankerita el 6 % como máximo.

En ensayos Lugeon han determinado una permeabilidad que oscila entre 0 y $4,39 \cdot 10^{-4}$ cm/seg.

Sedimentariamente estos niveles se interpretan como pertenecientes a una plataforma externa y constituyen los términos prodeltaicos de la Fm. Belsue-Atarés, definida en la zona de Jaca por PUIGDEFABREGAS (1975).

1.2.2.2.3.- Calcarenitas y areniscas (nivel 23). Bartoniense-Priaboniense

Esta unidad constituye el límite superior del ciclo Bartoniense-Priaboniense inferior, situándose sus afloramientos en el sector septentrional de esta Hoja, en Andricain en donde se pueden realizar observaciones de buena calidad. En esta Hoja, a estos niveles se les ha denominado como "Calcarenitas de Gazolaz", ya que es en las proximidades de esta localidad en donde esta unidad adquiere un mayor desarrollo.

Litológicamente está formado por biocalcarenitas (grainstone) marrones claro, con granos de cuarzo que abundan en los tramos basales, distribuidos en capas de unos 20 cm a 1 m de espesor. La potencia total de este nivel es muy variable sobrepasando raramente los 50 m.

Los análisis petrológicos han determinado que estos niveles poseen un 47 % de CO_3Ca y un 3 % de terrígenos, fundamentalmente cuarzo. Entre los componentes aloquímicos destacan el 67 % de fósiles y entre los ortoquímicos un 30 % es micrita.

Los estudios micropaleontológicos han determinado : Eorapertua magna (LE CALVEZ), Operculina alpina DOUV, Ammobaculites cf. pyrenaicus GAONA y COLOM, Asterodiscus stella GÜMB, que asignan a esta unidad, una edad Bartoniense-Priaboniense.

Sedimentológicamente estos depósitos presentan abundantes estructuras tractivas producidas por tormentas ("Hummocky cross stratification"), siendo muy frecuentes las incisiones y las formas canalizadas, asimilándose a canales de plataforma ("goullies").

Este tramo se corresponde con una plataforma siliciclastica abierta, expuesta a la acción de las tormentas, relacionándose con los términos progradantes de la Fm. Belsue-Atares.

1.2.2.3.- Priaboniense inferior

Este ciclo presenta notables analogías con el conjunto precedente, constituyendo una sucesión esencialmente margosa con intercalación de niveles turbidíticos.

El límite inferior de este ciclo es muy neto y erosivo afectando en algunos sectores a parte de los niveles calcareníticos denominados "Calcarenitas de Gazolaz", mientras

que en otros se pone en contacto directamente sobre las "Margas de Pamplona", lo que dificulta su observación.

1.2.2.3.1.- Areniscas y margas (nivel 24). Priaboniense

Estos niveles se encuentran incluidos dentro de las denominadas "Margas de Ilundain", que se describen a continuación.

Los mejores afloramientos se sitúan en el vértice suroriental de la Hoja en los alrededores de Andricain y en los afloramientos, de la carretera a Zabalqueta, con una potencia que no supera los 50 m en ningún caso.

Litológicamente se trata de margas y areniscas calcáreas (packstone-grainstone) de grano fino y tonos marrones, distribuidas en capas plano paralelas, de tamaño centimétrico, incluyendo con frecuencia restos de plantas y materia orgánica. Los análisis petrológicos han determinado que poseen un 65 % de CO₃Ca, con un 35 % de terrígenos, variando el tamaño entre limo 15 % y arena 20 %, de naturaleza fundamentalmente silicea. Entre los componentes aloquímicos destaca el 10 % de fósiles y el 25 % de pelets, mientras que en los ortoquímicos el 30 % es micrita.

Estos niveles presentan las bases canalizadas y ligeramente erosivas con elevado desarrollo de estructuras en la base, observándose laminación paralela y ripples de corriente.

Los estudios micropaleontológicos de muestras de margas han determinado una gran cantidad de restos faunísticos, entre otros : Textularia recta CUSHM, T. adalta CUSHM, T. speyeri REUSS, Karriella halkyardi CUSHM, Chilostomella cylindroides REUSS, Gyroidina guayabalensis COLE, Marginulina Porvaensis (HANTK), Nodosaria soluta (REUSS), Nonion halkyardi CUSHM, Globigerapsis semiinvoluta KEIJZAR, Globigerina parva BOLLI, G. Eocena GUMB entre otros, que asignan a esta unidad una edad Priaboniense.

Sedimentológicamente corresponden a turbiditas depositadas en un canal de abanicos submarinos.

En la zona de Andricain se observa la disposición discordante y muy erosiva de estos depósitos turbidíticos sobre las facies de plataforma de la Fm. "Calcarenitas de Gazolaz, e incluso sobre las propias "Margas de Pamplona", constituyendo el margen meridional del surco turbidítico. El margen septentrional se intuye en el sector de Ardanaz, donde los intervalos turbidíticos alternan con margas de plataforma, con niveles de condensación de fauna y todo el conjunto presenta un fuerte acuñaamiento hacia el norte en clara relación de "on-lap".

A estos niveles se les ha denominado como "Turbiditas de Tajonar" (ADARO, 1988).

1.2.2.3.2.- Margas (nivel 25). Priaboniense

Estos niveles constituyen la mayor parte de los materiales que componen este ciclo. Se han denominado como "Margas de Ilundain" (MANGIN, 1954-1960) y presentan unas características litológicas similares a las descritas para las "Margas de Pamplona".

Litológicamente están formadas por un conjunto muy homogéneo de margas grises nodulosas con intercalaciones centimétricas de niveles de calcarenitas. En el muro de esta unidad se observan niveles de anhidrita y sepiolita mientras que en el techo aparecen unos niveles de pelitas negras propias de fondos anóxicos.

Sus límites inferior y superior están catalogados como "límites de secuencia" de difícil observación, al poner en contacto materiales de naturaleza blanda, margas en el muro y evaporitas en el techo.

La potencia de esta unidad oscila entre 300 y 400 m determinándose en los estudios micropaleontológicos gran cantidad de fauna, entre ella : Textularia recta USHM, Chilostomella cylindroides REUSS, Gaudryina quadrilatera CUSHM, Eponides carolinensis navarraensis COLOM, Heterolepa perlucida (NOTT), Nodosaria soluta (REUSS), Gyroidina guryabalensis COLE, Cibicides carrascalensis COLOM, Pullenia quinqueloba (REUSS), Nonion Halkyardi, CUSHM, Planulina cushamani COLOM, Globigerina parva BOLLI, que datan a esta unidad como Priaboniense.

Sedimentológicamente estos depósitos margosos se enmarcan en un contexto de plataforma externa y constituyen los términos prodeltaicos de las formaciones de Villalangua y Martés (REMACHA, c.p.) de origen fluvial y deltaico respectivamente,

definidas por PUIGDEFABREGAS (1975) al este de la Cuenca de Jaca-Pamplona. Las pelitas negras desarrolladas en la parte terminal de este conjunto presentan un marcado carácter anóxico y denotan un progresivo confinamiento de la cuenca, que impide la oxigenación del fondo oceánico.

Análisis mineralógicos efectuados sobre estos materiales han determinado por difracción de rayos X, un 48 % de filosilicatos, 17 % de cuarzo y un 35 % de calcita, de los materiales arcillosos el 61 % es Illita, 21 % clorita, 10 % caolinita y un 8 % esmectita.

1.2.2.4.- Priaboniense superior

Constituyen los últimos depósitos con influencia marina, en transición con los depósitos continentales. En esta memoria se han denominado como "Complejo de tránsito Eoceno-Oligoceno" y están constituidos por la Formación evaporítica basal que gradúa a materiales limosos pelíticos y arenosos.

El límite superior de esta secuencia no es posible observarlo en campo, al comenzar con la Formación evaporítica, fácilmente soluble, mientras que el límite superior está definido por la entrada de materiales lagunares continentales.

La Formación evaporítica, que no ha podido ser cartografiada como tal, ha sido intensamente estudiada por numerosos autores desde su descubrimiento por A. del VALLE (1938). La sucesión típica consta de los siguientes términos: Anhidrita basal, tramo halítico inferior, ciclos de silvinita-halita-tramo halítico intermedio, ciclos de carnalita-halita-marga, y, tramo pelítico superior alternando con halita y anhidrita. La Formación evaporítica puede superar los 100 m de potencia, de las que la mayor pertenece al tramo pelítico superior. El intervalo con predominio de cloruros tiene una potencia en torno a los 25 m.

La Formación Evaporítica pone de manifiesto el confinamiento de la Cuenca de Pamplona, a finales del Eoceno, sugiere un cambio climático a condiciones de marcada aridez y supone una pérdida de profundidad del agua y una tasa progresiva de evaporación con producción de salmueras cada vez más concentradas.

Este complejo sedimentario se desarrolla en una cuenca confinada, la influencia marina está demostrada en todo conjunto, no obstante es necesaria la comunicación con el mar para ser posible la regeneración de las salmueras que originan los depósitos evaporíticos, y los términos detríticos superiores muestran rasgos mareales.

Todo este conjunto de sedimentos ha sido denominado por PUIGDEFABREGAS (1975), como Fm. Guendulain.

1.2.2.4.1.- Margas y lutitas (nivel 27) Priaboniense superior

Sus afloramientos se distribuyen en dos sectores, el occidental forma una banda de dirección aproximada N-S, en cuyo trazado se encuentra la mina de Potasas de Subiza, S.A. y el sector nororiental que constituye el flanco del sinclinal de Izaga. En este último sector, estas margas se encuentran erosionadas por la formación arenosa superior. Esta unidad ha sido denominada "Margas Fajeadas" por PUIGDEFABREGAS y DEL VALLE (1978).

Está formado por un conjunto de lutitas rojas y lutitas margosas, alternando con niveles de limos y areniscas. Las lutitas son de tonos rojos y grises con aspecto varvado. En sondeos se han citado abundantes niveles de anhidrita, alternando con los depósitos pelíticos y arcillosos. Hacia techo aparecen de forma gradual niveles de arenisca con estratificación "linsen" y "wavy", abundantes "ripples" de oscilación y esporádicamente niveles métricos de areniscas en formas canalizadas y tabulares. Son frecuentes los fenómenos edáficos, suelos rojos y calcimorfos, así como los procesos pedogenéticos.

Los estudios micropaleontológicos efectuados sobre estos materiales han determinado, entre otros : Bolivina striato-carinata CUSHM, Nonion halkyardi CUSHM, Nodosaria soluta (REUSS), Rotalia cf. rimosa (REUSS), Globigerina parva BOLLI, G. venezuelana HEDBERG, G. eocena GUMB, Globigerapsis semiinvoluta (KEIJOR), que asignan a esta unidad una edad Priaboniense.

La potencia de esta unidad es superior a 50 m en algunos sectores, hasta llegar a desaparecer en otros, marcando, sedimentológicamente, un estadio de dilución en la cuenca evaporítica por entrada de aguas continentales con aporte de material en suspensión, deduciéndose unas condiciones lagunares con variaciones notables de salinidad. Los medios salobres están representados por las pelitas con laminado milimétrico. Los episodios hipersalinos están evidenciados por la existencia de niveles de anhidrita. Las lutitas rojas y decoloraciones en las pelitas se enmacan en un contexto de margen lagunar y los procesos edáficos indican prolongados periodos de exposición subárea.

1.2.2.4.2.- Areniscas (nivel 28). Preaboniense superior

Esta unidad se ha denominado como "Areniscas de Galar" (DEL VALLE, 1978) y equivalen a la Fm. "Areniscas de Liedena (MANGIN, 1959-1960).

Sus afloramientos siguen las mismas alineaciones definidas en el apartado anterior.

Se trata de un conjunto de arenas y areniscas de grano fino, micaceas y de tonos marrones, alternando con niveles más limosos y margosos dolomíticos. Hacia techo se observan niveles desorganizados de tipo "debris-flow" y yesos secundarios, los análisis petrológicos han determinado un 40 % de cuarzo, trazas de mica, un 5 % de feldespato, un 5 % de metamórficas y un 10 % de calizas. La matriz es calcarea en un 40 %.

La potencia de este conjunto es del orden de 100 m. Su posición estratigráfica más común, es la situada a techo de las "Margas Fajeadas", no obstante en el el sinclinal de Izaga se han observado pasos laterales de esta unidad a las anteriores.

Estos niveles presentan estratificación "linsen", "wavy" y "flasher", estratificación cruzada tangencial y bimodal, "ripples" de oscilación y de corriente, huellas de desecación, escapes de fluidos, deformación hidroplástica, "slumping", "debris flow", y huellas de aves. Su aspecto más habitual es de un tableado centimétrico a decimétrico, en capas tabulares ligeramente gradadas con "ripples" a techo que excepcionalmente presentan huellas de base y "lag" de cantos blandos. Esporadicamente aparecen niveles métricos canalizados con estratificación cruzada y cantos blandos. En la parte alta, las areniscas presentan yesos resedimentados alternando con margas dolomíticas con cristales secundarios de sulfatos.

Los estudios micropaleontológicos no han encontrado fauna determinativa no obstante se les asigna una edad Priaboniense superior por posición estratigráfica.

Estos sedimentos se interpretan como depósitos deltaicos en medios lagunares sometidos a un régimen intermareal. Las capas tabulares indican cierta turbidez en la sedimentación y los cuerpos canalizados se interpretan como colectores principales de flujo y emisarios de materiales a la cuenca lagunar.

1.2.3.- Análisis secuencial y paleogeográfico del paleogeno marino (paleoceno-eoceno)

A grandes rasgos, la sucesión del Paleoceno-Eoceno en la zona de estudio se divide en, una parte inferior carbonatada de edad Paleoceno-Luteciense, una zona de tránsito al Bartonense, de características mixtas, y una potente serie esencialmente margosa que culmina con depósitos evaporíticos y de areniscas finieocenas. (Figs. 4 y 5).

Los términos calcáreos inferiores (Paleoceno-Luteciense) corresponden a plataformas carbonatadas desarrolladas en los márgenes meridional (Sierra de Alaiz) suroccidental (Macizo de Echauri) de la cuenca de Pamplona. El espacio estratigráfico comprendido entre el Ilerdiense-base del Luteciense, se encuentra representado, hacia el Norte de la cuenca, por una potente serie turbidítica, que apenas aflora en el área cartografiada, conocida a grandes rasgos como Flisch eoceno (Soler y Puigdefábregas, 1970) y que es equivalente al Grupo de Hecho (Mutti et al, 1972). Se han diferenciado tres conjuntos carbonatados separados por rupturas sedimentarias, de muro a techo son: Dolomías paleocenas, Calizas de la Sierra de Alaiz, (Luteciense inferior-medio) y Calizas del acantilado de Echauri (Luteciense medio-superior).

El complejo de tránsito Luteciense superior-Bartonense se analiza secuencialmente de forma conjunta, siendo dividido en tres secuencias. Se han diferenciado dos conjuntos deposicionales dentro de la sucesión margosa del Bartonense-Priabonense coincidiendo con la individualización estratigráfica entre las Fms. Margas de Pamplona y Margas de Ilundaín. Se asimilan tentativamente a ciclos de 2º orden en el sentido de VAIL et al (1990).

La serie eocena termina con los depósitos del complejo de tránsito Eoceno-Oligoceno (Fm. Guendulain) que se trata de manera individualizada en su estudio secuencial y paleogeográfico.

- **Paleoceno**

Los depósitos del Paleoceno muestran una tendencia transgresiva para el conjunto, en la base se desarrollan dolomías presuntamente supramareales en relación con facies continentales, y en la parte alta, se reconocen depósitos someros de plataforma carbonatada.

Desde un punto de vista paleogeográfico, estudios regionales (León González, 1972 y Robador, 1990) ponen de manifiesto la evolución a facies de mayor profundidad hacia el Norte, donde aparecen brechas y margas de talud-cuenca.

El límite superior viene marcado por una importante laguna estratigráfica, reposando los carbonatos de Luteciense, directamente encima del Paleoceno y de forma puntual, sobre el Ilerdiense.

- **Luteciense inferior-medio**

Está representado por las calizas de la Sierra de Alaiz. Corresponde a un modelo evolutivo de plataforma carbonatada en la que los términos tableados inferiores podrían corresponder a las facies transgresivas, disponiéndose en relación de on-lap hacia margen, y los bancos masivos superiores constituirían el intervalo de somerización con una geometría de donw-lap hacia cuenca producto de la progradación de la plataforma.

Constituyen el margen meridional de la cuenca de Jaca-Pamplona y se encuentran en relación con el surco turbidítico del Grupo de Hecho, situado más al Norte.

Cabe mencionar las rupturas sedimentarias que delimitan el conjunto deposicional a muro y techo.

La ruptura basal constituye una importante laguna sedimentaria que abarca íntegramente el Cuisiense y parcial a totalmente el Ilerdiense. Los depósitos que representan este intervalo de tiempo se encuentran representados, en el surco turbidítico del Grupo de Hecho. La manifestación en el surco de la ruptura descrita, puede encontrarse en las megacapas carbonáticas MT1, MT2, y MT3 de Labaume et al (1983) en base a las determinaciones cronoestratigráficas

La ruptura superior se reconoce como discordancia ligeramente erosiva en el acantilado de Echauri y se sitúa entre las dos plataformas carbonatadas del Luteciense. Podría relacionarse tentativamente con la megacapa MT5 (Labaume et al, 1983) del Grupo de Hecho.

- **Luteciense medio-superior**

Constituye la plataforma carbonatada superior del Luteciense (Calizas del Acantilado de Echauri)

La característica geométrica más destacable, es la relación de down-lap producida por la programación de la plataforma hacia cuenca, en relación con el episodio de somerización del conjunto deposicional. Los términos transgresivos apenas se reconocen en superficie y estarían representados por el nivel basal de calcarenitas groseras.

Un hecho constatado por diversos autores (CANUDO et al, 1988 y BARNOLAS et al 1991) es la tendencia en retroceso, hacia el margen septentrional, de las plataformas carbonatadas del Paleógeno. Se ha explicado a partir de un esquema basado en superficies de erosión que truncan los márgenes de la plataforma y son recubiertas por turbiditas en disposición de on-lap. Este hecho se explica en base a la migración hacia el Sur del surco turbidítico debido al levantamiento del margen septentrional y basculamiento reflejado del meridional.

El fenómeno descrito se deduce en la zona de Pamplona a partir de los datos de sondeos (Del Valle y Puigdefábregas, 1978) que ponen de manifiesto la disminución de potencia y probable desaparición de las plataformas carbonatadas lutecienses hacia el Norte.

- **Luteciense superior-Bartoniense**

El Complejo de Tránsito del Luteciense-Superior-Bartoniense se caracteriza por su disposición de on-lap costero sobre las plataformas del Luteciense. En el Macizo de Echauri se han podido diferenciar tres secuencias deposicionales que marcan una tendencia transgresiva de forma global. La 1ª secuencia corresponde a depósitos calcareníticos deltaicos y de plataforma mixta. La 2ª secuencia está compuesta por una cuña turbidítica (Flisch de Izcue), en la parte inferior, y facies calcareníticas deltaicas en la superior. La tercera secuencia, de carácter margo-limolítico presenta facies de talud-cuenca, pasando en vertical a depósitos de plataforma externa-offshore en relación con medios deltaicos distales. La base de la 3ª secuencia trunca ligeramente los depósitos calcareníticos de la infrayacente y se dispone en forma de on-lap sobre la leve cicatriz.

En la Sierra de Alaiz no existen los términos de calcarenitas, encontrándose una serie pelítico-limosa con depósitos desorganizados, en situación fuertemente erosiva, sobre las calizas lutecienses

- **Bartoniense y Priaboniense inferior-medio**

Corresponde al ciclo de la Fm. Margas de Pamplona en sentido estricto.

El contacto con el conjunto infrayacente resulta, en muchos casos, difícil de determinar debido a las malas condiciones de afloramiento y escaso contraste litológico.

Al Norte de Pamplona aparecen situados en la parte baja de la serie margosa, depósitos turbidíticos (Flisch de Huarte). La desaparición hacia el Este de los términos limolíticos de techo del conjunto infrayacente (Limolitas de Urroz) sugiere la existencia de un cañón submarino que truncaría dichos términos para dar paso a un surco turbidítico. El reconocimiento en el subsuelo de posibles niveles de anhidrita en la base del conjunto, refuerza la propuesta de un episodio de bajada eustática relativa relacionada con los depósitos turbidíticos.

La mayor parte del conjunto está compuesto por margas homogéneas que se interpretan esencialmente como depósitos prodeltaicos de la Fm. Belsue-Atarés, presentando un carácter progradante.

Los depósitos calcareníticos terminales (Calcarenitas de Gazolaz) marcan un episodio de somerización relativa en la cuenca, con sedimentación por encima del nivel de base de las tormentas, y se correlaciona con los términos regresivos superiores de la Fm. Belsue-Atarés.

Se deduce una cuenca alargada en dirección E-W con ligera componente NW, con facies de llanura y frente deltaico en el sector de Jaca y de prodelta en Pamplona.

En la zona de Belascoain se conservan depósitos situados en una posición más marginal, evidenciada por el desarrollo de facies calcareníticas intercaladas en las margas.

- **Priaboniense medio-superior**

Se corresponde con la Fm. Margas de Ilundain. En la mitad inferior del conjunto se encuentran depósitos de carácter turbidítico alternando con margas de plataforma

externa-prodelta y se han observado niveles de sulfatos en posición equivalente. El surco turbidítico puede delimitarse por su margen septentrional, en la sierra de Tajonar, donde la plataforma calcarenítica infrayacente se encuentra total o parcialmente erosionada. El margen septentrional se observa en Ardanaz, localidad en la que existe un on-lap de todos los términos hacia el Norte.

En dicha localidad se observan varios intervalos de turbiditas, con geometría canalizada, alternando con margas de plataforma, y se aprecia una migración conjunta hacia el Sur del depocentro de la cuenca.

De manera similar al conjunto deposicional infrayacente, existe un mayor desarrollo de depósitos calcareníticos de margen en la zona de Belascoain.

La parte superior de las Margas de Ilundain marca una somerización progresiva en la cuenca, y el tránsito a una situación restringida y confinada puesta de manifiesto por el desarrollo de margas anóxicas precursoras de la serie evaporítica.

- **Priaboniense Terminal**

Corresponde a la Fm. Guendulain. La Formación Evaporítica basal se relaciona con una etapa de máximo confinamiento de la cuenca e implica una fuerte disminución de la lámina de agua. Lateralmente se relaciona con las Margas Fajeadas distribuidas en zonas algo más marginales con influencia continental y desarrollo de facies arenosas canalizadas. El resto de la secuencia está compuesto por términos arenosos que implican un humedecimiento climático relativo y muestra mayores influencias marinas. El desarrollo en la parte terminal, de depósitos de yesos, frecuentemente, resedimentados, se relaciona con un episodio de colmatación y cierre definitivo de la cuenca paleógena marina.

1.3.- TERCIARIO CONTINENTAL

1.3.1.- Oligoceno

1.3.1.1.- Sueviense inferior

En estos niveles comienza el terciario continental visible en esta región. Se dispone discordante sobre los tramos areniscosos (Areniscas de Gralar) de la Fm. Guendulain.

1.3.1.1.1.- Arcillas y areniscas (nivel 29). Sueviense inferior

Este nivel aflora en el angulo nororiental de la Hoja, con una potencia próxima al centenar de metros.

Litológicamente está formado por arcillas rojas bioturbadas con intercalaciones de niveles areniscosos, de granulometría media con un contenido del 5 % de bioclastos y cemento carbonatado.

Estos niveles presentan bases erosivas con términos superiores finos con laminación cruzada de bajo anulo, y pequeños niveles "slumpizados" en la base de estas unidades.

Sedimentológicamente, corresponden a un sistema de canales fluviales divagantes y meandriformes que drenan permanentemente en la cuenca.

No se han encontrado restos fosiles no obstante se ha encuadrado dentro del Sueviense inferior por posición estratigráfica, formando parte de la Fm. Javier (PUIGDEFABREGAS, 1975).

1.3.1.1.2.- Arcillas y yesos (nivel 30). Sueviense inferior

Esta unidad ha sido definida por PUIGDEFABREGAS (1975), como Fm. "Yesos de Undiano". Se dispone por encima de los niveles descritos anteriormente de la Fm. Guendulain, alcanzando una potencia de unos 500 m. los mejores afloramientos se sitúan en el sector suroccidental de la Hoja.

Litológicamente está formado por margas grises dolomíticas, lutitas rojas y yesos recristalizados con laminación ondulada y algunos niveles delgados de yesoarenitas. Presentan estructuras estromatolíticas en los yesos de techo de la unidad.

