



Gobierno de Navarra

Departamento de Obras Públicas,
Transportes y Comunicaciones

CARTOGRAFÍA GEOLÓGICA DE NAVARRA

ESCALA 1:25.000

HOJA 115-III

GULINA

MEMORIA

La presente Hoja y Memoria, ha sido realizado por "Informes y Proyectos, S.A. (INYPSA)", durante los años 1994 y 1995, 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

Galán Pérez, G. Dirección del Proyecto

Autores y Colaboradores (INYPSA)

Díaz de Neira, J.A. Cartografía y Memoria

García de Domingo, A. Cartografía, Memoria e Hidrogeología

Cabra Gil, P. Geomorfología y Cuaternario

Solé Pont, J. Sedimentología

Gil Gil, J. Informática Geológica y Geotecnia

Matos Marcos, L.M. Informática Geológica

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	1
2. ESTRATIGRAFIA	4
2.1. MESOZOICO	4
2.1.1. Triásico.....	4
2.1.1.1. Dolomías y calizas (107). Facies Muschelkalk. Triásico medio.....	5
2.1.1.2. Arcillas yesíferas abigarradas (109). Facies Keuper. Triásico superior.....	6
2.1.1.3. Análisis secuencial del Triásico	6
2.1.2. Cretácico.....	7
2.1.2.1. Margas micáceas oscuras (140). Aptiense - Cenomaniense inferior	7
2.1.2.2. Calizas arrecifales masivas (133). Margas con intercalación de calizas margosas y margas (139). Aptiense - Albiense	8
2.1.2.3. Margas y margocalizas (154). Cenomaniense.....	9
2.1.2.4. Calizas margosas y margas (156). Turoniense - Coniaciense inferior.....	10
2.1.2.5. Calizas (158). Coniaciense.....	10
2.1.2.6. Calizas margosas y margas (161). Santoniense.....	11
2.1.2.7. Margocalizas y margas (186). Campaniense	12
2.1.2.8. Margocalizas y margas (190). Maastrichtiense	12
2.1.2.9. Margas (189). Maastrichtiense	13
2.1.2.10. Análisis secuencial del Cretácico	13
2.2. TERCIARIO.....	15
2.2.1. Daniense - Montiense	15
2.2.1.1. Calizas y calizas con intercalaciones margosas (207). Daniense - Montiense	15
2.2.1.2. Calizas bioclásticas (206). Dolomías (203). Daniense - Montiense	16
2.2.1.3. Análisis secuencial del Daniense - Montiense.....	17
2.2.2. Thanetiense - Ilerdiense.....	18
2.2.2.1. Calizas y margocalizas con intercalaciones margosas (215). Margas (214). Thanetiense - Ilerdiense	18
2.2.2.2. Análisis secuencial del Thanetiense - Ilerdiense	19
2.2.3. Cuisiense - Biarritziense inferior.....	19
2.2.3.1. Margas y calizas margosas (216). Alternancia de calizas y margas (217). Cuisiense - Luteciense	19
2.2.3.2. Alternancia de areniscas y arcillas (nivel 40). Cuisiense - Luteciense.....	20
2.2.3.3. Calcarenitas y margas (237). Luteciense	21
2.2.3.4. Margas (238). Luteciense	21
2.2.3.5. Margocalizas y margas (239). Luteciense - Biarritziense inferior	21
2.2.3.6. Margas (254). Luteciense	22

2.2.3.7.	Calizas y margas (257). Luteciense - Biarritziense inferior	23
2.2.3.8.	Margas (258). Luteciense - Biarritziense inferior	23
2.2.3.9.	Calcarenitas (260). Luteciense - Biarritziense inferior.....	24
2.2.3.10.	Análisis secuencial del Cuisiense - Biarritziense inferior	25
2.2.4.	Biarritziense	25
2.2.4.1.	Calizas y margas (261). Biarritziense	26
2.2.4.2.	Calcarenitas, margas y calizas margosas (262). Margocalizas y margas (265). Turbiditas de Izcue. Biarritziense	26
2.2.4.3.	Margas (263). Calcarenitas (264). Biarritziense.....	28
2.2.4.4.	Margas, limolitas y calcarenitas (266). Biarritziense.....	28
2.2.4.5.	Margas (267). Margas de Pamplona. Biarritziense.....	29
2.2.4.6.	Calcarenitas y margas (270). Turbiditas de Huarte. Biarritziense	30
2.2.4.7.	Calcarenitas (271). Biarritziense.....	30
2.2.4.8.	Análisis secuencial del Biarritziense	30
2.3.	CUATERNARIO	31
2.3.1.	Pleistoceno - Holoceno	31
2.3.1.1.	Arcillas de descalcificación (523). Fondos de dolina. Pleistoceno - Holoceno	31
2.3.1.2.	Gravas, arenas y arcillas (518). Glacis de acumulación. Pleistoceno	31
2.3.1.3.	Gravas, arenas y arcillas (niveles 508, 524 y 525). Terrazas. Pleistoceno - Holoceno 32	
2.3.1.4.	Arcillas, gravas y arenas (519). Glacis de cobertera. Pleistoceno - Holoceno	32
2.3.2.	Holoceno.....	33
2.3.2.1.	Gravas, arenas y arcillas (535). Abanicos aluviales. Holoceno	33
2.3.2.2.	Arcillas, arenas y gravas (543). Coluviones. Holoceno	33
2.3.2.3.	Gravas, arenas y arcillas (536). Conos de deyección. Holoceno	33
2.3.2.4.	Arcillas, arenas y gravas (537). Aluvial - coluvial. Holoceno	34
2.3.2.5.	Limos, arenas y gravas (526). Llanuras de inundación. Holoceno.....	34
2.3.2.6.	Brechas calcáreas (548). Canchales. Holoceno	34
2.3.2.7.	Arcillas, gravas y arenas (545). Deslizamientos. Holoceno	35
2.3.2.8.	Gravas, arenas y limos (527). Fondos de valle. Holoceno	35
3.	TECTÓNICA.....	36
3.1.	CONSIDERACIONES GENERALES	36
3.2.	DESCRIPCION DE LAS PRINCIPALES ESTRUCTURAS	37
3.2.1.	Discordancias	37
3.2.2.	Pliegues	38
3.2.3.	Fallas y cabalgamientos	39
3.2.4.	Diapiros	41
3.3.	CRONOLOGIA DE LA DEFORMACION	42