En sondeos aparece como una sucesión rítmica entre fangos y anhidritas, habiéndose reconocido en la parte inferior, depósitos de halita. Los fangos aparecen en cuencias decimétricas a métricas de margas dolomíticas, arcillas grises y lutitas decoloradas a rojas, asimilables a ciclos de oxidación-reducción, características de medios lacustres marginales. El origen lacustre está evidenciado por el desarrollo de una laminación milimétrica en las margas interpretada como varvas lacustre. Los niveles de yeso se presentan en bancos de espesor centimétrico a métrico. Se diferencian yesos laminados, con estructuras estromatolíticas, yesos masivos muy recristalizados, raramente nodulares y niveles de yesos resedimentados con estructuras tractivas producidas por dinámica lacustre. Las características descritas permiten situar a esta unidad en un contexto lacustre salino.

Los estudios micropaleontológicos no han encontrado fauna determinativa, solo moldes de ostracodos y gasteropodos, asignando una edad Sueviense inferior por posición estratigráfica.

Esta unidad es presuntamente equivalente a la Fm. Yesos de Puente la Reina (RIBA y PEREZ MATEOS, 1962) por ocupar la posición basal en la serie continental del Oligoceno y similitud sedimentológica, correlacionándose con la Fm. Yesos de Añorbe (PUIGDEFABREGAS, 1972).

1.3.1.2.- Sueviense superior

1.3.1.2.1.- Areniscas, limolitas y arcillas rojas (nivel 32). Sueviense superior

Sus afloramientos se extienden por el ángulo suroriental de la Hoja, en una zona que se encuentra repoblada, de difícil acceso y deficiente observación.

Se trata de una alternancia de areniscas y limos con intercalaciones arcillosas de tonos marrones en alteración y rojo en fresco. En el muro se observan niveles de margocalizas laminadas grises.

Las capas de arenisca presentan una gran continuidad lateral, generalmente son de grano medio a grueso, con base canalizada con laminación paralela y "ripples". Estos niveles suelen estar muy bioturados.

Los estudios micropaleontológicos solo han determinado fauna resedimentada del terciario marino asignando a este nivel una edad sueviense por su posición estratigráfica.

Sedimentológicamente estos niveles se asocian a depósitos fluviales producidos por canales, representando el paso de depósitos formados en un ambiente fluvial de gran energía, con cursos de agua anastomosados a depósitos de régimen fluvial meandriforme de energía decreciente.

1.3.1.2.2.- Limolitas con niveles de areniscas e intercalaciones de calizas (nivel 33). Sueviense superior

En contacto gradual con el nivel descrito anteriormente se encuentra un conjunto formado por una alternancia de arcillas y limos con capas centimétricas de areniscas e intercalaciones de margas grises y violáceas con limos calcáreos y esporádicamente algunas capas de calizas grises de unos 50 cm. de espesor.

Los afloramientos de esta unidad se sitúan en el vértice suroriental de la Hoja y son de muy mala calidad.

Los estudios micropaleontológicos no han encontrado fauna determinativa solo fragmentos de moluscos, asignándole una edad Sueviense por posición estratigráfica considerando a este nivel como cambio lateral del anterior.

Las areniscas suelen presentar laminación paralela y "ripples" de corriente; con bioturbación, observándose abundantes costras ferruginosas y huellas de retracción.

Sedimentológicamente estos niveles se asocian a zonas distales y de llanura lutíticas, con formación de esporádicas charcas efímeras en donde se depositaran los sedimentos carbonatados. Estas zonas conectarían con áreas lacustres situadas más al interior de la cuenca.

1.3.1.3.- Sueviense superior-Arverniense

1.3.1.3.1.- Areniscas y microconglomerados, alternando con limos y arcillas (nivel 34).

Sueviense superior-Arverniense.

En estos niveles comienzan este ciclo, con un límite de secuencia de difícil observación debido a las condiciones de mal afloramiento.

Se trata de un conjunto constituido por una alternancia de areniscas, limos y arcillas de tonos amarillentos y localmente rojizos. Las areniscas son de grano medio con bioturbación, distribuidas en capas con bases erosivas y estructuras de acreción lateral y "ripples". A techo los niveles areniscosos se hacen de grano grueso, mal seleccionados y a veces micronglomeráticos. Estos niveles presentan bases erosivas, cantos blandos dispersos, estratificaciones cruzada de surco y planar, ripples y bioturbación. En los niveles fangosos se observan huellas de raíces.

Estos materiales se interpretan como sedimentos depositados por corrientes divagantes que invaden la llanura lutítica.

Los estudios micropaleontológicos no han encontrado fauna determinativa, solo algunos fósiles resedimentados marinos. Se le ha asignado una edad Arverniense basándose en su posición estratigráfica.

1.3.1.3.2.- Limolitas, arcillas y margas con capas de arenisca (nivel 35). Sueviense superior-Arverniense

Aflora en el límite meridional de la Hoja. La calidad de afloramientos es escasa debido a la repoblación forestal que han implantado en esta zona.

Está constituido por una alternancia de limolitas, arcillas y margas amarillentas y rojizas con intercalaciones de capas de areniscas de grano medio a grueso con gran extensión lateral.

Esta unidad forma secuencias granodecrecientes, con las bases erosivas y estructuras tractivas, y laminaciones cruzadas de pequeña escala y laminación paralela pasando a techo a un tramo margoso que puede finalizar en un nivel carbonatado.

La potencia de esta unidad supera los 500 m, asociándose a un ambiente de depósito correspondiente a medios fluviales relacionados con abanicos aluviales.

Los estudios micropaleontológicos han determinado : Chara cf. browgniarti BRAUN, Spherochara hirmeri longioscula GRANB y PAUL que asignan a esta unidad una edad Arverniense.

1.3.2.- Oligoceno terminal-Mioceno inferior

1.3.2.1.- Arverniense-Ageniense

Corresponde al ciclo de los "Conglomerados Inferiores del Perdón". Esta unidad fue definida por J. DEL VALLE en los estudios realizados para POSUSA con el fin de valorar el riesgo de entrada de agua en las minas de potasa.

Esta unidad avanza transgresivamente hacia el oeste y se apoya en términos cada vez mas antiguos, acumulándose los niveles detríticos inferiores en esa dirección.

Estos niveles decapitan la cuenca potásica, bajo la falda meridional de la Sierra del Perdón, llegando a apoyar sobre las "Margas de Ilundain".

1.3.2.1.1.- Conglomerados (nivel 36). Arverniense-Ageniense

Este nivel aflora en el ángulo S-O de la Hoja, con buenos puntos de observación, tanto al oeste de Subiza como en Biurrun. La potencia oscial entre 40 y 100 m, disminuyendo hacia el sur.

Litológicamente están formados por cantos redondeados de caliza, areniscas eocenas y menos abundantes de cuarzo, ofitas y rocas metamórficas. Presentan en general soporte clástico y es frecuente la imbricación de cantos y el desarrollo de barras de gravas con estratificación cruzada planar, fuertemente angular. La matriz es de arenisca de grano grueso. Los paquetes presentan bases erosivas y canalizadas con abundantes cicatrices internas.

Estos materiales pertenecen a un sistema de abanicos fluviales humedos. Los apices de estos abanicos se situarian en la Sierra del Perdón con facies conglomeraticas desorganizadas de frente proximal a medio.

Estos depósitos se interpretan como canales fluviales de configuración "braided" que transportan gran cantidad de gravas. Menos frecuentes son los depósitos desorganizados del tipo "debris-flow" y "mud-flow".

No ha sido posible efectuar dataciones sobre este nivel no obstante se ha asociado al Arverniense-Ageniense por su posición estratigráfico.

1.3.2.1.2.- Arcillas, limos, areniscas y calizas (nivel 37). Ageniense

Esta unidad se sitúa por encima de los niveles conglomeráticos definidos anteriormente, con afloramientos en malas condiciones de observación.

Se trata de un conjunto litológico con predominio de los depósitos lutíticos con intercalaciones de niveles de arenisca canalizados. Los depósitos fangosos están representados principalmente por lutitas ocres y rojas asimilables a episodios de inundación. Esporadicamente aparecen lutitas margosas decoloradas y niveles de calizas nodulosas originadas en zonas encharcadas, con deficiente drenaje.

Los depósitos arenosos, alcanzan su mayor entidad bajo la morfología de canales, aunque también son frecuentes las facies areniscosas y arenosas no canalizadas. Se distinguen niveles tabulares de arena mal clasificada, sucia, de grano muy fino, con abundantes procesos pedogenéticos y edáficos (suelos calcimorfos), interpretados como lobullos de desbordamiento. Otros depósitos de areniscas corresponden a niveles tabulares y lenticulares compuestos por "cosets" de "ripples" y "sets" de estratificación cruzada de mediana escala, asimilables a facies de margen de canal.

Las dataciones efectuadas sobre estos materiales han determinado, además de fósiles resedimentados del cretácico superior, entre otros : Sphaerochara cf. incospicua (AL. BRACUN EX. UNGER) que asigna a esta unidad una edad Ageniense.

1.3.2.1.3.- Areniscas (nivel 38). Ageniense

Estos niveles se encuentran intercalados entre el tramo descrito anteriormente. En general los afloramientos son de buena calidad y de escasa potencia.

Litológicamente se trata de un conjunto de areniscas de tonos rojizos, grano medio a grueso, que presentan estratificación cruzada planar, de surco y "ripples" de corriente, dominando las configuraciones de alta sinuosidad, puestas de manifiesto por superficies de acreción lateral y "cosets" de "climbing ripples", estructuras propias de depósitos de barras de meandros.

Los estudios micropaleontológicos no han encontrado fauna determinativa asignando a esta unidad una edad Ageniense por su posición estratigráfica.

1.3.2.1.4.- Calizas blancas (nivel 39). Ageniense

Se trata de un nivel de calizas y margocalizas, blancos (wakestone-packstone) nodulosas, con una potencia de unos 2 m de espesor.

Estos niveles se encuentran incluidos en la pasta arcillosa lutítica que forma el nivel 37. Los mejores afloramientos de estos niveles se sitúan en la margen izquierda de la carretera que une Biurrun con la Fundación Ondarra, aunque existen niveles semejantes en todo este sector, de menor espesor.

Estos niveles carbonatados, han determinado en análisis petrológicos, un porcentaje en carbonatos del 99 %, con un 10 % de fósiles y un 15% de pelets entre los componentes aloquímicos y un 60 % de micrita, 15 % de esparita entre los componentes ortoquímicos.

Los estudios de microfauna no han observado restos determinativos, solo oogonios de charofitas y moluscos, datando esta unidad como Ageniense por su posición estratigráfica.

Estos niveles se originan en zonas encharcadas con grandes deficiencias en el drenaje.

1.3.3.- Mioceno inferior

1.3.3.1.- Ageniense-Aragoniense

Se trata del ciclo de los "Conglomerados Superiores del Perdon", que presentan un gran desarrollo en la vecina Hoja de Puente la Reina.

Presenta unas notables analogías litológicas y sedimentológicas con el ciclo anterior, solo existiendo un contacto discordante entre ellos.

1.3.3.1.1.- Conglomerados (nivel 40). Ageniense superior-Aragoniense

Afloran en el límite occidental de la Hoja, constituyendo las cotas con mayor altitud de la Sierra del Perdón, con una potencia de más de cien metros de espesor.

Se presentan discordantes sobre los niveles descritos anteriormente, no observándose diferencias desde el punto de vista litológico con el ciclo de los "Conglomerados Inferiores del Perdón", dominando las facies de canales "braided" con barras de gravas sobre los depósitos desorganizados originados por procesos meramente gravitacionales.

Estos conglomerados, corresponden a medios asimilables a abanicos fluviales húmedos.

No ha sido posible efectuar dataciones sobre este tipo de materiales, no obstante se asocian al Ageniense superior-Aragoniense por posición estratigráfica.

1.3.3.1.2.- Arcillas, limos y areniscas (nivel 41). Ageniense superior-Aragoniense

Esta unidad se puede observar en el sector S0 de la Hoja discordante sobre los niveles arcillosos del ciclo anterior.

En esta zona no aparecen los grandes niveles de conglomerados y solo se observan ocasionalmente alguna pequeña pasada.

Litológicamente está formado por un conjunto de arcillas limosas ocre y rojas, con intercalaciones de niveles canalizados de areniscas. Entre estas formas canalizadas predominan las de tipo meandriforme.

La potencia de esta unidad es difícil de calcular, ya que sufre fuertes acuñaientos laterales, no obstante llega a alcanzar más del centenar de metros.

Los estudios de microfósiles han determinado : Rantzieniella nitida GRAMB, Sphaerochara davidi FEIST-CASTES, fragmentos de gasteropodos, que asignan a esta unidad una edad Ageniense-Aragoniense.

1.3.3.1.3.- Areniscas rojas (nivel 42). Ageniense-Aragoniense

Estos niveles se encuentran intercalados entre los materiales arcillosos descritos anteriormente.

Litológicamente está constituido por areniscas de grano medio de tonos rojizos, con una composición determinada por análisis petrológicos de un 30 % de CO₃Ca y un 70% de terrigenos, entre ellos un 30 % de calizas con trazas de oxidos de hierro entre los accesorios y trazas de fosiles entre los aloquimicos y un 23 % de cemento calcitico entre los ortoquímicos.

Estos niveles, representan canales, reconociendose distintas configuraciones segun sean el relleno de los canales, aunque generalmente dominan los canales de tipo meandriforme, con superficies de acreación lateral muy bien definidas y estructuras propias de flujo helicoidal (cosets de climbing ripples) y estratificación cruzada enfrentada con la inclinación de las superficies de acreción. Los canales de sinuosidad baja e intermedia presentan un relleno simple, constituido por sets y cosets tabulares de estratificación cruzada. Esporádicamente aparecen canales de configuración "braidada", con láminas de gravas e importantes cicatrices internas, marcando reactivaciones del sistema de origen tectónico que indican un aumento de energía en la sedimentación.

Los estudios micropaleontológicos no han encontrado fosiles precisos, asignando una edad Ageniense-Aragoniense por posición estratigráfica.

1.4.- CUATERNARIO

El Cuaternario de la hoja de Elorz está representado fundamentalmente por los depósitos de carácter fluvial como terrazas, fondos de valle y conos de deyección. Los glaciares, coluviones, piedemontes y otros depósitos completan el arco de los depósitos más recientes.

1.4.1.- Gravas, cantos y arenas (52, 53, 54). Terrazas

El sistema de terrazas del río Elorz está constituido por tres niveles bien diferenciados a +3-7 m, +10-12 m y +20-25 m. Son formas de mediano desarrollo que se disponen en bandas paralelas al cauce y ofrecen un buen estado de conservación. Algunos afloramientos se pueden observar en la carretera que une Solózar con Torres y al suroeste de esta última localidad.

El dispositivo morfológico con el que se presentan es el de terrazas solapadas o encajadas para los niveles inferiores y colgadas para el nivel de +20-25 m, dejando ver el sustrato que las sustenta.

El mayor afloramiento se localiza en el borde norte de la hoja, en la desembocadura del Arroyo Errecaldea con el río Elorz. Sobre estos depósitos se instala el Poblado de Potasas, además de algunas industrias y una gran explotación de gravas.

En cuanto al valle del Errecaldea, también se reconocen los mismos niveles de terrazas, pero en este caso tienen menor desarrollo concentrándose, sobre todo, en la desembocadura de este cauce con el Elorz.

Las observaciones realizadas en campo muestran que se trata de depósitos de gravas de naturaleza calcárea y cuarcítica fundamentalmente apareciendo además elementos de cuarzo y areniscas. El tamaño medio que presentan está comprendido entre 4 y 7 cm con algunos tamaños mayores, observados "in situ". La matriz es arenoso-arcillosa de color rojo y la potencia de estos depósitos oscila entre 1 y 2 m, aunque puntualmente puede ser mayor.

La edad asignada a estos materiales es Pleistoceno, aunque es posible que el nivel más bajo llegue hasta el Holoceno.

1.4.2.- Arenas, arcillas, cantos y gravas (55). Fondos de valle

Los fondos de valle, al igual que en la contigua hoja de Puente La Reina pueden ser de dos tipos. Los primeros son los que aparecen en casi toda la mitad sur con una morfología, en planta, larga y estrecha. Estos, están formados por gravas y cantos con una composición muy similar a la de las terrazas. Los otros, aparecen en la mitad norte y se diferencian por un mayor contenido en elementos finos (limos+arcillas). Esta diferencia se debe no sólo a la litología del área madre, sino a las características del drenaje, en áreas de suave pendiente con menor capacidad de transporte.

Aunque la potencia no es visible en ningún punto, se supone que debe estar entre 2 y 5 m. La edad que se asigna a estos depósitos es Holoceno.

1.4.3.- Cantos, gravas y arenas (55). Conos de deyección

Se desarrollan a la salida de algunos barrancos o valles a otros cauces de rango superior. Son comunes en los valles de Elorz y del Errecaldea donde presentan su característica forma de abanico e interdigitan sus depósitos tanto con los depósitos de fondo de valle como con los de terraza. Sus dimensiones no superan los 500 m ni en longitud ni en anchura y los perfiles, tanto longitudinales como el transversales son convexos con un depósito, ofrece muy diversa naturaleza dependiendo del área madre del que procedan los materiales. Hay que destacar los conos de deyección de los ríos Unciti y Soto de Lardea y de los Barrancos de Chanchagain, Baigorri, etc.. todos ellos afluentes del Elorz.

1.4.4.- Arcillas, arenas, gravas y bloques (58). Coluviones

Tienen una expresión superficial reducida apareciendo al pie de las ladeas de los valles principales. Su litología es variable dependiendo de los materiales de los que se abastece; también lo es su textura, pues puede tratarse de una mera acumulación de bloques, sin apenas material fino o de una masa areno-arcillosa con fragmentos de calizas dolomías o cuarcita. En general se trata de depósitos sueltos, poco coherentes y con poco espesor de sedimentos.

Se les atribuye una edad Holoceno por su situación al pie de las laderas, superponiéndose a los depósitos de fondo de valle y de terrazas bajas o interdentándose con ellos.

1.4.5.- Bloques, gravas, arenas y arcillas (48). Piedemonte

Los depósitos de piekemonte aparecen en el cuadrante NO de la Hoja, constituyendo una amplia orla que rodea el extremo oriental de la Sierra del Perdón extendiéndose por la contigua hoja de Puente La Reina. La génesis de estos depósitos se debe a la acción conjunta del agua y de la gravedad y se caracterizan por sus grandes dimensiones alcanzando a veces una relevancia de carácter regional al formar una orla alrededor de los relieves más importantes.

Se trata de conglomerados heterométricos con grandes bloques, observados en campo, y una matriz muy abundante, de forma que los elementos gruesos no siempre están en contacto unos con otros. Con respecto a estos últimos, su composición idéntica a la de los conglomerados de la Sierra del Perdón, de los que proceden, es decir areniscas y calizas eocenas y también de cuarzo y ofitas, pero en menor proporción.

Se les atribuye una edad amplia, Pleistoceno, por suponer que su formación requiere bastante tiempo y por la no relación con otros depósitos mejor definidos cronológicamente. No parecen llegar al Holoceno pues están colgados con relación a la red fluvial reciente.

1.4.6.- Arcillas rojas (46). Arcillas de descalcificación

Constituyen el producto residual de la disolución de los carbonatos y aparecen tapizando el fondo de muchas dolinas y rellenando huecos y cavidades de diferente tamaño. En el Mapa Geomorfológico sólo se han representado las formas que alcanzan determinadas dimensiones.

La naturaleza de estas formaciones suele ser mayoritariamente arcillosa, aunque es probable que contengan un cierto porcentaje de limo, arena e incluso algunos fragmentos de rocas carbonatadas desprendidos de las paredes de las dolinas.

La potencia es irregular y variable, aunque debido a la inaccesibilidad del terreno no ha sido posible su observación directa.

La edad de estos depósitos pueden considerarse Plioceno-Actualidad, si puesto que el karst de la Sierra de Alaiz sigue siendo activo.

1.4.7.- Gravas, arenas y arcillas (47). Glacis

Dentro del ámbito de la hoja, la forma más representativa la constituyen los glacis. Su significado morfológico consiste en representar la forma de enlace entre los relieves de las sierras y los valles.

Están constituidos por un depósito conglomerático de calizas y areniscas. El tamaño medio de los cantos está comprendido entre 3 y 6 cm con un máximo observado en Campo de 15 cm. La matriz es arenosa de color rojo con cierto contenido en finos (limo + arcilla). El contacto con los materiales subyacentes es neto y erosivo y en los cortes observados (Los Maizales, Los Nogales) se observan estructuras típicas de transporte fluvial como imbricaciones, cicatrices erosivas, etc. La potencia total de estos depósitos no supera los 3 m. A techo se desarrolla un suelo rojo de unos 40-50 cms.

2.- TECTONICA

2.1.- LA CUENCA DE PAMPLONA

La Cuenca de Pamplona está limitada por el noreste por las estructuras pirenaicas del entorno del macizo de Oroz-Betelu, que al cabalgar hacia el S.O. origina el surco subsidente de Arre, que provoca el desplazamiento de las sales del Keuper, acumulándose en la estructura de Noain a Zuasti, dando posteriormente lugar a las diapiros de Iza y Anoz.

Estos diapiros tienen una génesis semejante, tratándose de mega-sigmoides de desgarre.

Por el oeste, está limitada por la falla de Estella, que es un accidente de zócalo de dirección NNE-SSO, que resuelve el desplazamiento de la falla norpirenaica o falla de Leiza.

En la cobertera la falla de Estella, produce una amplia banda de cizallamiento, que con la misma orientación NNE-SSO, discurre desde la Sierra de Andia, hasta la zona oriental de la Sierra del Perdón. Esta banda de cizallamiento ha permanecido activa, por lo menos, desde el Eoceno inferior (Sierra de Andia y diapiro de Anoz) hasta el Mioceno (diaclasamiento de los conglomerados superiores del Perdón, sobre la falla de Beriain oeste), permitiendo el desplazamiento sinistral del Cabalgamiento Frontal Pirenaico y la transferencia del movimiento hacia el Cabalgamiento Frontal Cantábrico. Asociados a la traza en superficie de la Falla de Estella se reconocen los diapiros de Salinas de Oro y Arteta. El de Salinas de Oro, ha originado una serie de fallas concéntricas y radiales, que penetran en la Cuenca. La más importante es la de Echauri.

Por el S y SE, la Cuenca de Pamplona se encuentra limitada por el cabalgamiento de la Sierra de Alaiz, cuya traza en arco convexo hacia el norte representa en esta transversal al anteriormente mencionado Cabalgamiento Frontal Pirenaico. Este cabalgamiento resuelve la aloctomía de la Cuenca sobre el antepais como pone de manifiesto en el sondeo de Astrain, que corta calizas del Eoceno, bajo el Keuper. El sondeo se encuentra a unos 13 km. de la falla de Puente la Reina, lo que da una idea del importante desplazamiento del sector occidental de la Cuenca. Desde este punto de vista la Cuenca de Pamplona se puede calificar como una cuenca "piggy back" al haber sufrido una traslación pasiva simultáneamente a su desarrollo.

El límite septentrional de la Cuenca, se puede considerar a las estructuras E-O, originadas posiblemente por el cabalgamiento de Roncesvalles.

La estructura de la Cuenca de Pamplona, es totalmente diferente a ambos lados del eje Noain-Zuasti. Al este se encuentran las anticlinales de Zabalegui e Ilundain, con dirección E-O en su tramo oriental, girando hacia el NO en su tramo occidental.

En el sector occidental de la Cuenca, la estructura de mayor importancia, es la Sierra del Perdón, que se conoce con bastante detalle debido a la explotación del yacimiento potásico. La estructura actual consiste en un sinforme de dirección ENE-OSO, flanqueado por las fallas de Esparza y Beriain norte.

2.2.- DESCRIPCION DE LAS PRINCIPALES ESTRUCTURAS

En esta hoja se han observado las estructuras que se describen a continuación:

2.2.1.- Pliegues

En esta Hoja existen varios pliegues con distinta importancia en cuanto a su entidad y posición relativa respecto a la Cuenca.

Al sur de la Hoja se encuentra el anticlinal de la Sierra de Alaiz. Esta estructura limita la Cuenca por el S.E., presenta en su sector oriental, una dirección E-O mientras que, a partir de Ezperun gira al SO. Se interpreta como un anticlinal desarrollado en el bloque de techo del cabalgamiento que flanquea por el sur esta misma Sierra y que, como se ha mencionado anteriormente, representa el Cabalgamiento Frontal Pirenaico. Muy posiblemente se trata de un pliegue de "acomodación" cuya estructura da información sobre la posible geometría del bloque, cabalgado (rampa del bloque de muro). El anticlinal parece que se encuentra relativamente anclado en su extremo oriental ("tip point" local) permitiendo un aumento del desplazamiento hacia el oeste.

Este anticlinal es asimétrico, con el flanco norte muy desarrollado y un flanco sur invertido, que termina en el cabalgamiento. El núcleo está ocupado por materiales calcáreo-dolomíticos del Cretácico Superior y los flancos formados por materiales calcareo-dolomíticos del Paleoceno-Eoceno.

La forma en arco de la estructura se acomoda a favor de fallas transversales a la traza de su eje algunas de las cuales permiten el movimiento diferencial de bloques y se pueden calificar por lo tanto como pequeñas fallas de transformación del movimiento. Otras sin embargo son fallas de tensiones radiadas que acomodan el arqueamiento de la estructura.

Al norte de esta sierra se encuentra el anticlinal de Zabalegui, cuyo núcleo está formado por "Margas de Pamplona", que con dirección ONO-ESE en el sector oriental, gira a la altura de Zabalegui hasta situarse en dirección NO-SE, paralela a la dirección de la estructura de Iza, confundiendo con ella. Al sur de este anticlinal tiene que existir un sinclinal muy apretado, desarrollado en las Margas de Pamplona; cuyo eje es de difícil localización debido a la naturaleza de los materiales que afecta.

2.2.2.- Fracturas

En esta Hoja existen varios sistemas de fracturas, siendo el más importante el representado por el cabalgamiento de la Unidad de Alaiz hacia el sur. Este frente alóctono que cabalga sobre el terciario continental, como ya se ha indicado anteriormente, efectúa el mayor desplazamiento en el sector de Unzue, continuando esta estructura hacia el oeste bajo los "Yesos de Puente la Reina". Esta situación anómala, ha sido resuelta por J. DEL VALLE (1991) (Figura 6), indicando que al este de la cuenca no existe nivel plástico de despegue intermedio, mientras que la cuenca desliza sobre el Keuper, pero al oeste, el frente cabalga sobre los niveles suevienses, que se encuentran sobre las evaporitas de la Formación Puente la Reina. La carga del cabalgamiento provoca el inicio de la migración de sales hacia el sur, contra el que se empotra el frente cabalgante, la migración salina continua, dando lugar a la formación de la falla lítrica de Puente la Reina, que recorre el borde suroccidental de la Hoja y su antitética la de Esparza, con el basculamiento correspondiente a la estructura de la Sierra del Perdón. El empuje continuado del frente pirenaico sobre el recubrimiento despegado de los niveles salinos de la Formación Puente la Reina, desplaza a este hacia el sur, originándose el cabalgamiento de Tafalla.

Las fracturas que con dirección aproximada N-S cortan la Sierra de Alaiz, son fallas de tensión en abanico producidos en el desplazamiento hacia el sur de dicha sierra.

Por último hay que mencionar la falla de Beriain, de origen tensional que, con dirección ENE-OSO, produce el hundimiento del yacimiento potásico.

2.2.3.- Discordancias

Entre los materiales que afloran en esta Hoja, existen varias discordancias que determinan los límites de secuencias deposicionales y que pueden estar asociados a impulsos tectónicos que afectan de forma global a toda la cuenca.

En este apartado solo se trata las discordancias de edad post-eoceno, ya que las anteriores, Cretácico-Paleoceno, no se dispone de criterios suficientes para poder definir sus límites.

La discordancia Bartonense inferior, tiene una gran representación en esta Hoja, observándose con gran precisión en Yarnoz. Este límite se clasifica como erosivo, laminando en algunos sectores a los materiales sedimentados durante el Luteciense.

La discordancia del Priabonense inferior, se encuentra bien representada, tiene carácter erosivo, desmantelando los niveles superiores de las "Margas de Pamplona", dando paso a los depósitos de turbiditas de la Sierra de Tajonar.

La discordancia Prebonense superior, marca el cierre de la cuenca marina con el depósito de las sales potásicas. En campo no es visible debido a la naturaleza de los materiales, no obstante, en sismica tiene una buena representación.

Hacia techo las discordancias del Sueviense y Arverniense se encuentran bien representadas en esta Hoja, siendo todas ellas de naturaleza erosiva.

2.3.- TELEDETECCION

Los estudios de teledetección realizados en esta Hoja, han determinado un gran número de lineamientos.

Los lineamientos de primer orden, presentan direcciones aproximadas E-O, destacando el lineamiento que representa la falla de Beriain, que continúa en profundidad hasta Andricain.

El resto de los lineamientos de primer orden, cortan distintas formaciones geológicas y en general están relacionados con el emplazamiento de la Sierra de Alaiz observándose lineamientos de dirección ENE-OSO no representados en cartografía, que cortan esta estructura.

Los lineamientos de segundo orden son más abundantes y en general presentan varias tendencias en sus direcciones, además de la anterior hay varios con direcciones meridianas que normalmente se limitan a cortar las "Margas de Pamplona" o de "Ilundain".

3.- GEOMORFOLOGIA

3.1.- DESCRIPCION FISIOGRAFICA

La Hoja de Elorz (141-IV) a escala 1.25.000 se encuentra situada en su mayor parte en el Dominio Surpirenaico, si bien, al oeste y al sureste aparecen materiales terciarios continentales, pertenecientes ya a la Cuenca del Ebro (Figura 7).

Administrativamente pertenece a la Comunidad Autónoma Navarra, de carácter uniprovincial y desde el punto de vista hidrológico forma parte de la Cuenca del Ebro.

El relieve es muy abrupto, pudiendo diferenciarse dos dominios principales:

- a) Dominio de las Sierras
- b) Dominio de los Valles

Dentro del Dominio de las Sierras hay que destacar la de Alaiz, donde aparecen las mayores alturas de la Hoja como La Higa (1.287 m), La Murga Alaiz (1.136 m), El Monte Urraun (1.119 m) y Calvatoki (1.116 m). Se trata de una Sierra alargada, algo arqueada, pero con una dirección general OSO-ENE. Ocupa gran parte de la mitad sur de la superficie de la hoja y tiene alta pendiente pues en un corto espacio superficial asciende desde los 600 m. aproximadamente hasta los 1.100-1.200 m. Es una sierra fuertemente incidida por arroyos de curso estacional, a veces muy rectilíneos.

Existen otras dos Sierras que entran a formar parte de la zona de estudio, aunque no en su totalidad. Así, por el norte, penetra el extremo suroriental de la Sierra de Tajonar con una altura máxima, dentro de la hoja, de 751 m, y por el oeste, el borde oriental de la Sierra del Perdón con 1001 m de cota máxima.

Entre este conjunto de relieves se instalan dos valles con distinto desarrollo : el del río Elorz de carácter sinuoso-meandriforme que entra por el oeste de la hoja con una dirección E-O girando a la altura de Betacunce para transcurrir SE-NO hasta la desembocadura con el río Arga, muy próxima a Pamplona. Por otra parte, el Barranco de Errecaldea constituye el otro curso importante de la hoja a la que atraviesa por la mitad oeste con una dirección casi meridiana, uniéndose al río Elorz, del que es afluente, en el borde norte de la Hoja junto al Poblado de Potasas.

El resto de los ríos y arroyos son de corto recorrido y es frecuente que se encajen más o menos intensamente dando a veces barrancos acusados como es el caso del Barranco de San Andrés que desemboca en la localidad de Ezperun.

Climatológicamente, el área pertenece a un régimen Mediterráneo templado con tendencia a la continentalidad. Las precipitaciones medias se sitúan entre los 700 y 900 mm/año. con una temperatura media anual de 12-13° C con máximas de 36,6°C en verano y - 8,8°C en invierno.

La cubierta vegetal es relativamente escasa limitándose a algunos bosques de coníferas con monte bajo en las faldas de las principales sierras, y a vegetación de ribera en los valles.

La vegetación natural estaba compuesta por quejigales y encinares, pero se vió profundamente alterada por el hombre quedando, en la actualidad, reducida a pequeños relictos.

Los cultivos se reducen casi exclusivamente a cereales y a algunos productos de huerta en las vegas.

La principal riqueza de este sector son las explotaciones mineras. Así, las grandes canteras de Tiebas aportan abundantes material para hormigón, cal y áridos, sin olvidar las minas de potasas de Subiza, de gran importancia en la región.

El principal núcleo de población lo constituye, por sus dimensiones el Poblado de Potasas, seguido de Elorz, Tiebas, Biurrun y Campanas. Existen otra serie de núcleos de pequeña importancia como Zulueta, Solozar, Otano, Ezperun, etc...

La red de comunicaciones es buena, estando atravesada la hoja de N a S por la Autovía A-15 y la Carretera Nacional N-121. El resto de las vías, tanto comarcales como locales se encuentra en buen estado de conservación y la red de caminos permite un acceso fácil a gran parte de la superficie de la hoja excepción de la Sierra de Alaiz.

3.2.- ANALISIS MORFOLOGICO

En este apartado se tienen en cuenta dos aspectos geomorfológicos fundamentales : uno morfoestructural, por el que se analiza el relieve como una consecuencia

de la naturaleza del sustrato geológico y la disposición del mismo, y otro, morfogenético, por el que el relieve se considera la consecuencia de la actuación de los procesos externos sobre el sustrato existente.

3.2.1.- Estudio morfoestructural

La Hoja de Elorz (141-IV) a escala 1:25.000, se sitúa mayoritariamente en el Dominio Surpirenaico, aunque en los sectores oeste y sureste, existen materiales del Terciario continental que pertenecen ya al Dominio de la Cuenca del Ebro.

El principal relieve lo constituye la Sierra de Alaiz, formado principalmente por materiales carbonatados. La diferente competencia de los mismos y su disposición da lugar a la formación de escarpes estructurales, "hog back", crestas, etc. que aunque no muy abundantes, alcanzan grandes dimensiones. Este tipo de formas, más frecuentemente las crestas, se originan también en las Sierras del Perdón y de Tajonar. Por el contrario, en la esquina SO, en el sector de Biurrun, la topografía, más suave, da lugar a resaltes de las capas más duras con una dirección NO-SE y buzamiento al SO.

Otra de las morfologías características de este paisaje son los cerros cónicos como el Pico Oriz, San Andrés, Zaldueide, etc..., también consecuencia de la diferente naturaleza de los sedimentos. Se localizan en las partes inferiores de las vertientes de las sierras y se originan por erosión diferencial en el proceso de modelado de las laderas.

Por otra parte la observación de la red de drenaje, permite reconocer las principales directrices regionales NE-SO, E-O y NO-SE. La existencia de tramos muy rectilíneos, y los cambios bruscos en los cursos, hacen suponer una cierta influencia de la tectónica y de la estructura en la instalación y encajamiento de los cursos de agua (Figura 8).

3.2.2.- Estudio del modelado

Se describen a continuación las principales unidades geomorfológicas, tanto erosivas como sedimentarias, teniendo en cuenta, por un lado, su importancia y desarrollo y, por otro, el sistema morfogenético al que pertenecen.

En la Hoja de Elorz destacan las formas fluviales y las poligénicas sobre el resto, pero dejan también su huella las kársticas y las de ladera.

3.2.2.1.- Formas fluviales

Tienen una amplia representación superficial ofreciendo una gran variedad de formas y de elementos. Tanto unas como otros pueden ser de carácter sedimentario o erosivo y de mayor o menor relevancia. Dentro de las de carácter sedimentario hay que mencionar los fondos de valle, los conos de deyección y las terrazas, destacando entre estas últimas las del río Elorz.

El sistema de terrazas del río Elorz está constituido por tres niveles bien diferenciados a +3-7 m, +10-12 m y +20-25 m. Son formas de mediano desarrollo que se disponen en bandas paralelas al cauce y ofrecen un buen estado de conservación. Algunos afloramientos se pueden observar en la carretera que une Solózar con Torres y al suroeste de esta última localidad.

El dispositivo morfológico con el que se presentan es el de terrazas solapadas o encajadas para los niveles inferiores y colgadas para el nivel de +20-25 m, dejando ver el sustrato que las sustenta.

El mayor afloramiento se localiza en el borde norte de la hoja, en la desembocadura del Arroyo Errecaldea con el río Elorz. Sobre estos depósitos se instala el Poblado de Potasas, además de algunas industrias y una gran explotación de gravas.

En cuanto al valle del Errecaldea, también se reconocen los mismos niveles de terrazas, pero en este caso tienen menor desarrollo concentrándose, sobre todo, en la desembocadura de este cauce con el Elorz.

En líneas generales se trata de depósitos constituidos por cantos y gravas de diferente naturaleza, caliza, cuarcita, cuarzo, etc, aunque sus características litológicas y texturales, se describirán en el apartado correspondiente a las formaciones superficiales.

En cuanto a los fondos de valle se localizan en las partes más deprimidas, llevando siempre un depósito asociado. En general son formas alargadas que bordean los cauces pero que, en ocasiones y en áreas de topografía muy suave, pueden ensancharse ampliamente como sucede al noroeste de Elorz en el valle de la Regata de los Paleros.

El perfil transversal suele tener forma de "U" o de artesa. En el primer caso, muy frecuente, se debe a la influencia de los aportes laterales procedentes de las laderas, en el segundo significa una mayor influencia de los aportes fluviales de carácter longitudinal.

Otra de las formas diferenciadas son los conos de deyección desarrollados a la salida de algunos barrancos o valles a otros cauces de rango superior. Son comunes en los valles de Elorz y del Errecaldea donde presentan su característica forma de abanico e interdigitan sus depósitos tanto con los depósitos de fondo de valle como con los de terraza. Sus dimensiones no superan los 500 m ni en longitud ni en anchura y los perfiles, tanto longitudinales como el transversales son convexos con un depósito, que aunque será descrito en el apartado correspondiente ofrece muy diversa naturaleza dependiendo del área madre del que procedan los materiales. Hay que destacar los conos de deyección de los ríos Unciti y Soto de Lardea y de los Barrancos de Chanchagain, Baigorri, etc.. todos ellos afluentes del Elorz.

Por último, existen otra serie de formas fluviales, pero de carácter erosivo entre las que se reconocen : cabeceras de erosión fluvial o de cárcavas, arroyada difusa, barrancos y pequeños cañones, erosión lateral del cauce, etc.. Todas estas formas y procesos se han representado en el mapa con su simbología correspondiente.

3.2.2.2.- Formas de ladera (o de gravedad-vertiente)

Dentro de este grupo se han reconocido varios tipos : coluviones, piedemontes, deslizamientos y caídas de bloques.

Los coluviones son depósitos de pie de vertiente y se originan casi exclusivamente por la acción de la gravedad formando bandas alargadas y estrechas paralelas a los cauces. Son fáciles de ver en la mitad sur del valle del Errecaldea y en el valle del río Elorz en los parajes de las Viñas y Tierras Negras. Sus depósitos, caóticos y poco coherentes, dependen de la naturaleza de los materiales subyacentes.

En cuanto a los depósitos de piedemonte aparecen en el cuadrante NO de la Hoja, constituyendo una amplia orla que rodea el extremo oriental de la Sierra del Perdón extendiéndose por la contigua hoja de Puente La Reina. La génesis de estos depósitos se debe a la acción conjunta del agua y de la gravedad y se caracterizan por sus grandes dimensiones alcanzando a veces una relevancia de carácter regional al formar una orla alrededor de los relieves más importantes.

Sus materiales son muy heterométricos y están constituidos por bloques, cantos y gravas con una matriz arcilloso-arenosa poco cementada. La naturaleza de los elementos gruesos es idéntica a la de los que constituyen los conglomerados de la Sierra del Perón.

Los deslizamientos por el contrario son escasos y poco espectaculares, limitándose a algunos ejemplos en las márgenes del barranco Artusia, al sur de la Hoja. Este barranco ofrece unas laderas de elevada pendiente, lo cual unido a la existencia de materiales blandos (margas y margocalizas) ha dado lugar a una gran inestabilidad. Esta inestabilidad aumenta con la entrada de agua meteórica en el sistema poniendo en movimiento la masa a deslizar.

Finalmente se consideran aquí los bloques caídos que aunque no constituyen una unidad geomorfológica en sí. Conviene mencionarlos a pesar de ello por las dimensiones que a veces alcanzan. Se distribuyen, en general, por debajo de algunos taludes de gran envergadura, donde el escarpe se desarrolla sobre una roca carbonatada, afectada por una intensa fracturación.

El proceso se desencadena cuando el agua meteórica penetra por las numerosas discontinuidades (grietas, fracturas, etc..) provocando la apertura de las mismas debido a los cambios de temperatura. Es entonces cuando se produce el aislamiento de los bloques que en una posición de inestabilidad, como es el frente del escarpe, tienden a caer por gravedad, depositándose a cotas inferiores del talud.

Dentro de la Hoja de Elorz se localizan al sur de la Sierra de Tajonar y en la vertiente norte de la Sierra de Alaiz, hacia el barranco de San Andres.

3.2.2.3.- Formas Kársticas

La unidad más característica dentro de un sistema kárstico es la dolina. Se trata de una forma exokárstica, suficientemente conocida pero que puede ofrecer morfologías muy diversas. En el mapa geomorfológico sólo se han diferenciado dolinas y uvalas. El mayor desarrollo de estas formas se manifiesta en la parte más alta de la Sierra de Alaiz y en las proximidades del Guerendiain.

Sus dimensiones son muy variadas pudiéndose observar ejemplos que varían desde decenas de centímetros hasta casi 1 km., siempre referidas al eje mayor. La distribución

de estas formas se relaciona fundamentalmente con la fracturación, por lo que en el mapa se ven orientaciones preferentes de las mismas, ligadas a las directrices regionales.

Existe también un desarrollo de las formas menores del karst pero la presencia de vegetación y el desarrollo de suelos impiden verlas con facilidad. En el borde sur de la Sierra de Alaiz, al este de Mururarte de Reta, puede observarse un lapiaz con canales, surcos, pasillos, etc.. Los productos de descalcificación, arcillas rojas, pueden cubrir total o parcialmente este complicado micorrelieve.

3.2.2.4.- Formas poligénicas

Se consideran como tales, todas aquellas formas en las que ha intervenido más de un proceso en su génesis.

Dentro del ámbito de la hoja, la forma más representativa la constituyen los glacis. Su significado morfológico consiste en representar la forma de enlace entre los relieves de las sierras y los valles.

Suelen ser alargados, algo lobulados en sus bordes, con perfil longitudinal plano cóncavo, aumentando la concavidad con la proximidad al relieve.

El tamaño es muy variable y es frecuente que aparezcan escarpes netos, hacia los valles, al quedar directados por la red fluvial menor.

Los mejores ejemplos son los que se desarrollan en la margen izquierda del barranco de Errecaldea que procedentes de la Sierra del Perdón cubren algunas extensiones de su ladera este.

Algunos de sus depósitos han sido explotados aunque actualmente, dichas explotaciones no están en activo. Las principales canteras se sitúan en los parajes de Los Maizales, Los Nogales y Facería, al oeste de Tiebas.

Finalmente, se pueden reconocer hasta dos generaciones de glacis, de las cuales, la más reciente enlaza con la terraza de +20-25 m del río Elorz.

La otra forma que se ha diferenciado son los depósitos aluviales-coluviales. Se denominan así todos aquellos fondos de valle constituidos por depósitos fluviales y por aportes laterales procedentes de las laderas, cuando es difícil la separación entre unos y otros. Se localizan principalmente en el borde meridional de la hoja.

3.2.2.5.- Formas antrópicas

En el mapa geomorfológico aparecen dos formas bien diferenciadas. Por un lado todos aquellos huecos realizados por el hombre como excavaciones, canteras, etc.. y, por otro, las acumulaciones producidas por las escombreras. El mayor problema que ofrecen deriva de su irregularidad litológica y de su escasa compactación pudiendo crear algunos problemas de carácter geotécnico.

3.3.- FORMACIONES SUPERFICIALES

Las Formaciones Superficiales han sido definidas en España por Goy et. al (1981) como todos aquellos materiales coherentes o no, o que han podido sufrir una consolidación posterior y que están directamente relacionados con la evolución del paisaje que se observa en la actualidad.

La principal característica que deben poseer es ser cartografiables a la escala de trabajo. Por otra parte deben ser definidas por una serie de atributos tales como geometría, textura, génesis, potencia y, en ocasiones, edad.

En primer lugar, se consideran las formaciones superficiales de carácter fluvial, por ser las más representativas dentro del ámbito de la hoja. De entre ellas, destacan las terrazas, por su desarrollo. Como ya se ha señalado anteriormente se han cartografiado tres niveles, tanto para el río Elorz como para el Errecaldea, a +3-7 m, +10-12 m y +20-25 m sobre el nivel del "talweg" actual. Las observaciones realizadas en campo muestran que se trata de depósitos de gravas de naturaleza calcárea y cuarcítica fundamentalmente apareciendo además elementos de cuarzo y areniscas. El tamaño medio que presentan está comprendido entre 4 y 7 cm con algunos tamaños mayores, observados "in situ". La matriz es arenoso-arcillosa de color rojo y la potencia de estos depósitos oscila entre 1 y 2 m, aunque puntualmente puede ser mayor.

Aunque los cortes no son excesivamente limpios, en el paraje de Celaya (terracea de +25 m) se intuyen algunas estructuras fluviales como estratificaciones cruzadas,

cicatrices erosivas, cantos imbricados, etc. Sobre el depósito se desarrolla un suelo pardo rojizo.

La edad asignada a estos materiales es Pleistoceno, aunque el nivel inferior es posible que pueda llegar al Holoceno.

Los fondos de valle, al igual que en la contigua hoja de Puente La Reina pueden ser de dos tipos. Los primeros son los que aparecen en casi toda la mitad sur con una morfología, en planta, larga y estrecha. Estos, están formados por gravas y cantos con una composición muy similar a la de las terrazas. Los otros, aparecen en la mitad norte y se diferencian por un mayor contenido en elementos finos (limos+arcillas). Esta diferencia se debe no sólo a la litología del área madre, sino a las características del drenaje, en áreas de suave pendiente con menor capacidad de transporte.

Aunque la potencia total no es visible en ningún punto, se supone que debe estar entre 2 y 5 m.

La edad que se asigna a estos depósitos es Holoceno.

Las formaciones superficiales de ladera están representadas por coluviones y piequemontes. Los primeros tienen una expresión superficial reducida apareciendo al pie de las laderas de los valles principales. Su litología es variable dependiendo de los materiales de los que se abastece; también lo es su textura, pues puede tratarse de una mera acumulación de bloques, sin apenas material fino o de una masa areno-arcillosa con fragmentos de calizas dolomías o cuarcita. En general se trata de depósitos sueltos, poco coherentes y con poco espesor de sedimentos.

Se les atribuye una edad Holoceno por su situación al pie de las laderas, superponiéndose a los depósitos de fondo de valle y de terrazas bajas o interdentándose con ellos.

En cuanto a los segundos, es decir al piedemonte de la Sierra del Perdón, su principal característica es el gran desarrollo superficial que alcanza, además de su potencia que, en algunos puntos, puede llegar a superar la decena de metros. Se trata de conglomerados heterométricos con grandes bloques, observados en campo, y una matriz muy abundante, de forma que los elementos gruesos no siempre están en contacto unos con otros. Con respecto a estos últimos, su composición idéntica a la de los conglomerados de la Sierra del Perdón, de

los que proceden, es decir areniscas y calizas eocenas y también de cuarzo y ofitas, pero en menor proporción.

Se les atribuye una edad amplia, Pleistoceno, por suponer que su formación requiere bastante tiempo y por la no relación con otros depósitos mejor definidos cronológicamente. No parecen llegar al Holoceno pues están colgados con relación a la red fluvial reciente.

En cuanto a las formaciones superficiales de origen kárstico se limitan a las arcillas de descalcificación que aparecen en el fondo de las dolinas y uvalas existentes en la parte superior de la Sierra de Alaiz.

Constituyen el producto residual de la disolución de los carbonatos y aparecen tapizando el fondo de muchas dolinas y rellenando huecos y cavidades de diferente tamaño. En el Mapa Geomorfológico sólo se han representado las formas que alcanzan determinadas dimensiones.

La naturaleza de estas formaciones suele ser mayoritariamente arcillosa, aunque es probable que contengan un cierto porcentaje de limo, arena e incluso algunos fragmentos de rocas carbonatadas desprendidos de las paredes de las dolinas.