4. GEOMORFOLOGIA	45
4.1. DESCRIPCION FISIOGRAFICA	45
4.2. ANTECEDENTES	46
4.3. ANALISIS MORFOLOGICO	46
4.3.1. Estudio morfoestructural	47
4.3.2. Estudio del modelado	48
4.3.2.1. Formas fluviales	48
4.3.2.2. Formas de ladera (gravedad - vertiente)	50
4.3.2.3. Formas cársticas	51
4.3.2.4. Formas poligénicas	52
4.3.2.5. Formas antrópicas	53
4.4. FORMACIONES SUPERFICIALES	53
4.5. EVOLUCION GEOMORFOLOGICA	56
4.6. PROCESOS ACTUALES	58
5. PETROLOGIA	60
5.1. ROCAS IGNEAS	60
5.1.1. Rocas subvolcánicas (1). Ofitas	60
6. HISTORIA GEOLOGICA.....	61
6.1. EL CICLO HERCINICO.....	61
6.2. EL CICLO ALPINO	61
7. GEOLOGIA ECONOMICA	67
7.1. RECURSOS MINERALES.....	67
7.1.1. Minerales metálicos	67
7.1.1.1. Cinc.....	67
7.1.1.2. Hierro	67
7.1.2. Sustancias energéticas.....	67
7.1.2.1. Asfalto	68
7.1.3. Minerales y rocas industriales	68
7.1.3.1. Caliza	68
7.1.3.2. Gravas	68
7.1.3.3. Margas.....	69
7.1.3.4. Ofita	69
7.1.4. Explotaciones activas.....	70
7.1.5. Interés potencial de los recursos minerales	70
7.2. HIDROGEOLOGIA	71

7.2.1.	Descripción de las formaciones	72
7.2.1.1.	Dolomías y calizas. Facies Muschelkalk. Triásico medio	72
7.2.1.2.	Arcillas yesíferas abigarradas. Facies Keuper. Triásico superior	72
7.2.1.3.	Arcillas y margas con intercalaciones de calizas margosas y areniscas. Aptiense - Maastrichtiense	72
7.2.1.4.	Calizas arrecifales. Aptiense - Albiense.....	73
7.2.1.5.	Calizas margosas y margas. Turoniense - Santoniense.....	73
7.2.1.6.	Calizas. Coniaciense.....	73
7.2.1.7.	Calizas y margas. Daniense - Ilerdiense	74
7.2.1.8.	Calizas y dolomías. Daniense - Montiense.....	74
7.2.1.9.	Margas. Thanetiense.....	75
7.2.1.10.	Margas y alternancia de margas y calizas con calcarenitas. Cuisiense - Luteciense.....	75
7.2.1.11.	Calizas y margas. Luteciense.....	75
7.2.1.12.	Margas, margocalizas y calcarenitas. Biarritziense	76
7.2.1.13.	Calcarenitas, calizas y margas. Luteciense - Biarritziense	76
7.2.1.14.	Calcarenitas. Biarritziense.....	76
7.2.1.15.	Cuaternario. Formaciones superficiales.....	77
7.2.2.	Unidades acuíferas	78
7.2.2.1.	Calizas arrecifales cretácicas.....	78
7.2.2.2.	Calizas del Cretácico superior.....	79
7.2.2.3.	Calizas del Luteciense	79
7.2.2.4.	Calizas del Biarritziense.....	80
7.2.2.5.	Formaciones permeables del Cuaternario	81
7.3.	GEOTECNIA	82
7.3.1.	Introducción	82
7.3.2.	Metodología.....	82
7.3.3.	Zonación geotécnica	84
7.3.3.1.	Criterios de división	84
7.3.3.2.	División en Areas y Zonas Geotécnicas.....	84
7.3.4.	Características geotécnicas.....	86
7.3.4.1.	Introducción	86
7.3.5.	Area II.....	93
7.3.6.	Area III.....	107
7.3.7.	Area IV	117
8.	BIBLIOGRAFIA.....	127

1. INTRODUCCIÓN

La Hoja a escala 1:25.000 de Gulina (115-III), incluida en la Hoja a escala 1:50.000 de Ansoáin (115), se encuentra situada en el sector noroccidental navarro, concretamente en la confluencia entre la comarca de La Ulzama (NE), la sierra de Aralar (NO), la sierra de Andía (O) y la denominada Cuenca de Pamplona (S) (Fig. 1).