La potencia es irregular y variable, aunque debido a la inaccesibilidad del terreno no ha sido posible su observación directa.

La edad de estos depósitos pueden considerarse Plioceno-Actualidad, si puesto que el karst de la Sierra de Alaiz sigue siendo activo.

Por último y por lo que a las formaciones superficiales de carácter poligénico se refiere, hay que destacar los glaciais, constituidos por un depósito conglomerático de calizas y areniscas. El tamaño medio de los cantos está comprendido entre 3 y 6 cm con un máximo observado en Campo de 15 cm. La matriz es arenosa de color rojo con cierto contenido en finos (limo + arcilla). El contacto con los materiales subyacentes es neto y erosivo y en los cortes observados (Los Maizales, Los Nogales) se observan estructuras típicas de transporte fluvial como imbricaciones, cicatrices erosivas, etc. La potencia total de estos depósitos no supera los 3 m. A techo se desarrolla un suelo rojo de unos 40-50 cms.

3.4.- EVOLUCION GEOMORFOLOGICA

Es difícil establecer la evolución del relieve en un área relativamente pequeña como es la que imponen los límites de una hoja, a escala 1:25.000, sin tener en cuenta un contexto geológico y geomorfológico, de carácter regional. En este sentido, la Hoja de Elorz se integra mayoritariamente en la Zona Surpirenaica aunque comprende materiales del Terciario continental que pertenecen ya a la Cuenca del Ebro.

Al igual que en la contigua Hoja de Puente La Reina, desde un punto de vista geomorfológico, no existen niveles de referencia próximos para interpretar la evolución sufrida por el relieve con anterioridad al Cuaternario. La ausencia de depósitos de edad comprendida entre el Mioceno y la actualidad, así como la de alguna superficie de erosión, impiden reconstruir dicha evolución. Estudios posteriores y la futura realización de trabajos geomorfológicos en hojas próximas, permitirán la integración de este sector en una evolución de carácter más regional.

Sin embargo puede insinuarse que a partir del inicio del encajamiento de la red fluvial, es decir, del paso de un régimen endorreico a uno exorreico, se empiezan a producir en la zona una serie de procesos tanto erosivos como sedimentarios. Por una parte los amplios cauces van erosionando los relieves y en momentos de avenida dejan sus huellas en los depósitos de terraza. Paralelamente en las vertientes se van originando áreas de erosión en las partes más altas y depósitos en las más bajas (piedemontes y glaciares).

A medida que se avanza hacia edades más recientes (Pleistoceno medio y superior) la red sigue encajándose y dejando niveles de terrazas y en este proceso de incisión se va creando la red fluvial secundaria que sigue interviniendo en el modelado de las laderas. La morfología de las mismas (cóncavas, convexas, regularizadas, etc..) así como la de los valles (simétricos, asimétricos, en "V", en artesa, etc.) depende en cada caso, de la litología, del clima y de la tectónica local, predominando uno sobre los otros según las zonas.

Al mismo tiempo que el proceso de incisión avanza, se desarrollan otra serie de procesos, gravedad, kársticos, etc, que unido a la acción del hombre, en época reciente, contribuyen a definir y modificar la morfología local.

3.5.- DINAMICA ACTUAL Y SUBACTUAL. TENDENCIAS FUTURAS

Las características litológicas, estructurales y tectónicas de esta hoja permiten prever que en un futuro inmediato no se producirán procesos activos de gran magnitud. Esto no impide que dichos procesos en, actuaciones puntuales, contribuyan a modificar el relieve de forma local.

Los procesos fluviales son, quizás, los más interesantes. Así, en las vertientes de la Sierra de Alaiz, en la mayoría de los arroyos, tienen lugar una acusada incisión vertical, debido en gran parte, a las fuertes pendientes y, a la red de fracturas que afecta al macizo calcáreo. Otro proceso fluvial activo es la erosión lateral de las márgenes de un cauce. Este hecho es observable y ofrece magníficos ejemplos en el río Elorz, donde en la mayoría de sus meandros o curvas se producen escarpes acusados que tienden a su desestabilización.

En cuanto a los procesos que ocurren en las vertientes y que son funcionales en la actualidad, sólo pueden mencionarse las caídas de bloques, al pie de algunos escarpes (Sierra del Tajonar, Barranco Chamburu) y pequeños deslizamientos al sur de la hoja, en el barranco Artusia.

También hay que tener en cuenta la Sierra de Alaiz donde el karst en ella desarrollado es funcional en la actualidad.

Por último y con una simple observación del Mapa Geomorfológico es fácil deducir que las máximas modificaciones de la morfología son las debidas a la acción del hombre. Los mejores ejemplos son las espectaculares cavidades producidos por la explotación de calizas en Alaiz, las canteras de gravas de Los Maizales y Los Nogales, así como sus correspondientes escombreras. Tampoco pasa desapercibido el gran movimiento de tierras producido con motivo de las explotaciones de Potasas de Subiza.

A la vista de los procesos contemplados y teniendo en cuenta las características de la zona, no se prevén cambios importantes de la morfología en un futuro inmediato. Sin embargo las alteraciones mayores, de carácter local se deberán sin duda a la actuación del hombre.

4.- HISTORIA GEOLOGICA

En este capítulo se dará una visión generalizada de la evolución tectónica y sedimentaria del sector abarcado por la Hoja 1:50.000 de Pamplona, teniendo en cuenta que esta Historia Geológica se realiza en común para todas las Hojas 1:25.000 que componen el Mapa 1:50.000 de Pamplona.

Aunque los materiales más antiguos que afloran en este conjunto de Hojas pertenecen al trias, esta descripción comenzará en el Cretácico superior debido a la falta de afloramientos y criterios en los materiales triásicos.

En el Cretácico superior se inicia el desplazamiento de la Placa Ibérica hacia el norte, dando lugar mas adelante a su choque con la Placa Europea.

Durante esta serie de tiempo se pueden diferenciar dos grandes conjuntos deposicionales, asimilables a ciclos tectónicos de segundo orden, caracterizados por incrementos en el grado de subsidencia tectónica. La primera fase que comprende el conjunto deposicional Santoniense, representa los términos transgresivos de relleno de surco. Los sondeos profundos realizados en la Cuenca de Pamplona ponen de manifiesto la existencia de una zona subsidente con 2000 m de potencia de sedimentos, destacando los accidentes de Iza y Estella que registran descensos bruscos en el espesor de la serie santoniense.

En el techo de este conjunto se observa un episodio de somerización de la cuenca correspondiente a la fase terminal regresiva. El límite viene marcado por una superficie ferruginosa que representa un hiato sedimentario importante, faltando los términos inferiores del Campaniense.

El conjunto deposicional Campaniense superior-Maastrichtiense está compuesto por dos unidades que se corresponden con la fase transgresiva y regresiva, poniendo en contacto facies de plataforma abierta con depósitos fluviomareales.

Durante el Paleoceno tiene lugar un cambio general en la distribución de las cuencas que definirán la evolución pirenaica durante la orogenia.

El Paleoceno está representado por una serie de dolomias y calizas arenosas atribuidos a depósitos de transición marino-continental con sedimentación en régimen

supramareal, y los términos inferiores relacionados con depósitos fluviales y fluviomareales en facies Garumniense.

En esta época se definen los Dominios Pirenaico y Vasco-Cantábrico iniciándose la inestabilidad de la cuenca. Los cabalgamientos en formación originan áreas de altos fondos entre los que quedan surcos subsidentes que canalizan la sedimentación turbidítica, activando algunas de estas estructuras la halocinesis, con la extrusión de Iza y Anoz.

Sobre estos niveles se deposita una serie calcárea cuya edad está comprendida entre el Ilerdiense y el Luteciense inferior-medio. Estos depósitos corresponden a un modelo evolutivo de plataforma calcárea, estando constituidos los tramos inferiores tableados por facies transgresivas y los tramos superiores masivos por facies de somerización.

Estos depósitos constituyen el margen meridional de la Cuenca de Pamplona y se encuentran en relación con el surco turbidítico del Grupo Hecho, situado al norte.

Este conjunto deposicional Ilerdiense-Luteciense inferior-medio, presenta una ruptura basal constituida por una importante laguna sedimentaria con falta del Cuisiense y parcialmente el Ilerdiense. La ruptura superior está definida como una discordancia ligeramente erosiva.

El ciclo Luteciense medio-superior está representado por dos grandes barras calcáreas que se enmarcan en un contexto de "shoals" energéticos. Estos depósitos representan la progradación de la plataforma hacia cuenca, en relación con el episodio de somerización del conjunto deposicional.

Localmente aparecen en la base unos niveles de calcarenitas arenosas, atribuidos a un medio litoral energético muy somero.

La tendencia al retroceso, hacia el margen septentrional de las plataformas carbonatadas se ha explicado en base a un esquema de superficies de erosión que truncan los márgenes de la plataforma y su posterior recubrimiento por turbiditas, migrando hacia el sur, el surco turbidítico con el levantamiento del margen septentrional y basculamiento reflejado en el meridional.

El ciclo Luteciense-Priaboniense inferior, se puede dividir en dos subciclos, el inferior Luteciense superior-Bartoniense, constituido por calcarenitas con intercalaciones de una cuña turbidítica. Estos niveles se enmarcan en un ambiente deltaico.

En este conjunto se han diferenciado tres secuencias deposicionales que marcan una tendencia transgresiva global.

El subciclo superior Bartoniense-Priaboniense inferior-medio, corresponde al depósito de las "Margas de Pamplona" consistente en una serie monótona de margas grises homogéneas, con intercalaciones en el muro de turbiditas. Estas facies se interpretan como episodios de somerización que culminan en una plataforma siliciclástica abierta expuesta a la acción de las tormentas.

A techo comienza el ciclo Priaboniense medio-superior, que corresponde al depósito de las "Margas de Ilundain", consistentes en una serie homogénea de margas con intercalaciones de niveles turbidíticos. Estos depósitos se enmarcan en un contexto de plataforma externa, constituyendo términos prodeltaicos con etapas de somerización y etapas de intercalación de canales de abanicos submarinos.

El techo de estas margas marca una somerización progresiva de la cuenca y el tránsito a una situación restringida y confinada.

Durante el ciclo Priaboniense terminal tiene lugar una fuerte regresión, emergiendo las Sierras Orientales, quedando entre ellas cuencas abiertas hacia el Cantábrico. Esta regresión da lugar al sedimento de la Formación Evaporítica con el depósito de sales potásicas. Estos materiales ponen de manifiesto el confinamiento de la Cuenca y sugiere un cambio climático a condiciones de marcada aridez, con pérdida de profundidad de agua y progresiva evaporación con producción de salmueras cada vez más concentradas. La disposición original de la cuenca evaporítica no se puede establecer ya que sus bordes meridional y occidental han desaparecido bajo la discordancia sueviense.

Posteriormente sucede el depósito de las "Margas fajeadas" que marcan un estadio de dilución de la cuenca evaporítica por entrada de aguas continentales con aporte de material en suspensión, deduciéndose unas condiciones lagunares con variaciones notables de la salinidad, relacionadas con las "Areniscas de Galar", interpretadas como depósitos deltaicos, sedimentados en esas mismas lagunas, sometidas a un régimen intermareal. Aunque estos materiales se han sedimentado en una cuenca confinada, es necesario invocar a una

comunicación con el mar que posibilite la regeneración de las salmueras que originan los depósitos evaporíticos y los términos detríticos superiores.

Sobre estos depósitos se sedimentaron los de edad Sueviense, con la formación "Yesos de Undiano" relacionando estos depósitos con un episodio de colmatación y cierre definitivo de la cuenca paleogena marina.

En este momento comienza el sedimento de depósitos continentales en dos subcuencas, con un umbral sobre el cabalgamiento frontal pirenaico. En la subcuenca meridional, se implanta un régimen fluvio-lacustre que pasa gradualmente al oeste a materiales lacustres y posteriormente a evaporitas. En la subcuenca septentrional el régimen es lacustre con el depósito de evaporitas, anhidritas, yesos y halitas de la Formación Undiano.

En el Oligoceno medio se produce un aumento de la actividad tectónica con un incremento de los materiales detríticos aportados a la cuenca y una expansión de los sistemas fluviales con el depósito de las "Areniscas de Mues" de Mendigorria extendidas sobre el área lacustre de los Yesos de Puente la Reina.

Posteriormente comienzan los impulsos tectónicos y el depósito de sedimentos relacionados con los relieves creados, implantándose un régimen de alta energía con el depósito de abanicos aluviales dando lugar al ciclo de los "Conglomerados Inferiores del Perdón".

Durante el Mioceno inferior y después de otro impulso tectónico, tiene lugar una nueva sedimentación de depósitos aluviales dando lugar al ciclo de los "Conglomerados Superiores del Perdón".

5.- GEOLOGIA ECONOMICA

5.1.- RECURSOS MINERALES

En el ámbito de esta Hoja se han reconocido 16 indicios, la mayoría de ellos de escaso interés y pequeño desarrollo. Hay que destacar la actividad minera desarrollada en las sales potásicas explotadas en los alrededores de Subiza y las explotaciones calcáreas de la Sierra de Alaiz.

5.1.1.- Minerales metálicos y no metálicos

No existe referencia alguna en cuanto al aprovechamiento de minerales metálicos o no metálicos, ni en cuanto a una presencia digna de consideración.

5.1.2.- Minerales energéticos

No existen indicios de sustancias energéticas dentro de los límites de esta Hoja, aunque se han inventariado un sondeo de petróleo, que dió resultado negativo.

5.1.3.- Minerales y rocas industriales

5.1.3.1.- Aspectos generales

Dentro de los límites de esta Hoja hay que destacar las explotaciones desarrolladas sobre los niveles de sales potásicas y las labores desarrolladas sobre los materiales calcáreos del Eoceno en la Sierra de Alaiz, cuya producción está enfocada a la obtención de áridos de trituración y cal.

5.1.3.2.- Descripción de los materiales

5.1.3.2.1.- Sales potásicas

Se trata de una de las sustancias más emblemáticas del sector minero navarro, tanto por su antigüedad como por su importancia económica. Los estudios de la cuenca potásica navarro-aragonesa se iniciaron en 1929, sufriendo una paralización en los años treinta; las labores se reanudaron en la década de los cincuenta, período en el que se descubre

el yacimiento de Nuestra Señora del Perdón, explotado por Potasas de Navarra entre 1962 y 1985 y por Potasas de Subiza, S.A. desde 1986.

La formación potásica navarra constituye un macrociclo evaporítico similar al reconocido en la cuenca potásica catalana (ROSELL y PUEYO, 1984) correspondiente a un tipo empobrecido en sulfato magnésico.

En la cuenca navarro-aragonesa el macrociclo comienza por una unidad basal de carácter anhídritico, constituida en esencia por una alternancia de láminas de anhidrita y carbonatos de orden milimétrico, con un espesor conjunto de 0,6 a 1 m. es frecuente la presencia de pseudomorfos de yeso y halita, que descartan un origen primario de la halita. El sedimento corresponde a carbonatos, cuando las facies son laminadas, y a materiales detríticos, en el caso de facies nodulares.

Por encima, se dispone el nivel conocido como "sal de muro", con un espesor medio de 10 m, predominando la halita y polihalita, observándose varios colores y litofacies, con esporádicos niveles arcillosos que aumentan su proporción hacia el techo. El tamaño del grano varía entre 1 y 3 mm, alcanzando ocasionalmente 10 mm.

A continuación se observa un paquete próximo a 2 m. de espesor, constituido por 18 capas de silvinita, con niveles halíticos intermedios. Hacia la base se observan los mayores tamaños de grano y colores rosados, que evolucionan hacia el techo a tonos rojizos. Las bandas silviniticas tienen carácter monomineral, con cristales euhedrales granoclasificados, las capas de halita poseen niveles de orden centimétrico separados por láminas arcillosas de espesor variable. En algunas zonas, sobre el tramo carnalítico, se dispone un tramo halítico ("sales intermedias"), de potencia inferior a 1 m.

La serie continúa mediante un paquete de carnalita de espesor cercano a doce m, generalmente está integrado por ocho capas de carnalita separadas por niveles de halita y lutitas, las intercalaciones de halita presentan dos variedades petrográficas transparentes según posean inclusiones o carezcan de ellas, siendo la anhidrita el único sulfato presente. Por lo que respecta a las capas inferiores de carnalita, frecuentemente se encuentran transformadas a silvinita; en ocasiones, este tipo de transformaciones afecta a la totalidad del tramo.

Por encima se dispone una alternancia de halita y lutitas con niveles anhídriticos, cuyo espesor medio está comprendido entre 50 y 75 m; los niveles de halita de 1 a 4 cm., se encuentran separados por niveles de lutitas laminadas. Su sucesión típica es :

dolomita+anhidrita, dolomita+anhidrita+halita con inclusiones, halita, halita con inclusiones+anhidrita+dolomita.

El megaciclo culmina con un tramo de lutitas versicolores laminadas cuyo espesor se aproxima a 50 m; contiene paquetes de anhidrita, con dolomita y niveles enterolíticos, así como niveles arenosos, más frecuentes a techo.

Las 2 únicas paragénesis potásico-magnésicas de la formación evaporítica son silvinita-halita (con anhidrita y polihalita) y carnalita-halita (con anhidrita y dolomita). La ausencia de sulfato magnésico implica una variación en el quimismo del agua marina original, atribuida a 2 posibles procesos : a) reducción del sulfato presente en el agua por acción bacteriana; b) acción de aguas portadoras de Ca, que provocarían la precipitación de sulfato cálcico, o bien procesos de dolomitización, que producirían la precipitación de dolomita y magnesita. No obstante, BRAITSH (1971) señala la posible precipitación de silvinita-halita a partir de agua marina empobrecida en sulfato magnésico.

A diferencia de la cuenca catalana en la que los depósitos salinos fueron protegidos por depósitos continentales posteriores, en la cuenca navarro-aragonesa, la erosión sólo ha respetado algunos retazos. Así, en su sector oriental se encuentra la cuenca de Javier-Los Pintano, oculta al oeste de Liédana por el cabalgamiento de la Sierra de Lumbier; al oeste de ésta se dispone el sinclinal de Izaga, limitado al sur por la falla de Loiti, que cabalga al resto de la cuenca a lo largo del valle de Ibargoiti; en el que afloran los niveles evaporíticos; por último, el retazo más occidental está consituado por el yacimiento del Perdón, desplazado tectónicamente hacia el sur junto con la cuenca de Pamplona sobre la que se encuentra.

En cuanto a la génesis del yacimiento, está relacionada con un mar restringido en el que la intensa evaporación produjo un aumento en la concentración del agua, que provocaría el depósito de las sales. Posteriormente, las deformaciones relacionadas con la orogenia alpina han sido las responsables de la configuración actual; en una primera etapa se desarrollarían cabalgamientos de vergencia meridional y posteriormente, la acción de fallas profundas de dirección NNE-SSO compartimentaría el conjunto en los 3 bloques o sectores ya señalados.

Actualmente la única explotación activa es la de Nuestra Señora del Perdón perteneciente a Potasas de Subiza, S.A.

Los trabajos de explotación se realizan subterráneamente mediante el sistema cámara y pilares, con arranque mediante minador continuo. Los tipos de transporte utilizados son muy variados; así, el mineral es transportado por bandas en el interior y por camiones a fábrica, en tanto que el personal se desplaza mediante telesillas y el material, por monocarriles y tractores. Las instalaciones están provistas de sistemas de ventilación primaria y secundaria. En cuanto al alumbrado, se realiza de forma individual de casco.

La producción en 1991 fué de 1.266.294 tm de todo-uno de la que se consiguió 146.733 de cloruro potásico.

5.1.3.2.2.- Calizas

En esta Hoja se explotan con gran intensidad las calizas eocenas que conforman la Sierra de Alaiz.

Estas calizas son de tipo bioclástico, con carstificación y fracturación, intercalandose niveles de calizas micriticas de tonos cremas. La composición química de este tipo de calizas es : CaO entre 55 y 55,2 %, CO₂ entre 42,6 y 42,9 %, SO₂ entre 0,25 y 0,4 %, Fe₂O₃ entre 0,27 y 0,8 %, Al₂O₃ entre 0,08 y 0,3 % y MgO entre 0 y 0,36 %, con un coeficiente de desgaste de "Los Angeles" que oscila entre 21 y 23 %.

En este tipo de materiales se han inventariado once indicios de los cuales tres estan actualmente en activo, estas tres explotaciones se denominan Muga Muruarte de Reta, La Nueva y Uncona, con reservas casi limitadas y cuya vida útil de la cantera depende del método de explotación empleado, ya que con el paso de los años, se llegan a configurar canteras de grandes dimensiones, muy difíciles de explotar y con gran impacto ambiental.

La explotación de estas calizas se realiza mediante talud forzado, con longitudes de frente que varían entre 250 y 350 m, y alturas que oscilan entre 80 y 155 m, explotadas en 2 ó 3 bancos. El arranque es por explosivos mediante los taladros necesarios. El transporte de material extraído a la planta de tratamiento, situadas generalmente a pie de cantera, se efectúa por camiones y palas.

El tratamiento es el adecuado para elaborar aridos de trituración, constando básicamente en varios procesos de trituración y clasificación, hasta alcanzar tamaños comerciales.

La producción para 1992 de estas tres canteras es del orden de 4.800.000 tm.

Estas explotaciones producen un elevado impacto ambiental, como consecuencia de sus dimensiones y ubicación, produciendo frecuentemente polvo, originado en las plantas de transformación.

La explotación de Muga Muruarte de Reta, manda parte de su producto terminado a tres hornos de cal, situados en sus inmediaciones. La empresa que explota estos hornos se denomina Calinsa, cuya producción alcanza 580 tm/día.

5.1.3.2.3.- Arcillas

Se han explotado los niveles arcillo-arenosos que constituyen las "Turbiditas de Tajonar". De esta sustancia se han inventariado dos explotaciones actualmente abandonadas.

5.2.- HIDROGEOLOGIA

5.2.1.- Descripción de las formaciones

En el presente apartado se realiza una breve descripción desde el punto de vista hidrogeológico de las formaciones diferenciadas en la cartografía hidrogeológica .

En la descripción se atenderá básicamente a tres criterios fundamentales : litología, geometría y permeabilidad.

5.2.1.1.- Areniscas con cemento calcáreo. Calizas arenosas. Margas grises y margocalizas. Cretácico superior.

Esta unidad agrupa los niveles cartográficos n°s 2, 3, 4 y 5 diferenciados en la Hoja Geológica que presentan un similar comportamiento hidrogeológico.

El primer nivel (n° 2) está constituido por areniscas amarillas de grano fino, muy cementadas por carbonatos, con pequeños niveles intercalados de margas y limos verdes masivos. La potencia de este primer nivel no sobrepasan los 20 m.

A techo se situa un conjunto de calcarenitas bioclásticas arenosas, con intercalaciones de niveles margosos que corresponden al nivel 3 diferenciado en la cartografía geológica.

A continuación se localiza una serie de unos 300 m de espesor compuesta esencialmente por margas grises y limolitas calcáreas intercalando a muro niveles de calcarenitas margosas y nodulosas. En la cartografía geológica esta serie corresponde al nivel 4.

Por último a techo de la unidad diferenciada se situa un conjunto también de espesor considerable (_ 300 m.) constituido por areniscas y arenas silíceas, limos y arcillas rojas. En la parte alta aparecen niveles de calizas recristalizadas y dolomias. En la cartografía geológica corresponde al nivel 5.

La unidad que se describe aflora en el núcleo del anticlinal de Alaiz situado en el sector central de la mitad meridional de la Hoja. Hacia el norte los materiales del Cretácico superior se sumergen considerablemente bajo los depósitos del Paleoceno y Eoceno. Hacia el

sur, esta unidad choca con el Frente del Cabalgamiento del Prepirineo, contactando directamente con materiales del Oligoceno.

Se ha estimado una permeabilidad baja para el conjunto de la unidad, ya que aunque los niveles carbonatados más competentes pueden alcanzar cierta permeabilidad por fracturación, esta queda enmarcada por los niveles margosos limosos o arcillosos alternantes. Las areniscas están muy cementadas por lo que presentan bajas porosidades. No obstante, puntualmente pueden existir niveles de permeabilidad mayor.

5.2.1.2.- Calizas dolomíticas. Calizas tableadas. Paleoceno-Eoceno inferior y medio.

Esta unidad agrupa los niveles 7 y 9 diferenciados en la cartografía geológica de la zona. El nivel inferior (nº 7) está constituido por un tramo basal de dolomías y doloarenitas y un tramo superior de calizas arenosas y calcarenitas, con una potencia aproximada de 75 m.

El nivel 9 situado a techo del anterior está constituido por un tramo inferior de calizas tableadas organizadas en bancos de espesor métrico y decimétrico y un tramo superior con bancos más masivos y de mayor espesor.

La unidad aflora en la Sierra de Alaiz formando la gran masa calcárea. En profundidad adquieren cierto desarrollo hacia el norte pasando progresivamente en cambio lateral hacia facies de carácter margoso de muy baja permeabilidad (ya en la Hoja de Pamplona). Hacia el sur este paquete calcodolomítico limita con el Frente de Cabalgamiento del Prepirineo.

La permeabilidad varía en función del mayor grado de fisuración o karstificación que posea las calizas. Así la permeabilidad es alta al sur de la falla de Esparza y en la fosa situada al NO de la Hoja entre las fallas de Esparza y Beriain.

5.2.1.3.- Calcarenitas y margas. Margas. Margas y lutitas. Bartonense-Priabonense.

Esta unidad de carácter eminentemente margoso, agrupa los niveles 18, 22, 25 y 27 diferenciados en la cartografía geológica, entre los que destacan los niveles 22 ("Margas de Pamplona") y 25 ("Margas de Ilundain") por su considerable espesor.

El nivel inferior (nº 18) está constituido por un conjunto de margas, margas calcáreas nodulosas y limolitas calcáreas tableadas. El límite con la unidad inferior se realiza mediante una discordancia. La potencia de este tramo no supera los 50 m, aflorando en el sector septentrional de la Hoja.

A techo se sitúan las "Margas de Pamplona" (nivel 22). Son de tonos grises, nodulosas, con niveles centimétricos de calcarenitas. La potencia de este tramo es muy variable aumentando hacia el norte donde superan los 700 m, estimándose una potencia media de 400-500 m.

A continuación se incluye un tramo cartográfico (nivel 25) que se ha denominado en conjunto "Margas de Ilundain". Las características litológicas de este nivel son muy similares al nivel 22 (Margas de Pamplona), con un comportamiento hidrogeológico muy parecido.

La potencia oscila entre 300 y 400 m, catalogándose los límites inferior y superior de difícil observación, al contactar con margas a muro y evaporitas a techo.

Entre las "Margas de Ilundain" se encuentran intercalados, niveles de margas y areniscas calcáreas de grano fino y tonos marrones de naturaleza turbidítica que corresponden al nivel 24 diferenciando en la cartografía geológica (Turbiditas de Tajonar, ADARO 1988).

Por último se distingue a techo de la unidad un tramo de lutitas rojas y lutitas margosas, alternando con niveles de limos y areniscas, con una potencia superior a 50 m, que aflora en dos sectores, el occidental formando una banda de dirección aproximada N-S, en cuyo trazado se encuentra la mina de Potasas de Subiza, S.A. y en el sector nororiental que constituye el flanco del sinclinal de Izaga.

Se ha estimado una permeabilidad baja-muy baja para el conjunto de toda la unidad definida, dado el predominio de materiales margosos en la misma. Puntualmente los niveles areniscos o calcareníticos que intercala puede alcanzar cierta permeabilidad en niveles superficiales, prácticamente despreciable.

Entre los dos paquetes margosos descritos ("Margas de Pamplona" y "Margas de Ilundain") se encuentra un nivel de calcarenitas y areniscas de mayor entidad que se describe en el apartado siguiente.

5.2.1.4.- Calcarenitas y areniscas. Bartoniense-Priaboniense inferior.

Esta unidad se sitúa entre los dos paquetes margosos principales definidos con anterioridad (Margas de Pamplona y Margas de Ilundain). En la cartografía geológica corresponde al nivel 23, denominándose Calcarenitas de Gazolaz.

Litológicamente está constituido por niveles de biocalcarenitas marrones con granos de cuarzo que abundan en los tramos basales. La potencia total de cada nivel es muy variable sobrepasando raramente los 50 m.

Los afloramientos de esta unidad se sitúan en el sector septentrional de esta Hoja.

Se estima una permeabilidad media-baja para estos depósitos.

5.2.1.5.- Areniscas. Preaboniense superior.

Esta unidad se ha denominado como Areniscas de Galar (DEL VALLE, 1978) y corresponde al nivel 28 diferenciado en la cartografía geológica.

Litológicamente está constituida por arenas y areniscas de grano fino alternando con niveles limosos y margosos dolomíticos.

Sus afloramientos siguen las mismas alineaciones definidas en el anterior apartado.

La permeabilidad es media en los niveles más cercanos a la superficie, al existir una porosidad secundaria originada por la descalcificación de las areniscas por efectos de la meteorización. En profundidad los valores decrecen considerablemente al desaparecer la permeabilidad secundaria citada, y encontrarse las areniscas más compactadas.

5.2.1.6.- Arcillas y yesos. Sueviense inferior.

Esta unidad ha sido definida por PUIGDEFABREGAS (1975), como Fm. Yesos de Undiano (nivel 30 en la cartografía geológica).

Litológicamente está formado por margas grises dolomíticas, lutitas rojas, yesos recristalizados y algunos niveles delgados de yesoarenitas. En sondeos aparece como una sucesión rítmica de fangos y anhidritas con depósitos de halita en la parte inferior.

Se dispone por encima de los niveles descritos anteriormente alcanzando potencias de 500 m. Los mejores afloramientos se sitúan en el sector suroccidental de la Hoja.

Se ha estimado una permeabilidad muy baja para este conjunto, al contar las litologías descritas, con una porosidad eficaz prácticamente despreciable. Se puede alcanzar de manera puntual y aislada cierta permeabilidad por Karstificación o disolución de las sales (sulfatadas o cloruradas) que contienen.

5.2.1.7.- Arcillas limolitas y arcillas con intercalaciones de margas y calizas. Sueviense superior-Arveniense.

Dentro de esta unidad se han diferenciado dos conjuntos. El inferior incluye los niveles 29, 32, 33, 34 y 35 diferenciados en la cartografía geológica.

El conjunto superior agrupa las formaciones que corresponden a los niveles 37 y 41 de la citada cartografía. Estas agrupaciones se realizan desde el punto de vista hidrogeológico, según su afinidad litológica y similar comportamiento hidrogeológico .

El conjunto inferior presenta en la base una formación (nivel 29) constituida por arcillas rojas con intercalaciones de niveles areniscosos, que aflora en el ángulo noroccidental de la hoja con una potencia próxima al centenar de metros.

A techo, estratigráficamente se sitúa una formación (nivel 32) constituida por una alternancia de areniscas y limos con intercalaciones arcillosas. Sus afloramientos se extienden por el ángulo suroriental de la Hoja.

En contacto gradual con el nivel descrito se encuentra un tramo (nivel 33) formado por una alternancia de arcillas y limos con capas centimétricas de areniscas e intercalaciones de margas o calizas grises de unos 50 cm de espesor.

Al igual que el nivel anterior, este conjunto aflora en el vértice suroriental de la Hoja, considerándose como un cambio lateral de facies del anterior.

A techo se situa un ciclo constituido por los niveles 34 y 35 diferenciados en la cartografía geológica. El nivel 34 se trata de un tramo constituido por una alternancia de areniscas limos y arcillas. El nivel 35 está constituido por una alternancia de limolitas arcillas y margas con intercalaciones de capas de areniscas. La potencia del ciclo descrito supera los 500 m. y aflora en el límite meridional de la hoja.

Hidrogeológicamente se trata de depósitos de muy baja permeabilidad dado el predominio de materiales finos (arcillas, limos) en sus litologías. Los niveles de arenisca alcanzan, cierta permeabilidad que queda enmascarada por los tramos prácticamente impermeables con los que alternan.

El conjunto superior está constituido por las facies distales, prácticamente impermeables de los abanicos aluviales de la serie del Perdón. Presentan dos tramos. El inferior (nivel 37 en la cartografía geológica) está constituido predominantemente por materiales lutíticos con intercalaciones de areniscas. Esporádicamente, aparecen niveles de calizas nodulosas de escaso espesor.

El tramo superior (nivel 41 en la cartografía geológica), está constituida por un conjunto de arcillas limosas ocre y rojas con intercalaciones de areniscas.

Este conjunto aflora en el sector SO de la Hoja discordante sobre los niveles arcillosos del ciclo anterior.

Los niveles de areniscas de mayor entidad intercalados entre los materiales arcillosos constituyen niveles acuíferos aislados entre sí o con conexiones a través de los acuitardos. Se ha estimado conveniente separarlos del conjunto arcilloso de muy baja permeabilidad por sus posibilidades acuíferas.

Hidrogeológicamente el conjunto superior descrito tiene un carácter prácticamente impermeable dado el predominio de material lutítico y arcilloso. Por ello se agrupa con el conjunto descrito dentro de una unidad de muy baja permeabilidad con posibilidades acuíferas prácticamente nulas.

5.2.1.8.- Conglomerados del Perdón. Ageniense-Aragoniense.

Los conglomerados de la serie del Perdón presenta dos ciclos "Conglomerados Inferiores del Perdón (nivel 36 en la cartografía geológica)" y "Conglomerados Superiores del

Perdón" (nivel 40). Desde el punto de vista litológico no presentan diferencias de importancia. Están constituidos por cantos redondeados de caliza y areniscas eocenas y en menor número de cantos de cuarzo, ofita y rocas metamórficas.

Los inferiores afloran en el ángulo SO de la Hoja, con buenos puntos de observación tanto al oeste de Subiza como en Biurrun. La potencia oscila entre 40 y 100 m, disminuyendo hacia el sur.

Los superiores afloran en el límite occidental de la Hoja constituyendo las cotas de mayor altitud de la Sierra del Perdón con una potencia de más de cien metros de espesor.

Estos materiales pertenecen a un sistema de abanicos fluviales húmedos. Los apices se situarían en la Sierra del Perdón con facies conglomeráticas desorganizadas de frente proximal a medio.

Se ha estimado una permeabilidad media para toda la unidad. Aunque no existen datos suficientes que permitan calcular valores concretos de permeabilidad y transmisividad, si ha sido posible al menos distinguir diferentes sectores en función de su capacidad para albergar agua y permitir su circulación. En general el alto grado de consolidación de los conglomerados limita considerablemente la existencia de recursos hídrico importantes. No obstante, la presencia de una mayor densidad de fracturación en determinados sectores parece condicionar la existencia de una cierta circulación de agua en los mismos. Esto implica la aparición de procesos de karstificación con disolución de cemento carbonatado en los conglomerados y un aumento de permeabilidad en los mismos.

5.2.1.9.- Areniscas. Areniscas rojas Ageniense-Aragoniense.

Esta unidad agrupa los niveles areniscosos y conglomeráticos susceptibles de constituir acuíferos (niveles 38 y 42 en la cartografía geológica).

En general los afloramientos son de buena calidad y escasa potencia. Litológicamente están constituidos por areniscas de tonos rojizos de grano medio a grueso.

Se sitúan a techo de los ciclos conglomeráticos descritos anteriormente o más propiamente como cambio lateral de facies en el seno de las facies medias y distales de los mismos. Tienen generalmente morfologías lentejonares más o menos alargadas y se encuentran interstratificados en paquetes de arcillas.

Estos niveles de areniscas tienen espesores variables pudiendo alcanzar los 15 m y dan lugar a un acuífero multicapa de permeabilidad media-baja con niveles aislados entre sí o con conexiones a través de acuitardos.

5.2.1.10.- Cuaternario. Formaciones superficiales.

El Cuaternario de la hoja de Elorz está representado fundamentalmente por los depósitos de carácter fluvial como terrazas, fondos de valle y conos de deyección. Los glaciares, coluviones, piedemontes y otros depósitos completan el arco de los depósitos más recientes.

El sistema de terrazas del río Elorz está constituido por tres niveles (52, 53 y 54) bien diferenciados a +3-7 m, +10-12 m y +20-25 m. Son formas de mediano desarrollo que se disponen en bandas paralelas al cauce y ofrecen un buen estado de conservación. Algunos afloramientos se pueden observar en la carretera que une Solózar con Torres y al suroeste de esta última localidad.

El mayor afloramiento se localiza en el borde norte de la hoja, en la desembocadura del Arroyo Errecaldea con el río Elorz. Sobre estos depósitos se instala el Poblado de Potasas, además de algunas industrias y una gran explotación de gravas.

En cuanto al valle del Errecaldea, también se reconocen los mismos niveles de terrazas, pero en este caso tienen menor desarrollo concentrándose, sobre todo, en la desembocadura de este cauce con el Elorz.

Las observaciones realizadas en campo muestran que se trata de depósitos de gravas de naturaleza calcárea y cuarcítica fundamentalmente, apareciendo además elementos de cuarzo y areniscas. El tamaño medio que presentan, está comprendido entre 4 y 7 cm con algunos tamaños mayores, observados "in situ". La matriz es arenoso-arcillosa de color rojo y la potencia de estos depósitos oscila entre 1 y 2 m, aunque puntualmente puede ser mayor.

La permeabilidad de estos materiales es media-alta debida principalmente a porosidad intergranular.

Los fondos de valle, al igual que en la contigua hoja de Puente La Reina pueden ser de dos tipos. Los primeros son los que aparecen en casi toda la mitad sur con una morfología, en planta, larga y estrecha. Estos, están formados por gravas y cantos con una composición muy similar a la de las terrazas. Los otros, aparecen en la mitad norte y se diferencian por un mayor contenido en elementos finos (limos+arcillas). Aunque la potencia no es visible en ningún punto, se supone que debe estar entre 2 y 5 m.

Para los primeros se estima una permeabilidad media-alta por porosidad intergranular. Los segundos se diferencian por su mayor contenido en finos y por tanto una permeabilidad menor.

Los conos de deyección (nivel 57) se desarrollan a la salida de algunos barrancos o valles a otros cauces de rango superior. Son comunes en los valles de Elorz y del Errecaldea donde presentan su característica forma de abanico e interdigitan sus depósitos tanto con los depósitos de fondo de valle como con los de terraza. Sus dimensiones no superan los 500 m ni en longitud ni en anchura y los perfiles, tanto longitudinales como el transversales son convexos con un depósito, ofrece muy diversa naturaleza dependiendo del área madre del que procedan los materiales. Hay que destacar los conos de deyección de los ríos Unciti y Soto de Lardea y de los Barrancos de Chanchagain, Baigorri, etc.. todos ellos afluentes del Elorz.

La permeabilidad de estos depósitos es media, permeabilidad intergranular, dado el bajo grado de consolidación de los mismos.

Los coluviones (nivel 58) tienen una expresión superficial reducida apareciendo al pie de las laderas de los valles principales. Su litología es variable dependiendo de los materiales de los que se abastece; también lo es su textura, pues puede tratarse de una mera acumulación de bloques, sin apenas material fino o de una masa areno-arcillosa con

fragmentos de calizas, dolomías o cuarcitas. En general se trata de depósitos sueltos, poco coherentes y poco espesor de sedimentos.

La permeabilidad es alta ya que el grado de consolidación de estos depósitos es muy bajo.

Los depósitos de piedemonte aparecen en el cuadrante NO de la Hoja, constituyendo una amplia orla que rodea el extremo oriental de la Sierra del Perdón extendiéndose por la contigua Hoja de Puente La Reina.

Se trata de conglomerados heterométricos con grandes bloques, y una matriz muy abundante, de forma que los elementos gruesos no siempre están en contacto unos con otros. Con respecto a estos últimos, su composición es idéntica a la de los conglomerados de la Sierra del Perdón, de los que proceden, es decir areniscas y calizas eocenas y también de cuarzo y ofitas, pero en menor proporción.

La permeabilidad del conjunto es media, limitada por el contenido en finos de la matriz.

Las arcillas de descalcificación constituyen el producto residual de la disolución de los carbonatos y aparecen tapizando el fondo de muchas dolinas y rellenando huecos y cavidades de diferente tamaño.

La naturaleza de estas formaciones suele ser mayoritariamente arcillosa, aunque es probable que contengan un cierto porcentaje de limo, arena e incluso algunos fragmentos de rocas carbonatadas desprendidos de las paredes de las dolinas.

La potencia es irregular y variable, aunque debido a la inaccesibilidad del terreno no ha sido posible su observación directa.

Se estima una permeabilidad baja-muy baja para estos depósitos dado el predominio de material arcilloso. Esto no quiere decir que la dolina sea impermeable sino el fondo únicamente. Las paredes de las dolomías en general, son de permeabilidad media-alta.

Dentro del ámbito de la hoja, la forma más representativa la constituyen los glacis.

Están constituidos por un depósito conglomerático de calizas y areniscas. El tamaño medio de los cantos está comprendido entre 3 y 6 cm con un máximo observado en campo de 15 cm. La matriz es arenosa de color rojo con cierto contenido en finos (limo + arcilla). El contacto con los materiales subyacentes es neto y erosivo y en los cortes observados (Los Maizales, Los Nogales) se observan estructuras típicas de transporte fluvial como imbricaciones, cicatrices erosivas, etc. La potencia total de estos depósitos no supera los 3 m. A techo se desarrolla un suelo rojo de unos 40-50 cms.

La permeabilidad de estos materiales es media-alta por porosidad intergranular.

5.2.2.- Unidades acuíferas

A continuación se definen una serie de unidades que agrupan formaciones hidrogeológicas susceptibles de almacenar y transmitir el agua y por tanto constituir acuíferos. De esta forma se han diferenciado 4 unidades con un funcionamiento hidrogeológico independiente, presentando puntualmente conexiones entre distintas unidades.

- Unidad de Alaiz
- Calcarenitas de Gazolaz
- Areniscas de Galar
- Conglomerados del Perdón
- Areniscas y niveles areniscosos aislados permeables del Cuaternario
- Formaciones permeables del Cuaternario

5.2.2.1.- Calizas y dolomias del Cretácico superior, Paleoceno, Eoceno inferior y medio. Unidad de Alaiz.

Geometría :

Esta unidad está constituida esencialmente por calizas y dolomias arenosas, con niveles margosos intercalados en la base del Cretácico superior, dolomías y calizas del Paleoceno y calizas y calcarenitas con intercalaciones margosas hacia techo del Eoceno. Se ha denominado Unidad Hidrogeológica de Alaiz en el Proyecto Hidrogeológico desarrollado entre 1975 y 1977 por la Diputación Foral de Navarra, la Dirección General de Obras Públicas y el Servicio Geológico.

La unidad corresponde a un anticlinal cabalgante sobre los depósitos detríticos del Terciario Continental de la depresión del Ebro. Está constituida por un extenso acuífero de naturaleza calcárea, que en su mayor parte se comporta como confinado, pasando a ser libre sólo en la zona de la sierra donde afloran los niveles permeables que forman el acuífero. Estos niveles son las calizas y dolomias del Paleoceno y las calizas y calcarenitas del Eoceno.

Funcionamiento Hidrogeológico :

En cuanto al funcionamiento del acuífero, la alimentación se origina principalmente como consecuencia de la infiltración producida por la lluvia sobre la propia sierra, mientras que la descarga es desconocida ya que no existe en la zona ningún manantial localizado.

Teniendo en cuenta las características tanto geológicas como hidrogeológicas, parece lógico pensar en una circulación a través de alguna zona de falla y el posterior desagüe en lugares donde el relieve corte la superficie piezométrica. Esta circunstancia podría darse en el valle del Arga, directamente en el río o a través de manantiales, en la zona comprendida entre Ibero y Puente la Reina.

Entre los niveles de carácter calizo existe una interconexión total, por lo que todos forman un mismo acuífero. No obstante, algunos bancos de calcarenitas, con cierta permeabilidad, pueden quedar aislados por tramos margosos interestratificados, teniendo un comportamiento hidráulico totalmente independiente.

El resto de niveles geológicos, aunque incluyen bancos de calizas y dolomias arenosas con cierta permeabilidad, en conjunto se comportan como impermeables, formando la base del acuífero.

Las margas de Pamplona, que recubren la casi totalidad del embalse subterráneo, a excepción de la Sierra de Alaiz propiamente dicha, actúan de nivel confinante.

Los límites de este acuífero confinado bajo las margas están totalmente condicionados por características litológicas (cambios laterales de facies) por el norte y estructurales por el este, oeste y sur.

Los niveles piezométricos son desconocidos en la propia sierra y pueden estar a cotas absolutas comprendidas entre 300 y 400 metros en el acuífero confinado, muy por debajo de los 550 metros de cota mínima a que afloran las calizas. Las oscilaciones en los niveles piezométricos parecen ser del orden de 100 metros.

Parámetros Hidrogeológicos :

No se han obtenido datos de ensayos o test hidráulicos realizados en los niveles permeables de la unidad.

Se ha estimado una permeabilidad alta para el conjunto de la unidad siempre condicionada por las zonas de fracturación y donde se han desarrollado procesos de karstificación.

Se ha podido comprobar que la permeabilidad de las calizas queda restringida a las zonas de fractura y, por lo tanto, a puntos muy concretos, como pueden ser las fallas situadas entre Esparza y Subiza y el anticlinal de Zabalegui, donde se pueden crear fracturas de tensión.

El frente de cabalgamiento al norte de Unzué se encuentra fundamentalmente brechificado y también se dan permeabilidades elevadas.

5.2.2.2.- Calcarenitas de Gazolaz. Calcarenitas y areniscas del Bartonense-Priabonense inferior.

Geometría :

Esta unidad acuífera se sitúa entre dos paquetes margosos de espesor considerable (Margas de Pamplona y Margas de Ilundain).

Se trata de areniscas con cemento calcáreo. Se ha denominado "Calcarenitas de Gazolaz", ya que es en las proximidades de Gazolaz en la mitad oriental de la Hoja de Cizur donde la unidad adquiere un mayor desarrollo.

Funcionamiento Hidrogeológico

La recarga se produce por infiltración directa de agua de lluvia en las zonas donde aflora. La descarga se produce principalmente en la zona de Gazolaz proporcionando un pequeño caudal constante al barranco de Izabal. Un sondeo realizado en la Urbanización de Cizur proporcionó agua a la misma en la fase inicial.

Parámetros hidrogeológicos

No se tienen datos de parámetros hidrogeológicos en relación con la unidad en base a ensayos o test hidráulicos realizados en la misma.

En términos generales se estima una permeabilidad media-baja para la unidad, dependiendo del mayor o menor grado de cementación de las areniscas. Los valores mayores de permeabilidad se dan en los niveles superficiales por permeabilidad secundaria debido al efecto de la disolución del cemento calcáreo.

5.2.2.3.- Areniscas de Galar. Priaboniense superior.

Geometría :

En la Hoja de Elorz afloran en el borde occidental al este de la Sierra del Perdón conformando una banda de dirección aproximada N-S donde se asientan las poblaciones de Salinas de Pamplona al norte y Subiza al sur. En el sector nororiental también aflora esta unidad constituyendo el flanco del sinclinal de Izaga.

En el sector occidental de la Hoja, Potasas de Subiza, S.A., antes de iniciar la explotación de sales potásicas, encomendó el estudio hidrogeológico de estas areniscas a la Compañía General de Sondeos, S.A. que realizó tres sondeos. Los tres cortaron niveles de areniscas deleznales.

Resulta imposible hacer correlaciones capa a capa entre los tres sondeos, tanto apoyándose en las columnas descritas, como en los registros efectuados. Se trata de un acuífero multicapa en el que se cortaron niveles con agua salada intercalados entre otros de agua dulce. Se observan niveles con estratificación cruzada. Parece evidente la existencia de lentejones.

Los afloramientos, en ambas áreas, son de extensión limitada por lo tanto no se puede esperar obtener caudales importantes de esta formación. Sin embargo, algunos

manantiales proporcionan caudales de una cierta entidad, como el de la Mina con 1.5 litros /seg. situado al sur de Subiza y que ha suministrado agua a Campanas.

Funcionamiento Hidrogeológico :

Las areniscas presentan un relieve en acantilado en el límite oriental de los afloramientos, en los que la escorrentía debe de ser acusada. Por el contrario la parte alta de los afloramientos, presenta un relieve suave, que podría hacer temer una infiltración alta, en caso de ser permeables. Sin embargo la permeabilidad de los niveles altos, parece ser baja. El pozo del Soto, excavado en ellos se vacía en una hora de bombeo y tarda en recuperarse dos días. Al tratarse de un acuífero multicapa con dificultad de circulación vertical, lo lógico es que los niveles altos aflorantes, meteorizados, den lugar a una circulación epidérmica que, por el buzamiento oeste de las capas, puede descargar en los coluviones que bordean los afloramientos.

El informe hidrogeológico menciona cuatro puntos de agua en las areniscas: La Fuente Pública de Subiza, La Fuente Chufría, La Fuente de la Mina, y el pozo de El Soto, ya mencionado. En el último informe se agrega otro manantial que proporciona 0.05 l/seg.

Los caudales de la Fuente Pública de Subiza (0.6 l/s) y de La Mina (1.5 l/s) son los únicos de cierta entidad. Este último, se supuso inicialmente que recibía una recarga importante de los conglomerados pero, como hemos visto, estos no tienen agua. La recarga procede de los coluviones depositados sobre las margas y yesos de la Formación Undiano, como lo indican tanto su alto contenido en cloruros y sulfatos, como en nitratos.

El manantial de Subiza, procedente de los conglomerados, se encuentra disperso en las acumulaciones de derrubios al pie de los acantilados y no se ha conseguido captar la totalidad de su caudal, del que una parte se pierde en el recubrimiento cuaternario siguiendo por el barranco hasta descargar en Subiza, en la fuente pública como lo indican los juncales que jalonan el barranco. En el trayecto se carga de sulfatos y el contenido en nitratos se duplica entre los dos manantiales.

La recarga procede, por lo tanto; fundamentalmente de los cuaternarios. Al ser los niveles más altos de las areniscas poco permeables, la recarga se debe de realizar en los puntos en que la erosión haya alcanzado los niveles permeables de estas, previamente al depósito de los coluviones, o por medio de alguna falla.

Parámetros hidráulicos :

No se tiene información procedente de ensayos o test hidráulicos realizados en la unidad acerca de los parámetros hidrogeológicos que la definan.

Al igual que en el caso anterior el elevado grado de consolidación de muchos de los niveles areniscos limita su porosidad eficaz y por tanto su permeabilidad. Se estima una permeabilidad baja para el conjunto de la unidad. Puntualmente puede aumentar dicho valor en zonas donde la consolidación es menor.

5.2.2.1.- Conglomerados del Perdón.

Geometría

El límite inferior como se ha indicado en la descripción de formaciones está constituido por depósitos del Terciario marino que actúan de sustrato prácticamente impermeable con relación a los materiales de la unidad. El límite superior lo constituyen los depósitos distales, mas finos de carácter continental.

Este conjunto está constituido por dos ciclos diferentes como se ha apuntado repetidas veces, cuya parte inferior ("Conglomerados Inferiores del Perdón") se encuentra enmascarada por los derrubios de ladera, lo que dificulta el estudio de las relaciones entre ambos.

A partir de las observaciones en los afloramientos y de la correlación de sondeos realizados en la zona (se puede comprobar que el ciclo superior (Conglomerados Superiores del Perdón) se apoya en la mayor parte del área en los niveles distales prácticamente impermeables del ciclo inferior (JOAQUIN DEL VALLE, 1993).

Unicamente en el borde septentrional de la Sierra del Perdón los conglomerados del ciclo superior se apoyan directamente sobre los conglomerados del ciclo inferior, dándose en estos puntos transferencias de flujos de uno a otro ciclo.

Las potencias observadas llegan a más de 300m en algunos sectores (para todo el conjunto) aunque disminuyen mucho sobre todo hacia el extremo oriental en los alrededores de Biurrum.

A partir de los datos obtenidos en los sondeos de investigación se observa que no todo el material conglomerático actúa como acuífero potencial. Mas concretamente se encuentran sondeos en los cuales se tienen aportes de cuadal en niveles determinados, mientras que por encima y por debajo se encuentran bancos de conglomerados sin aporte alguno.

En la interpretación de este hecho influyen fundamentalmente dos factores:

El primero y más importante es que la permeabilidad de estos materiales se debe principalmente a la disolución del cemento generalmente calcáreo que mantiene la cohesión del mismo, a partir de aquí la permeabilidad es debida a la porosidad intergranular. Por tanto la transmisividad depende de la franja en la cual se han dado procesos de disolución (descalcificación). Generalmente los conglomerados están descalcificados en las áreas más próximas a la superficie donde los procesos de meteorización han actuado más directamente. Pero no se descarta que en niveles aislados en profundidad se encuentren conglomerados "lavados" esto es descalcificados por el efecto directo de flujos subterráneos.

El segundo factor se refiere a la posible desconexión de tramos permeables por niveles semipermeables (limolitas, arcillas, areniscas margosas) que intersectan a estos materiales. No obstante es poco probable la total desconexión ya que estos niveles dado su escaso espesor sufrirían el efecto "goteo" si separasen materiales realmente permeables.

La interpretación real es más bien la suma de ambos procesos ya que ambos coexisten en los materiales conglomeráticos que se describen.

Mas adelante se concretarán las zonas de mayor o menor transmisividad dentro de la unidad.

Funcionamiento Hidrogeológico :

En cuanto al ciclo superior se refiere "Conglomerados Superiores del Perdón", la parte basal de los mismos presenta una gran extensión aflorante con una fuerte infiltración. La recarga se produce a partir de la infiltración directa del agua de lluvia en estas superficies aflorantes (Sierra del Perdón).

El drenaje se produce a través de los manantiales que descargan a favor del contacto con materiales mas finos, prácticamente impermeables de las facies mas distales. Entre ellos destacan el manantial de Subiza situado en las proximidades de la localidad del mismo nombre. La variación, de los caudales es significativa en estas descargas lo cual afirma el funcionamiento "semicarstico" de estos materiales, a favor de las descalcificaciones existentes.

El ciclo inferior "Conglomerados Inferiores del Perdón" afloran bajo los escarpes originados por el ciclo superior (que condiciona el relieve) excepto al este de la falla de Beriaín sur.

La alimentación de los "Conglomerados Inferiores del Perdón" al este de la falla de Beriaín sur, provendría unicamente de la infiltración directa del agua de lluvia. En el resto de la Hoja, debido a que los afloramientos se producen en acantilados la recarga se produce a partir de los conglomerados superiores que los solapan o incluso a partir de los depósitos cuaternarios de ladera. Prácticamente no existen surgencias de descargas de los conglomerados inferiores a excepción del manantial que aprovecha la Fundación Ondarra (Q 0'2 l/s) con un caudal poco importante.

La meteorización y descalcificación, no parece haber afectado a este tramo inferior de conglomerados, como lo demuestran sondeos que los han atravesado sin encontrar agua.

Parámetros hidrogeológicos :

Aunque no existen datos suficientes que permitan calcular valores concretos de permeabilidad y transmisividad, si ha sido posible al menos distinguir diferentes sectores en función de su capacidad para albergar agua y permitir su circulación. En general el alto grado de consolidación de los conglomerados sobre todo en el ciclo inferior limita considerablemente la existencia de recursos hídricos importantes. No obstante, la presencia de una mayor densidad de fracturación en determinados sectores parece condicionar la existencia de una cierta circulación de agua en los mismos, ésto implica la disolución del cemento carbonatado en los conglomerados y un aumento de permeabilidad en los mismos. Esta permeabilidad debe disminuir en profundidad puesto que el desarrollo de la disolución debe ser menor.

5.2.2.2.- Areniscas y niveles conglomeráticos-areniscosos aislados.

Geometría :

Esta unidad agrupa un conjunto de niveles de areniscas que se intercalan en las facies medias y distales de los abanicos aluviales del Perdón. En ocasiones se dan conexiones directas con los niveles conglomeráticos descritos anteriormente o interconexiones entre diferentes cuerpos canaliformes en el seno de materiales mas finos (arcillas y limos) prácticamente impermeables dando niveles acuíferos desconectados entre sí o con conexiones a través de acuitardos (materiales semipermeables) de permeabilidades verticales muy bajas. Estos niveles de areniscas son mas frecuentes en el sector occidental de la Hoja donde llegan a constituir un "acuífero multicapa" de permeabilidad media-baja. Los espesores son muy variables y pueden llegar a alcanzar de forma individual 15 o 20 m.

Funcionamiento Hidrogeológico :

La recarga de estos niveles se produce principalemnte por infiltración directa de agua de lluvia en aquellas zonas donde afloran y en menor grado a partir de depósitos permeables del cuaternario que los tapizan. En profundidad se dan transferencias puntuales de agua de escasa importancia en zonas de interconexión entre los niveles en el contacto con los depósitos conglomeráticos de la unidad anterior.

El drenaje se produce en superficie a favor del contacto con los materiales finos (arcillosos y limosos) o en los cauces que directamente los atraviesan dando surgencias pluripuntuales o difusas de bajo caudal.

La desconexión y anisotropia existente entre los diferentes niveles se ponen de manifiesto en los sondeos de investigación realizados dando perforaciones cercanas resultados muy dispares.

Parámetros Hidrogeológicos :

Al igual que en el caso anterior no existen datos concretos de permeabilidad, transmisividad, coeficiente de almacenamiento, etc, en base a bombeos de ensayo o test

hidráulicos realizados en la zona. El elevado grado de consolidación de muchos de los niveles areniscosos y/o conglomeráticos limita la porosidad eficaz y por tanto su permeabilidad. Esto unido al carácter anisotrópico o individualizado de los niveles areniscosos permeables limita la posibilidad de explotación de estos niveles acuíferos no dándose, en las perforaciones realizadas, caudales superiores a 1 l/s.

5.2.2.3.- Formaciones permeables del Cuaternario

Geometría :

Como se ha indicado en el apartado de la descripción de formaciones superficiales, estas son muy variadas aunque en general de escaso desarrollo en cuanto a profundidad y extensión se refiere.

Las geometrías son las típicas de los depósitos de terraza, fondos de valle, depósitos coluviales y aluviales poligénicos, etc..

Funcionamiento Hidrogeológico :

La recarga de estos acuíferos aislados se produce por infiltración directa del agua de lluvia o por transferencia de niveles permeables del Terciario con los que contactan actuando como transmisores de los aportes procedentes de dichos niveles, como en el caso de los aluviales asociados al río Elorz.

La descarga se produce a través de pequeños manantiales en las áreas de cota inferior a favor del contacto con materiales arcillosos o limosos bien del mismo depósito o bien de los materiales terciarios infrayacentes. Hay numerosos pozos, o incluso zanjas de drenaje que explotan directamente los recursos de estas formaciones permeables del Cuaternario. Como es lógico también se dan descargas difusas en los cauces que intersectan dichas formaciones principalmente en el río Elorz donde las descargas de los depósitos aluviales son significativas.

Los restantes acuíferos cuaternarios presentan recursos muy limitados debido a su reducida extensión y potencia implican pequeños volúmenes capaces de almacenar agua.

Parámetros Hidrogeológicos :

No se han recopilado datos de ensayos o test hidráulicos realizados en estos materiales. De forma general se ha estimado una permeabilidad media-alta para estos depósitos, reduciéndose el valor en los depósitos de fondo de valle de la mitad oriental de la Hoja y en los depósitos de ladera de la Sierra del Perdón, por un mayor contenido en materiales finos.

5.3.- GEOTECNIA

5.3.1.- **Introducción**

Se ha realizado una cartografía geotécnica de la Hoja nº 141-IV a escala 1:25.000, correspondiente a Elorz.

Para definir las características geotécnicas de los materiales se han consultado numerosos datos de ensayos de laboratorio realizados, en obras y proyectos; que han permitido obtener valores geotécnicos característicos de algunas de las unidades cartográficas.

Con esta cartografía se pretende que el usuario disponga de una información de carácter general, pero lo suficientemente objetiva para prever problemas y diseñar una campaña geotécnica puntual.

5.3.2.- **Metodología**

Para la realización de la cartografía geotécnica, se han seguido las siguientes etapas:

- Recopilación de los datos existentes

Como se mencionó en la introducción, se han recopilado ensayos de laboratorio, procedentes de obras y proyectos, realizados en Navarra por organismos públicos y empresas privadas.

- Realización de la base de datos

Se ha realizado una ficha geotécnica, donde figuran los ensayos de laboratorio, destacando los siguientes :

- . Identificación y estado (Granulometría, Límites de Atterberg, Densidad y Humedad).
- . Resistencia (C. Simple, PLT, Corte directo)
- . Compactación y deformabilidad (CBR, Proctor Normal).
- . Químicos (contenido en sulfatos y carbonatos).

Igualmente se acompañan datos referentes a sondeos y penetrómetros, reseñándose, cuando es posible, el índice de calidad de la roca (R.Q.D.)

- Tratamiento estadístico de los datos incluidos en la base de datos

Ha servido para caracterizar geotécnicamente los diferentes materiales.

Se han obtenido valores medios máximos y mínimos de los diferentes ensayos.

- Zonación en áreas de iguales características

Apoyándose en los datos anteriormente comentados e interpretando las unidades cartográficas, se ha procedido a la zonación en áreas de iguales características (litológicas y geotécnicas).

Hay que señalar que esta zonación se ha realizado en conjunto para las Hojas de Cizur, Pamplona, Puente la Reina y Elorz, con el fin de poder integrar toda la información geotécnica en el Mapa 1:50.000 de Pamplona.

- Obtención de la cartografía

A partir de la cartografía geológica y de los valores de la base de datos; se ha obtenido una cartografía geotécnica.

5.3.3.- Zonación geotécnica

5.3.3.1.- Criterios de división

La superficie de la Hoja se ha dividido en áreas y posteriormente cada área en zonas. El criterio utilizado ya ha sido comentado anteriormente, es fundamentalmente geológico, considerando a su vez, las características geotécnicas similares.

De cada unidad se aportan datos de identificación, estado, resistencia, deformabilidad y análisis químicos.

5.3.3.2.- División en áreas y zonas geotécnicas

En la cartografía se presentan las siguientes áreas :

- Area II : Comprende a los materiales cretácicos
- Area III : Comprende los materiales terciarios
- Area IV : Se han agrupado los depósitos cuaternarios.

Estas áreas se han dividido en las siguientes zonas :

- Area II : Zona II₁, II₂
- Area III : Zonas III₁, III₂, III₃, III₄, III₅, III₆, III₇, III₈, III₉, III₁₀ y III₁₁.
- Area IV : Zona IV₁

En el Cuadro 1, se presenta la correlación entre las unidades cartográficas y las áreas geotécnicas.

5.3.4.- Características geotécnicas

5.3.4.1.- Introducción

De las materiales que se disponen ensayos se ha realizado una caracterización geotécnica utilizando los criterios que se exponen mas adelante, asi mismo se aportan datos sobre características constructivas, tales como condiciones de cimentación, excavabilidad, estabilidad de taludes y la aptitud como explanada de carreteras.

De los ensayos de laboratorio se han obtenido los siguientes datos :

- Granulometría

Se ha considerado el contenido en finos que presenta el suelo, es decir porcentaje que pasa por el tamiz N° 200 de la serie ASTM.

- Plasticidad

La clasificación de los suelos cohesivos según su plasticidad se ha efectuado a través del límite líquido y del índice de plasticidad; utilizando la Carta de plasticidad de Casagrande.

- Agresividad

Se ha determinado la agresividad del terreno mediante los siguientes valores:

<u>En la aguas</u>	<u>En el terreno</u>	<u>Agresividad</u>
< 0,03	< 0,2	Débil
0,03 a 0,1	0,2 a 0,5	Fuerte
> 0,1	> 0,5	Muy fuerte

- Expansividad

Los datos que se disponen sobre la expansividad del terreno, están obtenidos a través del ensayo Lambe que fija el cambio potencial de volumen (C.P.V.) de la manera siguiente :

<u>C.P.V.</u>	<u>Descripción</u>
0 - 2	No crítico
2 - 4	Marginal
4 - 6	Crítico
> 6	Muy crítico

- Resistencia, compactación y deformabilidad

Se han agrupado los ensayos de resistencia a compresión simple, resistencia al corte; CBR y Proctor Normal.

La clasificación de los materiales se ha efectuado según los siguientes criterios

:

- Resistencia según Hock & Brag 1977

N°	DESCRIPCION	RESISTENCIA A COMPRESION SIMPLE			EJEMPLOS
		Lb/in ²	kg/cm ²	MPa	
S1	Suelo muy blando	< 5	< 0.4	< 0.04	
S2	Suelo blando	5-10	0.4-0.8	0.04-0.08	
S3	Suelo firme	10-20	0.8-1.5	0.08-0.15	
S4	Suelo rigido	20-80	1.5-6.0	0.15-0.60	
S5	Suelo muy rigido	80-150	6-10	0.6-1.0	
R1	Roca muy meteorizada	150-3500	10-250	1-25	Creta, formaciones salinas
R2	Roca moderad. meteorizada	3500-7500	250-500	25-50	Carbón, esquistos, limolitas
R3	Roca moderad. dura	7500-15000	500-1000	50-100	Areniscas, pizarras
R4	Roca dura	15000-30000	1000-2000	100-200	Marmol, granito, gneises
R5	Roca muy dura	> 30000	> 2000	> 200	Cuarcita, dolerita, gabro, basalto.

- Consistencia del terreno según NTE. CEG. 1975

Tensión de rotura a compresión simple en Kg/cm² Consistencia

< 0.25	Muy blando
0.25 a 0.50	Blando
0.50 a 1	Medio
1 a 2	Firme
2 a 4	Muy firme
> 4	Duro

- Consistencia en arcillas

Consistencia	Plasticidad			
	Baja Media		Media Alta	
	Cohesión C'kg/cm ²	Angulo de rozamiento	Cohesión C'kg/cm ²	Angulo de rozamiento
Muy blanda	0	20	0	17
Blanda	0	21	0	18
Media	0,05	22	0,5	19
Fina	0,1	22	0,1	20
Muy Fina	0,15	21	0,15	21
Dura	0,25	25	0,25	22

- Compacidad en arenas

<u>Compacidad</u>	<u>Angulo de rozamiento interno ϕ°</u>
Muy suelta	28
Suelta	28-30
Medianamente suelta	30-36
Densa	36-41
Muy densa	> 41

- Indice de caldiad de la roca R.Q.D.

De los materiales que se disponen sondeos se ha establecido el índice de calidad de la roca de la siguiente manera :

<u>R.Q.D.</u>	<u>Calidad</u>
0-25 %	Muy mala
25-50 %	Mala
50-75 %	Regular
75-90 %	Buena
90-100 %	Excelente

Hay que señalar, que la caracterización geotécnica de los materiales, que no se presentan ensayos de laboratorio, ha sido realizado estimando sus propiedades.

Las características constructivas, se exponen según los criterios que se expresan a continuación :

- Cimentación

Normalmente se ha utilizado el criterio expuesto en los códigos (Británico y DIN 1054). En suelos y debido a que no se disponen de datos sobre asientos, estos han sido estimados, considerando la consistencia media del terreno.

- Excavabilidad

Los terrenos se han clasificado de acuerdo con la Norma Tecnológica de Edificación : Acondicionamiento del Terreno. Desmontes. Vaciados (NTE-ADV (1976)) en los siguientes grupos : 1) Duro. Atacable con máquinas y/o escarificador, pero no con pico, como terrenos de tránsito, rocas descompuestas, tierras muy compactas, 2) Medio. Atacable con el pico, pero no con la pala, como arcillas semicompactas, con o sin gravas o gravillas, 3) Blando. Atacable con la pala, como tierras sueltas, tierra vegetal, arenas. Cuando en la excavación se encuentran mezclados los terrenos se establece el porcentaje de cada uno de los tres tipos.

- Estabilidad de taludes

En algún caso han sido observados en campo, en otro el análisis de estabilidad es el que se refleja en estudios realizados en la zona.

- Aptitud para explanada de carreteras

Se ha tomado como referencia la Instrucción de Carreteras, Normas de Firmes Flexibles y Firmes Rígidos. Se entiende por suelo No Apto aquel que no puede constituir en desmonte ni en terraplén explanadas tipo E-1 (suelos tolerables al menos estabilizado en sus 15 cm. superiores, con CBR de 5 a 10). Marginales son aquellos que cumplen a veces dicha condición; en especial suele referirse a terrenos tolerables, que no conviene que sean explanada directamente. Aptos son terrenos frecuentemente adecuados y seleccionados.

5.3.4.2.- Area II.

- Zona II₁

Localización : Esta zona se extiende por el núcleo del anticlinal de Alaiz, desde las proximidades de Unzue, hasta el Caserío de Alaiz, así como al oeste de la Higa de Monreal.

Características litológicas : Los puntos de observación son escasos, al encontrarse intensamente cubierto por vegetación. Se trata de un conjunto de conglomerados, arenas, areniscas, margas y calizas.

Características geotécnicas : No se dispone de reconocimientos geotécnicos, además de la escasez de afloramientos, no obstante se ha observado una gran alteración cuya potencia oscila entre 1 y 2 metros profundidad a la que se espera aparezca el sustrato rocoso. Este sustrato es probable que presente una consistencia dura.

Características constructivas :

. Cimentación :

Para un cálculo a nivel de anteproyecto, se pueden considerar los valores que establecen las diferentes Normas y Códigos.

Si se procede a eliminar la zona de alteración, estimada en dos metros, podrá cimentarse con una carga superior a 3 Kp/cm².

. Excavabilidad :

Los primeros metros son fácilmente excavables, considerando como blando, es decir atacable con pala. El sustrato se considera duro, deberá atravesarse con máquina y /o escarificador y eventualmente no será ripable, debiéndose emplear voladuras.

. Estabilidad de taludes :

No se han observado ningún tipo de inestabilidad en los taludes naturales, los artificiales pueden presentar algún problema, debido a las presencia de niveles con distinto grado de alterabilidad, esto puede dar lugar a caídas por desplomes de los materiales más resistentes.

. Aptitud para explanadas de carreteras

Normalmente podrán constituirse explanadas E-3.

- Zona II₂

Localización : Esta zona aflora en el núcleo del anticlinal de Alaiz, situándose sus mejores afloramientos al norte de Unzue.

Características litológicas : Se trata de un conjunto de margas grises, limolitas calcáreas nodulosas, con intercalaciones, en el muro de esta unidad, de calcarenitas margosas y nodulosas.

Características geotécnicas : No se dispone de ensayos de laboratorio, si bien la característica fundamental que condicionará su comportamiento geotécnico, es la alternancia de materiales más resistentes con otros más blandos.

Los materiales margosos deben presentar resistencia entre muy baja y baja.

Las observaciones de campo permiten considerar el conjunto de estos materiales, en la categoría Muy mala, según el índice R.Q.D.

Características constructivas :

. Cimentación :

En general, para el caso de edificios habituales pueden aplicarse cargas entre 3 y 4 Kp/cm². El tipo de cimentación más probable será la superficial y se considera más conveniente la utilización de zapatas corridas para paliar los efectos de la heterogeneidad que separa la intercalación de los niveles menos competentes.

. Excavabilidad

En general son materiales ripables, aunque puntualmente pueden surgir dificultades a la excavación por medios mecánicos.

. Estabilidad de taludes

En general los taludes son estables, con pequeños problemas puntuales de desprendimientos en las margas.

. Aptitud caso explanada de carreteras

Puede constituirse una explanada del tipo E-3 precisando la extensión sobre ella de un suelo seleccionado.

5.3.4.3.- Area III

- Zona III₁

Localización : Constituye los flancos calcáreos del anticlinal de Alaiz, y por lo tanto se extiende por la mitad meridional de la Hoja.

Características litológicas : Se trata de un conjunto de dolomías y dolarenitas en la base que pasan calizas masivas.

Características geotécnicas : No se dispone de estudios específicos en estos materiales. Las observaciones de campo permiten considerar estos como rocas moderadamente duras, según la clasificación de Hoek & Bray 1977, donde se especifican una resistencia-compresión simple entre 500 y 1000 Kp/cm².

Considerando la clasificación del R.Q.D. esta roca se clasifica entre las categorías Media y Buena, con eventuales zonas Muy Malas (RQD : 0-25 %).

Cualquier estudio de detalle que precise la definición geomecánica del macizo rocoso, deberá proceder a una caracterización de las discontinuidades.

Características constructivas :

. Cimentación :

De acuerdo con los valores de las Normas y Códigos, se puede establecer, con carácter orientativo presiones admisibles del orden de 10 Kp/cm².

Deberá prestarse atención, a las zonas con posibles fenómenos carsticos.

. Excavabilidad :

En general no son ripables, debiendose emplear las voladuras para su excavación.

. Estabilidad de taludes :

La estabilidad de los taludes artificiales, estará condicionada al grado de fracturación y disposición de las juntas.

. Aptitud para explanadas de carreteras

Se podrán constituir explanadas E-3, pudiendose rellenar con hormigón H-50, las posibles irregularidades del terreno.

- Zona III₂

Localización : Afloran en el vértice nor-oriental de la Hoja, formando parte de la Sierra de Tajonar.

Características litológicas : Está formado por biocalcarenitas marrones con niveles de areniscas silíceas.

Características geotécnicas : Su comportamiento geomecánico viene ligado, a la alternancia de niveles menos resistentes entre niveles duros.

En general se pueden considerar resistencias medias del orden de 250 Kp/cm^2 , que clasificaría la roca como moderadamente meteorizada.

Las observaciones de campo permiten considerar valores del R.Q.D. variables entre el 25 % y 90 % es decir rocas que varían su calidad desde malas a buenas.

Características constructivas :

. Cimentación :

Se pueden considerar presiones admisibles variables entre 5 y 10 Kp/cm^2 .

Será importante considerar en el cálculo de la cimentación la posible presencia de niveles menos competentes, entre los más resistentes.

. Excavabilidad :

En general no son ripables, eventualmente aparecerán niveles que podrán excavarse con pala mecánica.

. Estabilidad de taludes :

Normalmente son estables, ocasionalmente pueden aparecer problemas puntuales de inestabilidad, debido a la presencia de niveles margosos de menor competencia que el resto, provocándose caídas de material margoso.

. Aptitud para explanadas de carreteras

Generalmente se pueden obtener explanadas del tipo E-3, en algún caso se deberá añadir material seleccionado.

- Zona III₃

Localización : Afloran en el flanco septentrional del anticlinal de Alaiz, en la Sierra de Tajonar y en la Peña de Iza.

Características litológicas : Está formado por la mitad septentrional de la Hoja y se encuentra ocupada por las denominadas "Margas de Pamplona".

Características geotécnicas : La característica fundamental, es la alternancia de niveles de material resistente con otros mas blandos.

El conjunto, puede considerarse con una resistencia que clasificaría el material como suelo muy rígido y roca muy meteorizada, según la clasificación descrita en la metodología.

Si consideramos su R.Q.D. se trataría de una roca de categoría Muy Mala, es decir R.Q.D. entre 0 y 25 %.

Características constructivas :

. Cimentación :

A nivel de anteproyecto; se puede considerar una presión admisible del orden de 3 Kp/cm². Es importante considerar las posibles heterogeneidades que suponen la alternancia de niveles blandos y duros.

. Excavabilidad .

En general son terrenos ripables.

. Aptitud para explanadas de carreteras

Puede constituirse en explanada E-3, precisando la extensión de un suelo seleccionado.

- Zona III₄

Localización : Esta zona se extiende por la mitad septentrional de la Hoja y se encuentra ocupada por las denominadas "Margas de Pamplona".

Características litológicas : Se trata de una serie monótona de margas grises nodulosas con niveles centimétricos de calcarenitas.

Características geotécnicas : De estos materiales se dispone de una amplia relación de ensayos de laboratorio, además de estar perfectamente caracterizadas en la literatura geotécnica.

De los ensayos recopilados se disponen datos de los niveles sanos y alterados, por lo que haremos referencia a ambos. A continuación se describen los valores más característicos :

CUADRO RESUMEN DE CARACTERISTICAS GEOTECNICAS

Clasificación : CL (Arcillas de baja plasticidad)
Densidad seca (margas sanas) : 1,69-2,6 gr/cm²
Densidad seca (margas alteradas) : 1,70-1,87 gr/cm³
% pasa tamiz N° 200 : 82 %-95 %
Limite liquido : 33-50
Indice de plasticidad : 14-33
Humedad (margas sanas) : 5,5 % - 16 %
Humedad (margas alteradas) : 12 % - 20 %
Contenido en carbonatos (margas sanas) : 20 % - 54 %
Contenido en carbonatos (margas alteradas) : 45 %-52 %
Contenido en sulfatos : Inapreciable (< 0,01)
Densidad Proctor (margas sanas) : 1,62 - 2,14 gr/cm³
Densidad Proctor (margas alteradas) : 1,61 - 2,04 gr/cm³
Humedad óptima (margas sanas) : 9 % - 21 %
Humedad óptima (margas alteradas) : 10,6 % - 18,8 %
Indice C.B.R. (margas alteradas) : 0,8 - 3,7
R. Compresión simple (margas sanas) : 188 - 308 Kp/cm²
R. Compresión simple (margas alteradas) : 1,5 - 4,5 Kp/cm²
R.Q.D. medio : 66 %
Angulo de rozamiento interno (margas alteradas) : 28°
Angulo de rozamiento interno (margas sanas) : 25°
Cohesión (margas alteradas) : 0,05 Kp/cm²
Módulo de deformación (margas alteradas) : 100-200 kg/cm²
Módulo de deformación (margas sanas) : 10.000 Kp/cm²
Coeficiente de Poissen (margas alteradas) : 0,3
Coeficiente de Poissen (margas sanas) : 0,1

Hinchamiento Lambe : Marginal

Así mismo, se dispone de datos referentes al nivel de alteración mezclado con materiales cuaternarios (suelo de alteración); cuyos valores de resistencia y compactación se han agrupado con las margas alteradas (S.S.).

El resto de ensayos (identificación y estado) se resumen a continuación :

CUADRO RESUMEN DE CARACTERISTICAS GEOTECNICAS

(Margas alteradas + Materiales cuaternarios)

- Clasificación : CL
- % pasa tamiz N° 200 : 23-89 %
- Límite líquido : 31,2 - 45
- Índice de plasticidad : 14-41,1
- Humedad : 11,2 % - 21,3 %
- Densidad seca : 0,84 - 2,13 gr/cm²
- Contenido en carbonatos : 26-49,6 %
- Contenido en sulfatos : Nulo

A grandes rasgos; se puede decir que se trata de una roca blanda de rápida alteración, lo que favorece la presencia de un perfil de alteración importante que se compartan como suelos de consistencia Firme y dura (Según NTE-CEG 1975); con una expansividad definida como marginal.

Los afloramientos donde se observa la roca sana, presentan un índice de calidad regular, con resistencia bastante elevada.

- Características constructivas

. Cimentación :

En función de los valores de la resistencia al corte, resistencia a compresión simple y parámetros de deformabilidad, se han calculado las presiones admisibles, en los términos que establece la Metodología, para los suelos superficiales de alteración de las margas.

Las presiones admisibles calculadas para profundidad de cimentación mínima de 1,5-2 m, que corresponde al nivel superficial reblandecido o saturado, generalmente varían para las margas alteradas (de consistencia muy firme o dura casi siempre) entre 1,3 y 3 kp/cm². En las margas sanas, según los valores orientativos que se dan en el Código inglés pueden considerarse presiones admisibles entre 6 y 10 kp/cm², posiblemente superiores dada en resistencia a compresión superior en muchos casos a los 100 kp/cm² pero que para edificios habituales suponen valores suficientes. No obstante, como norma general, para edificios altos o cuando se prevean fuertes cargas concentradas, se requerirá un estudio de resistencia y deformabilidad.

El tipo de cimentación a emplear depende del espesor del horizonte alterado y de su grado de alteración. Se supone por otra parte, que la edificación carece de sótanos, que obligan a efectuar la excavación del terreno y pueden cambiar totalmente el planteamiento de la elección.

Con mayor probabilidad la cimentación será de tipo superficial (zapatas o losa) o semiprofunda, mediante pozos. Para edificios bajos, de menos de seis alturas, la cimentación, en general, podrá realizarse mediante zapatas; para alturas superiores se deberá o bien recurrir a losa si la capacidad portante del terreno se sitúa en torno a 1,5 Kp/cm², o bien deberán buscarse niveles resistentes más profundos en cuyo caso se deberá recurrir a cimentación semiprofunda (mediante pozos) siempre que esos niveles se encuentren entre 3 y 6 m. de profundidad. Ocasionalmente, puede ser necesario el empleo de pilotes si el espesor de margas alteradas es superior en el punto considerado. El empleo de losa de cimentación puede ser particularmente adecuado cuando en el área ocupada por el edificio se produzcan variaciones notables en el espesor del horizonte alterado, que den lugar a asentamientos diferenciales inadmisibles si se pretendiera cimentar mediante zapatas aisladas; por otra parte, la cimentación por losa es una solución costosa para edificios bajos (6-8 plantas).

El contenido en sulfatos de los materiales de esta zona es prácticamente despreciable por lo que no se esperan problemas de agresividad; tampoco de afluencia de agua a las excavaciones.

Entre los problemas de cimentación puede considerarse :

- Variaciones importantes del espesor del horizonte compresible, que dan lugar a asientos diferenciales inadmisibles.
- Presencia de niveles de arcillas blandas intercaladas entre margas sanas que pueden causar fenómenos de punzonamiento.
- Presencia de niveles de areniscas no ripables que dificulten la excavación.

Excavabilidad :

Las zonas alteradas son suelos Medios-Duros, fácilmente excavables.

Las margas sanas presentan una ripabilidad variable, entre ripable y no ripable.

Estabilidad de taludes

Los taludes naturales son estables, únicamente presentan el problema de la alteración de las margas que progresivamente van deteriorando el talud, observándose abundantes acarcavamientos. Los taludes artificiales, en las margas alteradas producirán flujos de barro y deslizamientos, mientras que los que se efectuen en margas sanas presentará con el tiempo un deterioro progresivo, así mismo es posible la existencia de cuñas.

Aptitud para explanadas de carreteras

En general son suelos no aptos, que precisarán la extensión sobre ellos de una explanada mejorada.

- Zona III₅

Localización : Aflora en los alrededores de la Peña de Izaga y en el límite occidental de la Hoja, encontrándose intersectado por la falla de Beriain. Regionalmente se conoce a esta unidad como "Margas de Ilundain".

Características litológicas : Están formadas por un conjunto muy heterogéneo de margas grises nodulosas con intercalaciones centimétricas de niveles de calcarenitas.

Características geotécnicas : Al igual que las "Margas de Pamplona", estos niveles se encuentran bien caracterizadas dado que se disponen de numerosos ensayos.

El comportamiento geotécnico es similar al de las "Margas de Pamplona", por este motivo los criterios constructivos son los mismos que se comentaron para la Zona III₄.

No obstante se ha optado por diferenciarlas dado que se disponen de ensayos puntuales para la caracterización geotécnica, además de atender a criterios morfológicos y litológicos.

Los ensayos que se han consultado se resumen a continuación :

CUADRO RESUMEN DE CARACTERISTICAS GEOTECNICAS

Clasificación : CL (Arcillas de baja plasticidad)

Densidad seca : 1,80 - 2,4 gr/cm³

% pasa tamiz N° 200 : 29 % - 98 %

Limite líquido : 33-47

Indice de plasticidad : 13-32

Humedad : 8,3 % - 13,5 %

Contenido en carbonatos : 29 % - 44 %

Contenido en sulfatos : 0,08 - 43,7 %

Densidad Proctor : 1,64 - 1,9 gr/cm³

Humedad óptima : 10,7 - 21,6 %

Indice CBR : 7

R. Compresión simple : 22

Angulo de rozamiento interno : 42°

Cohesión : 1,35 Kp/cm²

Hinchamiento Lambe : No crítico

Se trata de una roca blanda de rápida alteración, lo que facilita que presente un importante perfil de alteración y que se comporte como un suelo de consistencia firme y dura (según NTE-CEG. 1975) con la expansividad definida como no crítica.

Características constructivas :

Cimentación :

En función de los valores de la resistencia al corte, resistencia a compresión simple y parámetros de deformabilidad, se han calculado las presiones admisibles, en los términos que establece la Metodología, para los suelos superficiales de alteración de las margas.

Las presiones admisibles calculadas para profundidad de cimentación mínima de 1,5-2 m, que corresponde al nivel superficial reblandecido o saturado, generalmente varían para las margas alteradas (de consistencia muy firme o dura casi siempre) entre 1,3 y 3 kp/cm². En las margas sanas, según los valores orientativos que se dan en el Código inglés pueden considerarse presiones admisibles entre 6 y 10 kp/cm², posiblemente superiores dada en resistencia a compresión superior en muchos casos a los 100 kp/cm² pero que para edificios habituales suponen valores suficientes. No obstante, como norma general, para edificios altos o cuando se prevean fuertes cargas concentradas, se requerirá un estudio de resistencia y deformabilidad.

El tipo de cimentación a emplear depende del espesor del horizonte alterado y de su grado de alteración. Se supone por otra parte, que la edificación carece de sótanos, que obligan a efectuar la excavación del terreno y pueden cambiar totalmente el planteamiento de la elección.

Con mayor probabilidad la cimentación será de tipo superficial (zapatas o losa) o semiprofunda, mediante pozos. Para edificios bajos, de menos de seis alturas, la cimentación, en general, podrá realizarse mediante zapatas; para alturas superiores se deberá o bien recurrir a losa si la capacidad portante del terreno se sitúa en torno a 1,5 Kp/cm², o bien deberán buscarse niveles resistentes más profundos en cuyo caso se deberá recurrir a cimentación semiprofunda (mediante pozos) siempre que esos niveles se encuentren entre 3 y 6 m. de profundidad. Ocasionalmente, puede ser necesario el empleo de pilotes si el espesor de margas alteradas es superior en el punto considerado. El empleo de losa de cimentación puede ser particularmente adecuado cuando en el área ocupada por el edificio se produzcan variaciones notables en el espesor del

horizonte alterado, que den lugar a asientos diferenciales inadmisibles si se pretendiera cimentar mediante zapatas aisladas; por otra parte, la cimentación por losa en una solución costosa para edificios bajos (6-8 plantas).

En algunos sectores el espesor del horizonte alterado es más reducido. La ejecución de cimentaciones requerirá un acondicionamiento previo del terreno (desmontes) en función de sus condiciones topográficas y el tipo de cimentación más probable será el superficial.

En algunas zonas aparecen cantidades importantes de anhidrita, lo que provoca agresividad a los hormigones.

Entre los problemas de cimentación puede considerarse :

- Variaciones importantes del espesor del horizonte compresible, que dan lugar a asientos diferenciales inadmisibles.
- Presencia de niveles de arcillas blandas intercaladas entre margas sanas que pueden causar fenómenos de punzonamiento.
- Presencia de niveles de areniscas no ripables que dificulten la excavación.

Excavabilidad :

Las zonas alteradas son suelos Medios-Duros, fácilmente excavables.

Las margas sanas presentan una ripabilidad variable entre ripables y no ripables.

Estabilidad de taludes

Los taludes naturales son estables, únicamente presentan el problema de la alteración de las margas que progresivamente van deteriorando el talud, observándose abundantes acaravamientos. Los taludes artificiales, en las margas alteradas producirán flujos de barro y deslizamientos, mientras que los

que se efectuen en margas sanas presentará con el tiempo un deterioro progresivo, así mismo es posible la existencia de cuñas.

. Aptitud para explanadas de carreteras

En general son suelos no aptos, que precisarán la extensión sobre ellos de una explanada mejorada.

- Zona III₆

Localización : Esta zona se extiende por la vertiente occidental de la Peña de Izaga y en el límite occidental de la Hoja. Con un máximo desarrollo en las proximidades de Iza. Se han denominado Margas Fajeadas.

Características litológicas : Está formado por un conjunto de lutitas rojas y lutitas margosas, alternando con niveles de limos y areniscas.

Características geotécnicas : No se disponen de ensayos de laboratorio, además de la escasez de afloramientos.

Las observaciones de campo indican que se trata de unas margas muy alteradas que prácticamente se comportan como un suelo de consistencia media.

Características constructivas :

. Cimentación :

Para un cálculo a nivel de anteproyecto se pueden considerar los valores que establecen las diferentes Normas y Códigos.

Así el Código de Práctica Británico, establece para este tipo de material una presión admisible entre 1,5 y 3 Kp/cm³, esperándose asientos de consolidación a largo plazo.

Si consideramos la Norma DIN 1054, para una zapata corrida de 0,5 a 2 m. de ancho, se admite la carga admisible entre 1,6 y 3,6 Kp/cm², para una profundidad de 1,5 m.

. Excavabilidad

Son materiales fácilmente excavables.

. Estabilidad de taludes

En los taludes naturales se han observado numerosos fenómenos de inestabilidad, que dan lugar a deslizamientos del tipo rotacional.

En los taludes artificiales deberán disponerse las medidas correctoras adecuadas.

. Aptitud para explanadas de carreteras

En general, son suelos no aptos, que precisarán la extensión sobre ellos de un explanada mejorada.

- Zona III₇

Localización : Sus afloramientos son similares a los descritos para la zona III₆, en la Peña de Izaga y en el límite occidental de la Hoja. Regionalmente se las conoce como Areniscas de Galar.

Características litológicas : Se trata de un conjunto de arenas y areniscas de grano fino, alternando niveles limosos y margosos dolomíticos.

Características geotécnicas : No se disponen de ensayos de laboratorio que permitan caracterizar el material.

Las observaciones de campo permiten considerar a estas rocas de resistencia moderada ($q_u = 200-600 \text{ Kp/cm}^2$). Según HOEK & BRAY, su descripción correspondería a una roca moderadamente dura.

Cualquier estudio de detalle que precise la definición geomecánica del macizo rocoso deberá atender a la caracterización completa de las discontinuidades (orientación, continuidad, espaciado, abertura, relleno, rugosidad), con especial atención a la localización de zonas laminadas o intercalaciones margosas.

Características constructivas :

. Cimentación :

De acuerdo con los valores orientativos que dan la norma DIN 1054 y el Código de Práctica Británico, pueden considerarse, también con carácter orientativo, presiones admisibles del orden de 20 Kp/cm².

Para edificios habituales, con cargas máximas de unos 3-4 Kp/cm², la resistencia del terreno es suficiente.

. Excavabilidad

La ripabilidad de los materiales vendrá condicionada por la fracturación, siendo en general no ripables.

. Estabilidad de taludes

Los taludes naturales son estables, mientras que en los artificiales la estabilidad viene condicionada por el diaclasado y disposición de los estratos.

. Aptitud para explanada de carreteras

Pueden constituir explanada tipo E-3.

- Zona III₈

Localización : Aflora en el vértice nor-oriental de la Hoja, formando parte de la Peña de Izaga y en el vértice nor-occidental.

Características litológicas : Está formado por un conjunto de arcillas, yesos y niveles de areniscas.

Características geotécnicas : No se dispone de ensayos de laboratorio que permitan caracterizar el material. Las observaciones de campo permiten considerar al conjunto de estos materiales como de resistencia baja, que hace que se comporten prácticamente como un suelo.

Es frecuente observar fenómenos de deslizamientos que ligado a la disolución de los yesos, hace que sea un material con características geotécnicas muy problemáticas.

Es importante resaltar los mencionados problemas de disolución de los yesos, además de la notable agresividad tanto del terreno como de las aguas superficiales que por él circulan.

Características constructivas :

. Cimentación

Para un cálculo a nivel de anteproyecto, se pueden considerar los valores que establecen los diferentes códigos.

Así tenemos que el Código de Práctica Británico admite, en este tipo de terreno, una presión admisible entre 1,5 y 3 Kp/cm, esperándose asentamientos de consideración a largo plazo.

La norma DIN 1054, indica una presión admisible entre 1,5 y 3 Kp/cm², para una zapata corrida de 0,5 a 2 m de ancho y una profundidad de 2 m.

Como se ha señalado anteriormente será importante tomar medidas contra la agresividad del terreno.

. Excavabilidad

Son materiales fácilmente ripables.

. Estabilidad de taludes

Se han observado fenómenos de inestabilidad en las laderas que dan lugar a deslizamientos.

Aptitud para explanada de carreteras

No son materiales aptos, precisarán la extensión sobre ellos de una explanada mejorada.

- Zona III₉

Localización : Esta zona se extiende por el vertice sur-oriental y en menor extensión por el sur-occidental de la Hoja.

Características litológicas : Está formado por un conjunto de arcillas, limolitas, areniscas con intercalaciones de calizas y localmente niveles de conglomerados.

Características geotécnicas :

Se han podido recopilar datos de los niveles formados por margas rojas (sanas y alteradas) de la formación Mues y margas y arenas arcillosas de la formación Leoz. El resumen de estos ensayos se expone en el siguiente cuadro.

CUADRO RESUMEN DE LAS CARACTERISTICAS GEOTECNICAS

FORMACION MUES

- Clasificación : CL
- % pasa Tamiz Nº 200 : 90 - 99 %
- Limite líquido : 35-48
- Indice de plasticidad : 10-18
- Humedad : 10-18 % (A); 5-71, (S)
- Densidad seca : 1,79-2,3 gr/cm³ (A); 2,2-2,55 gr/cm³ (S)
- Contenido en carbonatos : 13,5 % (A)
- Contenido en sulfatos : Apreciable
- Densidad Proctor : 1,67 - 1,77 gr/cm³ (A)
- Indice CBR : 1,3 - 2,1 (A)
- R. Compresión simple : 2-2,9 Kp/cm² (A); 115 Kp/cm² (S)
- Indice R.Q.D. : 55 % (S)
- Angulo de rozamiento interno : 26° (A), 22° (S)
- Cohesión : 0 Kp/cm² (A); 11,5 Kp/cm² (S)
- Módulo de deformación : 6300 Kp/cm³ (A); 2233 Kp/cm²
- Coeficiente de Poisson : 0,3 (S y A)

FORMACION LEOZ

- Clasificación : CL
- % pasa Tamiz Nº 200 : 80.93 % (MA)
- Límite líquido : 23-43 (M-A)
- Indice de plasticidad : 16-24 (M-A)
- Humedad : 5 - 5,9 % (M)
- Densidad seca : 2,38 - 2,45 gr/cm³ (M)
- Contenido en carbonatos : 20 % (M-A)
- Contenido en sulfatos : Apreciable (M-A)
- Densidad Proctor : 1,8 gr/cm³ (M-A)
- Humedad óptima : 12,5 % (M-A)
- Indice CBR : 5,5 (M-A)
- R. Compresión simple : 60 Kp/cm² (M)
- Indice R.Q.D. : 35 % (M)
- Angulo de rozamiento interno : 26° (M-A), 302° (M)

- Cohesión : 6 Kp/cm² (M-A)
- Módulo de deformación : 100 Kp/cm³ (M-A); 5000 Kp/cm² (M)
- Coeficiente de Poisson : 0,3 (M)

(A) : Estado alterado

(S) : Estado sano

(M) : Margas

(M-A) : Margas y arenas arcillosas

En conjunto se pueden considerar como materiales arcillosos de baja plasticidad (CL), si bien igualmente aparecen niveles detríticos que no se encuentran caracterizados por no disponer de ensayos.

El sustrato margoso presenta una resistencia baja (f_n : 60-200 Kp/cm²) y los materiales que aparecen en la zona de alteración presentan una consistencia definida como Muy Firme, según la Norma Tecnológica de edificación (NTE-CEG).

No se dispone de datos, que permitan valorar el hinchamiento; aunque parece lógico que se encuentren en el campo definido, en el ensayo Lambe, como no crítico-marginal.

Hay que destacar la presencia de sulfatos, por lo que deberán utilizarse hormigones especiales contra la agresividad; tanto del terreno como de las aguas superficiales.

Características constructivas :

. Cimentación

En función de los valores de resistencia al corte y resistencia a compresión simple; se han estimado las presiones admisibles que se pueden aplicar.

Para las margas alteradas de la Formación Mues y margas y arenas arcillosas de la Formación Leoz, a una profundidad de cimentación mínima entre 1,5 y 2 metros, se pueden aplicar presiones admisibles entre 1,3 y 3 Kp/cm², cálculo efectuado para una zapata corrida de 0,5 a 2 m de ancho.

Por su parte, en el sustrato margoso, de ambas formaciones y utilizando los criterios del Código de Práctica Británico, se pueden aplicar presiones admisibles entre 6 y 10 Kp/cm².

Entre los problemas de cimentación pueden considerarse :

- Variación del horizonte alterado; que pueden provocar asientos diferenciales.
- Alterancia de materiales detríticos, que da lugar a una heterogeneidad en las condiciones geotécnicas.
- Presencia de sulfatos, que obliga a la utilización de hormigones especiales.
- Presencia de niveles de areniscas, calizas y microconglomerados, que pueden dificultar la excavación.

Excavabilidad

Los materiales que constituyen perfiles de alteración son fácilmente excavables, mientras que el sustrato margoso presenta variaciones entre ripable y no ripable.

Estabilidad de taludes

Los taludes naturales son estables, con pequeñas inestabilidades debido al diferente grado de competencia entre estratos.

En los taludes artificiales que se efectúan en las margas se producirán un deterioro progresivo del talud, por alteración del material.

Aptitud para explanada de carreteras

En general, de los materiales que se disponen ensayos, son inadecuados y tolerables.

Normalmente son suelos no aptos para explanada, por lo que precisarán la extensión sobre ellos de una explanada mejorada.

- Zona III₁₀

Localización : Afloran en el sector occidental de la Hoja y forman parte de la Sierra del Perdón.

Características litológicas : Se trata de una serie monótona de conglomerados de cantos redondeados de caliza, areniscas y ocasionalmente de cuarzo, ofitas y rocas metamórficas.

Características geotécnicas : No se dispone de ensayos en este tipo de materiales.

La característica principal, es su elevada cementación, lo que hace que se comporten como una verdadera roca.

Las observaciones de campo permiten identificar esta roca como de dureza elevada.

Cualquier estudio de detalle que precise la definición geomecánica del macizo rocoso deberá atender a la caracterización completa de las discontinuidades.

Características constructivas :

. Cimentación :

De acuerdo con los valores orientativos que de la norma DIN 1054 y el Código inglés, se pueden alcanzar presiones admisibles superiores a 10 Kp/cm².

. Excavabilidad

Son materiales no ripables, debiéndose emplear explosivos para su excavación.

. Estabilidad

Los taludes naturales son estables, la estabilidad de los artificiales vendrá condicionada por sus discontinuidades.

. Aptitud para explanada de carreteras.

Se podrá conseguir una explanada E-3.

- Zona III₁₁

Localización : Esta zona aflora en el límite occidental de la Hoja, siguiendo las directrices de la zona anterior.

Características litológicas : Está formado por arcillas, limos, areniscas y calizas, en proporciones variables.

Características geotécnicas : Se trata, en general, de un conjunto de materiales de fina granulometría, es decir abundan las arcillas y limos.

De las arcillas se dispone de ensayos de laboratorio, cuyas características se resumen a continuación :

CUADRO RESUMEN DE CARACTERISTICAS GEOTECNICAS

Clasificación : CL (Arcillas de baja plasticidad)

Densidad seca : 1,08 - 1,75 gr/cm³

% pasa tamiz N° 200 : 67 - 96 %

Límite líquido : 20,7 - 50 %

Indice de plasticidad : 5,3 - 32,6

Humedad : 11,2 % - 20,8 %

Contenido en carbonatos : 39,1 - 47 %

Contenido en sulfatos : Inapreciable

Densidad Proctor : 1,84 gr/cm³ - 1,90 gr/cm³

Humedad óptima : 12,6 % - 13,8 %

Indice CBR : 3,1 - 13

R. Compresión simple : 1,75 - 2,46 Kp/cm²

Módulo de deformación : 100 Kp/cm²

Coefficiente de Poisson : 0,3

Angulo de rozamiento interno : 25°

Cohesión : 0,1 Kp/cm²

Coefficiente Lambe : No crítico

En general se trata de arcillas de consistencia Dura y de baja plasticidad.

Características constructivas :

. Cimentación

Con los valores que se disponen de ensayos de laboratorio y aplicando los diferentes Códigos y Normas, se puede ejercer cargas admisibles entre 1,5 y 3 Kp/cm², esperandose asientos de consolidación a largo plazo.

. Excavabilidad

Son materiales facilmente excavables.

. Estabilidad de taludes

No existen afloramientos para poder precisar su comportamiento.

En taludes artificiales se puede producir un deterioro progresivo del talud.

Aptitud para explanadas de carreteras

En general no son aptos, debiéndose proceder a mejorar la explanada con la extensión de material seleccionado.

5.3.4.4.- Area IV

- Zona IV₁

Localización : Sus afloramientos se encuentran distribuidos por toda la Hoja, alcanzando un mayor desarrollo a lo largo del río Elorz y las vertientes de la Sierra del Perdón.

Características litológicas : Está formado por un conjunto de bloques, gravas, arenas y arcillas distribuidas entre depósitos coluvionares de la Sierra del Perdón y aluvionares del río Elorz y sus afluentes.

Características geotécnicas : Como se ha descrito anteriormente, se han agrupado dentro de esta zona todos los depósitos cuaternarios, denominándose en la cartografía como cuaternario indiferenciado, del que se dispone de un buen número de ensayos y cuyo resumen es el siguiente :

CUADRO RESUMEN DE CARACTERISTICAS GEOTECNICAS

Clasificación : Variables (GM, G, C, SC y CL)

Densidad seca : 1,54 - 2,57 gr/cm³

% pasa tamiz N ° 200 : 19 % - 97 %

Limite líquido : 20 - 56

Indice de plasticidad : 4 - 31

Humedad : 10 % - 24 %

Contenido en carbonatos : 0,04 % - 51,3 %

Contenido en sulfatos : Inapreciable - 0,04

Densidad Proctor : 1,68 - 1,98 gr/cm³

Humedad óptima : 9,2 % - 20,2 %

Indice CBR : 15 - 25

R. Compresión simple : 0,34 - 4,52 Kp/cm²

Hinchamiento Lambe : 0,11 - 0,36

Son materiales muy variables litológicamente con diferentes grados de compacidad y resistencia.

Características constructivas :

Cimentación :

Existe una amplia gama de valores en función del subsuelo donde se prevé cimentar.

A falta de ensayos geotécnicos puntuales considerando los valores que aparecen en las diferentes Normas y Códigos se pueden diseñar cargas admisibles variables entre 1 y 5 Kp/cm² dependiendo de que se trate de un limo de consistencia rígida o una grava de compacidad alta.

Igualmente, en los depósitos aluviales, deberá contemplarse, en el momento de diseñar la cimentación, la posición del nivel freático y sus posibles variaciones, que pueden dar lugar a subpresiones sobre las obras de cimentación.

Cuando se trata de depósitos coluviales, se aconseja llevar la cimentación al sustrato rocoso.

Excavabilidad

En general son todos, fácilmente excavables.

Estabilidad de taludes

Los taludes naturales en depósitos de terraza se mantienen estables, las artificiales, en ausencia del nivel freático, se mantienen verticales con alturas pequeñas 2-3 m, para mayores alturas deben proyectarse 3 H: 4 V, tomando eventualmente medidas correctoras.

Los taludes artificiales, en material aluvial, cuando está por encima del nivel freático se mantienen estables, si se corta el nivel freático se producen desmoronamientos.

Por último en material coluvial, se aconseja no sobrepasar los 30°.

Aptitud para explanadas de carreteras

Los depósitos de terraza se consideran entre Aptos y Marginales, los materiales aluviales son marginales y el material que constituye coluviones se considera no apto.

6.- BIBLIOGRAFIA

ADAN DE YARZA, R.

1918

Descripción físico-geológica del País Vasco-Navarro. Geografía General del País Vasco Navarro.

t.1., pp. 1-86. 49 fig., 1 mapa geol. 1:800.000, Barcelona

ADARO

1988

Investigación y evaluación de mineral en el área de Javier-Los Pintano.

Informe para Potasas de Subiza, S.A.

ARENAS, C.; PARDO, G.; VILLENA, V.

1990

Las unidades tectosedimentarias del margen septentrional de la Depresión del Ebro en el sector Luesia-Riglos

Geogaceta nº 8

pp. 92-94

AZANZA, B.; CANUDO, J.L.; CUENCA, G.

1988

Nuevos datos bioestratigráficos del Terciario continental de la Cuenca del Ebro

II Congreso Geológico de España, Granada, vol. 1. pp. 261-264.

BARNOLAS, A.; SAMSO, J.M.; TEIXELL, S.A.; TOSQUELLA, J. Y ZAMORANO, M.

1991

Evolución sedimentaria entre la cuenca de Graus-Tremp y la cuenca de Jaca-Pamplona.

I Congreso Grupo Español del Terciario, Libro-Guia Excursión n 1, Vic, 1991, 123 pp.

BARNOLAS, A. Y TEIXELL, A.

1992

La cuenca surpirenaica de Jaca como ejemplo de cuenca de antepais marina profunda con sedimentación carbonática en el margen distal.

Simposio sobre Geología de los Pirineos, III Congr. Geol. de Esp. Salamanca 9 pp.

BERTRAND, L.

1911

Sur la structure géol. des Pyrénées occid. et leurs relations avec les Pyrénées orient. et cent.;
essai d'une carte struct. Pyrén.

Bull. Soc. Géol. France, 4 sér., 11, pp. 122-153, 6 figs., 1 pl., Paris

C.G.S.

1990

Estudio hidrogeológico de la unidad sur. Sector de Subiza-Guirguillano

Informe para el Gobierno de Navarra

CAMARA, P.; KLIMOWITZ, J.

1985

Interpretación geodinámica de la vertientes centro-occidental surpirenaic

Estudios geológicos nº 41 391-404.

CANUDO, J.L.; MOLINA, E.; RIVELINE, J.; SERRA-KIEL, J. y SUCUNZA, M.

1988

Les événements biostratigraphiques de la zone prépyréenne d'Aragon (Espagne), de l'Eocén
moyen a l'Oligocène inférieur.

Rev. de Micropl., 31.

CASTIELLA, J.; SOLE, J. y DEL VALLE J.

1978

Memoria Explicativa de la Hoja 1:200.000. Mapa Geológico de Navarra.

Servicio Geológico, Diputación Foral de Navarra.

CASTIELLA, J.; SOLE, J.; NINEROLA, S.; OTAMENDI, A.

1982

Las aguas subterráneas en Navarra. Proyecto hidrogeológico

Diputación Foral de Navarra, 230 pp.

CAVELIER, C.

1968

L'Eocene superieur et la base de L'Oligocene en Europe occidentale

Memoire du BRGM, Colloque sur L'Eocene.

CIRY, R.

1951

Observations sur le Crétacé de la Navarre espagnole au nord-ouest de Pamplone.

C.R. Acad. Sc., 233, pp. 72-74, Paris.

CIRY, R. y MENDIZABAL, J.

1949

Contribution á l'etude du Cenomanien et du Turonien des confins septentrionaux des provinces de Burgos, d'Alava et Navarra.

Ann. Hebert et Hang (livre Jub. Charles Jacob). T.7, pp. 61-79

COLOM, G.

1945

Estudio preliminar de las microfaunas de foraminiferos de las margas eocenas y ologocenas de Navarra.

Est. Geol. nº 2 pp. 33-84. Madrid.

CORPAS, J.R.

1991

Guia de Navarra.

Ed. El Pais-Aguilar, 231 pp., Madrid

CRUSAFONT, M.; TRUYOLS, J.; RIBA, O.

1966

Contribución al conocimiento de la estratigrafia del Terciario continental de Navara y Rioja

Not. y Com. del IGME, num. 90, pp 53-76.

CHAVEZ, A.; NEURDIN, R.; MAROCCO, J.; DELFAUD, J.

1985

Sedimentary organization of the upper Eocene deep sea fan (Tubidi tas de Yesa) of Sangüesa

6th Europ Meeting of Sedimentology IAS-Lleida 84-87.

DEL VALLE, A.

1932

Descubrimiento de la cuenca potásica de Navarra

Notas y comunicaciones del IGME, vol. IV.

DEL VALLE, J.

1993

Acuíferos de la Cuenca de Pamplona

Inédito

DEL VALLE, J. y PUIGDEFABREGAS, C.

1978

Mapa Geológico de España. E. 1:50.000, 2ª ser., Hoja nº 141. Pamplona

IGME

DELFAUD, J.

1969

Essais sur la géologie dynamique du domaine aquitano-pyrénéen durant le Jurassique et le Crétacé supérieur.

Thèse Fac. Sc. Bordeaux, 5 vol., 820 pp.

DONEZAR, M.; ILLARREGUI, M.; DEL VAL, J. y DEL VALLE DE LERSUNDI, J.

1990

Mapas de erosión actual y erosión potencial en Navarra, a escala 1:200.000.

Inst. Suelo y Conc. Parc. de Navarra y I.T.G.E.

FACI, E.; CASTIELLA, J.; DEL VALLE, J.; GARCIA, A.; DIAZ, A.; SALVANY, J.M.; CABRA, P. y RAMIREZ, J.

1992

Actualización del Mapa Geológico de Navarra a escala 1:200.000

Gobierno de Navarra.

FEUILLEE, P.

1964

Sur l'âge cénomanien des calcaires à Caprines des Pyrénées basques occidentales.

C.R. Somm. Soc. Géol. France, 1964, 2, pp. 90-92, 1 fig., Paris.

FEUILLEE, P.

1965

Contribution à la connaissance du Crétacé moyen du Nord et de l'Oueste de la Navarre espagnole.

Actes 4º Congrès Intern. Etudes Pyrénéennes, Pau-Lourdes, 11,16 sept.1962, 1, sect.1, pp.

FROUTE J.Y.

1988

Le role de l'accident d'Estella dans l'histoire géologique Cretace superieur a Miocene des Navarra-Alavais.

These. Universite de Pau

GARCIA SIÑERIZ, J.

1943

La cuenca potásica subpirenaica. C.S.I.C. Primera Reunión del Patronato de la Estación de Estudios Pirenaicos.

Agosto 1943, p. 37-52

HERNANDEZ, A.; RAMIREZ, J.K.; RAMIRES DEL POZO, J. y PUIGDEFABREGAS, C.

1987

Mapa Geológico de España, E. 1:50.000, 2ª Ser., Hoja nº 3 173 Tafalla.

IGME.

HERNANDEZ SAMPELAYO, P.

1933

El flysch en Yesa, Navarra y Comunicados del IGME.

HOTTINGER, L.

1961

Acerca de las Alveolinas paleocenas y eocenas

N. y C. IGME, nº 64, p. 37, Madrid.

LABAUME, P.

1983

Evolution tectono-sedimentaire et megaturbidites du bassin turbiditique eocene sud-pyrénéen.

These 3 éme cicle, USTL, Momtpellier, 170 p.

LABAUME, P.; MUTTI, E.; SEGURET, M. Y ROSELL, J.

1983

Megaturbidites carbonatées du bassin turbiditique d l'Eocene inferieur et moyen sud-pyrénéen.

Bull. Soc. Géol. France, (6), 25 pp.

LABAUME, P.; MUTTI, E.; Y SEGURET, M.

1987

Megaturbidites : A Depositional Model From the Eocene of the SW-Pyrenean Foreland Basin
Geo-Marine. Letters 7 pp. 91-101.

LABAUME, P., SEGUETE, M. Y SYEVE, C.

1985

Evolution of a turbidite foreland basin an analogy with an accretionary prism : Example of the
Eocene South-Pyreneas basin.

Tectonics 4 pp. 661-68.

LAMARE, P.

1927

Sur la structure des Pyrénées navarraïsses.

C.R. XIV^o Congr. Geol. Intern., T. 2, p. 693-698, Madrid.

LAMARE, P.

1931

Sur l'age des couches á facies flysch de la zone sudpyrénéenne en Navarra.

C.R. Somm. S.G.F., 4 mai 1931, 9-10, 107-109, Paris.

LEON, I.; MARROCCO, R.; NEURDIN, J.; DELFAUD, J.

1985

The tidal-flat of the Sangüesa zone, Uppermost Eocene (Areniscas de Liedana Formation) of
the South Pyrenean Basin of Jaca-Pam.

6th European Reg. Meeting of Sediment. IAS, Lleida-85, pp.248-251 (Abstract.)

LEON, L.

1972

Síntesis paleogeográfica y estratigráfica del Paleoceno del Norte de Navarra. Paso al Eoceno.

Bol. Inst. Geol. Min. España t. 83, pp. 234-241, Madrid.

LEON, L.; PUIGDEFABREGAS, C.; RAMIREZ DEL POZO, J.

1971

Variaciones sedimentarias durante el Eoceno medio en la Sierra de Andia (Navarra)

Acta Geol. Hispanica T. 4, vol. 2, pp. 36-41.

LEON, L.

1985

Etude sedimentologique et reconstitution du cadre geodynamique de la sedimentation detritique fini Eocene-Oligocene sud Pyrweneen.

These. Universite de Pou.

MANGIN, J.P.

1965

Le segment Basco-Aagonais dún Front Sud-Pyrénéen

Actes IV Congrès Intern. Etudes Pyrénéennes Pu-Lourdes, 11-16, Set. 1962, 1 (1), pp. 69-73, 1 fig., Toulouse.

MENDIZABAL (y CINCUNEGUI, M.)

1932

Nota acerca de la extensión del Oligoceno en Navarra

Información de carácter geológico, 2ª Región N. y C. del IGME, núm. 4. pp. 140-142.

MENSUAS, S.

1960

La Navarra media oriental. Estudio geográfico.

Inst. Principe de Viana, Dep. Geol. Aplic. Zaragoza, Serv. Reg. 8, 186, pp., 40 figs. y 25 lámens.

MUTTI, E.; LUTERBACHER, H.; FERRER, J. Y ROSELL, J.

1972

Schemas stratigrafico e lineament. facies del paleog. marino della zona cent. Sudpirenaica tra Tremp (Catalogna) e Pamplona (Nav.).

Mem. Soc. Gel. Ital., 11 : 391-416.

MUTTI, E.; REMACHA, E.; SGAVETTI, M.; ROSELL, J.; VALLONI, R. y ZAMORANO, M.

1985

Stratigraphy and facies characteristics of the Eocene Hecho. Group turbidite systems. South-central Pyrenees.

In : M.D. Milá y J. Rosell eds : 6th European Regional Meeting I.A.S. y Lleida.

ORTI CABO, F.; ROSELL ORTIZ, L. y PUEYO MUR, J.J.

1984

Cuenca evapor. (potásica) surpir. del Eoc. sup. Aportac. para una interpr. deposit. Libro Homenaje a L. Sánchez de la Torre.

Publicaciones de Geología, nº 20. Universitat Autònoma de Barcelona, p. 209-231.

ORTI, F.; SALVANI, J.M.; ROSELL, L.; PUEYO, J.J.; INGLES, M.

1986

Evaporitas antiguas (Navarra) y actuales (Los Monegros⁹ de la Cuenca del Ebro. Guia de las Excursiones del XI Congreso Español de Sedimentología. Barcelona.

ORTI CABO, F.; SALVANY, M.

1986

Programa de investigación de las formaciones evaporíticas en Navarra. Memoria proyecto. Gob. Navarra Vol. 1, Est. Geol. 121 pp.; Vol. 2 Est. Geoecon., 125 pp., 2 anejos (inédito).

ORTI CABO, F.; PUEYO MUR, J.; ROSELL ORTIZ, L.

1985

La halite du bassin potassique sud-pyrénéen (Eocene supérieur)

Bull. Soc. Geol. France, t.l.

nº 6.

PEÑA, J.L. et al

1984

Geomorfología de la provincia de Teruel

149 pp. Instituto de Estudios Turolenses

PELUG, R.

1973

El diapiro de Estella (traducción de J. GOMEZ DE LLARENA)

Rev. MUNIBE. Soc. Cien. Nat. ARANZADI, año XXV, núm. 2-4 pp. 171-202, San Sebastián.

PLAZIAT, J.C.

1969

La transgr. de l'Eocene moyen en Haut Arag. et Nav. et son role dans la defin. des grandes ensembles struct. en domaine subpy.

94º Cong. National del Societe savants. Pau 1969. Sciences vol. 2, pp. 293-304.

POSUSA

1988

Investigación y evaluación del mineral en el área de Javier-Los Pintano. Trabajo elaborado por ADARO.

Informe interno.

PUIGDEFABREGAS

1975

La sedimentación molásica en la cuenca de Jaca

Tesis Doctoral. Pirineos, 104

PUIGDEFABREGAS, C. y SOLER, M.

1973

Estructura de las Sierras Exteriores Pirenaicas en el corte del río Gallego (prov. de Huesca).

Pirineos, 109 : 5-15.

RAMIREZ DEL POZO, J.

1971

Bioestratigrafía y microfácies del Jurásico y Cretácico del Norte de España (región cantábrica)

Mem. Inst. Geol. M.E. 78 (3 vol.) 357 p., 141 lám., Madrid.

REMACHA, E.

1983

Sand tongues de la Unidad de Broto (Grupo de Hecko) entre el anticlinal de Boltaña y el Río Osca (Prov. de Huesca).

Tesis Doct. Univ. Autónoma de Barcelona, 163 p.

REMACHA, E.; ARBUÉS, P. y CARRERAS, M.

1987

Precisiones sobre los límites de la secuencia deposicional de Jaca. Evolución de las facies desde la base de la secuencia hasta el techo de la arenisca de Sabiñánigo.

Bol. Geol. y Min. 98, pp 40-48.

REMACHA, I. y PICART, J.

1991

El complejo turbidítico de Jaca y el delta de la arenisca de Sabiñánigo. Estratigrafía. Facies y su relación con la tectónica.

I Congreso del Grupo Español del terciario, Libro Guía excursión nº 8. Vic. 117 pp.

RIBA, O. y PEREZ MATEOS, J.

1962

Sobre una inversión de aportes sedimentarios en el borde Norte de la cuenca Terciaria del Ebro (Navarra)

II Reunión del Grupo Español de Sedimentología. Sevilla.

RIOS GARCIA, J.M.

1948

Diapirismo

Bol. del IGME, T. 60 (20 de la 3ª serie), p. 155-238, 43 fig. 4 plan.

RIOS, J.M.

1963

Materiales salinos del suelo español

IGME, Mem. 64, 161 pp.

RIOS, J.M.; ALMELA, A. y GARRIDO, J.

1944

Datos para el conocimiento estratigráfico y tectónico del Pirineo Navarro

Notas y com. Inst. Geol. y Min. España. 13 (1944) : 141-164; 14 (1945) : 139-198; 16 (1946) : 57-119.

ROBADOR, A.

1990

Early Stratigraphy

In : Introduction to early Paleogene of the South Pyrenean basin. Field Trip guidebook. I.G.C.P. Project 286 (Early Paleogene Benthos). IUGS-UNESCO, Chap. 2.

ROJAS, B.; FERNANDEZ VARGAS, E. y LATORRE, E.

1973

Investigación de la Reserva de Potasas subpirenaicas Enadimsa.

ROSELL ORTIZ, L. y ORTI CABO, F.

1980

Presencia de analcima y observ. diagenét. en la anhidrita basal de la cuenca potás. de Nav. (Eoceno sup., cuenca del Ebro, España).

Rev. Inst. Inv. Geol. Dip. Barcelona, 34: 223-235.

ROSELL ORTIZ, L. y ORTI CABO, F.

1981

The Saline (Potash) Formation of the Navarra Basin (Upper Eocene, Spain).

Petrology. Rev. Inst. Inv. Geol. Dip. Prov. Barcelona, 35 : 71-121.

ROSELL ORTIZ, L. y PUEYO MUR, J.J.

1984

Características geoquímicas de la formación de sales potásicas de Navarra (Eoceno superior).

Comparación con la cuenca potásica catalana. Acta Geol. Hispánica, 19:81-95.

ROSELL, J. y PUIGDEFRABREGAS, C.

1975

The sedimentary evolution of the Paleogene south Pyrenean basin.

IAS 9 th. International Congress. Nice, July 1975.

ROSELL ORTIZ, J.

1983

Estudi petrològic, sedimentològic i geoquimic de la formació de sals potàssiques de Navarra (Eocé superior).

Tesis Doctoral. Universidad de Barcelona, 321 p.

RUIZ DE AGONA, M.

1947

Nota preliminar. El Bartonense en la cuenca de Pamplona.

N. y C. IGME., nº 17, p. 159-166, Madrid.

SCHUMM, J.

1977

The fluvial sistem

N.Y. London. Wiley & Sons.

SOLE SEDO, J.

1972

Formación de Mues : Litofacies y procesos sedimentarios
Tesis de Licenciatura. Fac. de Ciencias de la Universidad de Barcelona (inédita).

SOLER, M. y PUIGDEFRABREGAS, C.

1970

Líneas generales de la geología del Alto Aragón Occidental
Pirineos, 96

SOUQUET, P.

1967

Le Crétace Supérieur sud-pyrénéen en Catalogne, Aragon et Navarre
Thèse Doct. Sc. Nat. Arch. Orig. Centre Docum. C.N.R.S. Nr. 1.351, 488 p., 13 cartes, 86 pl.,
Toulouse 1967 (édit privat., 529, p., 29 pl. Toulouse, 1967).

TEIXELL CACHARO, A.

1992

Estructura Alpina en la transversal de la terminación occidental de la zona Axial Pirenaica.
Tesis Doctoral, Departamento de Geología Dinámica, Geofísica y Paleontología.
Facultad de Geología, Universitat de Barcelona.

VAIL, P.R.; AUDEMARD, F.; EISNER, P.N. % PEREZ CRUZ, G.A.

1990

Stratigraphic signatures separating tectonic, eustatic and sedimentologic effects on sedimentary
sections.
AAPG Annual Convention, San Francisco. AAPG. Bul.

VAN DE VELDE, E.

1967

Geology of the Spanish Pyrenees, North of Canfranc, Huesca province.
Est. Geol.