Esta diversidad de dominios geográficos se plasma en una notoria diversidad morfológica. Así, en el sector occidental, caracterizado por sus formas abruptas, correspondientes a las estribaciones orientales de la sierra de Andía, se encuentran las principales elevaciones de la Hoja, destacando el monte Saldise y el paraje Churregui, ambos ligeramente por encima de 1.120 m. La terminación suroriental de la sierra de Aralar, escasamente representada, ofrece igualmente relieves abruptos, pero de mucha menor entidad, con máximos cercanos a 700 m.

El sector septentrional está integrado por una serie de elevaciones menores, que suponen un tránsito entre las sierras anteriores y la comarca de La Ulzama. Por último, la Cuenca de Pamplona se caracteriza por formas suaves y alomadas que contrastan con los relieves circundantes; en ella se localizan las cotas mínimas, concretamente en el valle del río Araquil, con menos de 400 m.

La red fluvial está integrada por una serie de afluentes del río Arga que, a grandes rasgos, discurren de N a S; de entre ellos destacan los ríos Justapeña, Larraun y, muy especialmente, Araquil.

La región se encuentra moderadamente poblada, con numerosos núcleos de escasos habitantes, entre los que cabe destacar Berrioplano, Marcaláin, Erice e Izurdiaga, en cualquier caso con menos de 500 habitantes. Pese a ello, en el sector suroriental se deja sentir la proximidad de Pamplona cuya influencia se manifiesta a través de cierta actividad industrial. No obstante, la principal ocupación de la población son las actividades rurales, fundamentalmente la agricultura.

La Hoja posee una buena red de comunicaciones, basada en el ferrocarril Alsasua-Pamplona y, especialmente, en un denso sistema de carreteras, de entre las que destaca la autopista A-15 (Pamplona - San Sebastián) que la atraviesa de SE a NO.

Desde un punto de vista geológico, la Hoja se localiza en la confluencia entre el Pirineo occidental y la Cuenca Vasco-Cantábrica (Fig. 2). A grandes rasgos, el orógeno pirenaico se caracteriza por un cinturón de pliegues y cabalgamientos de orientación E-O, desarrollados entre el Cretácico superior y el Mioceno inferior como resultado de la convergencia entre las placas Ibérica y Europea; presenta una elevada simetría con respecto a su franja central, denominada Zona Axial, integrada fundamentalmente por rocas plutónicas y materiales paleozoicos, que constituyen el zócalo regional. Flanqueando a la Zona Axial se disponen las Zonas Nor y Surpirenaica, constituidas por materiales mesozoicos y paleógenos intensamente plegados, que integran la cobertera. Esta última zona cabalga sobre la Depresión del Ebro, cuenca de antepaís rellena por sedimentos neógenos postorogénicos.

En cuanto a la Cuenca Vasco-Cantábrica, tradicionalmente ha sido considerada como un sector marginal de la cadena pirenaica, estando constituida por materiales mesozoicos y paleógenos moderadamente deformados, que muestran cierta similitud con los de la Zona Norpirenaica. Diversos trabajos previos han subdividido la Cuenca Vasco-Cantábrica en tres dominios, atendiendo fundamentalmente a criterios estratigráficos y estructurales: Bloque Santanderino, Bloque Alavés y Arco Vasco. Su límite con el Pirineo occidental coincide con un accidente transversal a la cadena, de dirección NE-SO, conocido como falla de Pamplona (o de Estella-Elizondo), cuyo reflejo superficial es la alineación de diapiros navarros. Dicho accidente no supone un límite arbitrario, ya que a ambos lados del mismo se aprecia una importante variación de las características estratigráficas y estructurales de los materiales aflorantes.

La estructura de la Hoja está condicionada fundamentalmente por la presencia de la falla de Pamplona, cuya traza superficial está marcada por los diapiros de Ollo y Anoz, así como por la terminación oriental de la sierra de Aralar. Al E de la falla afloran materiales característicos de la Zona Surpirenaica, en tanto que al O de la misma las series corresponden a la Cuenca Vasco-Cantábrica, estando representados el Arco Vasco (sierra de Aralar) y el Bloque Alavés (sierra de Andía), cuyo límite en la zona es arbitrario. Quizá el rasgo más característico de la Hoja corresponde a las manifestaciones diapíricas existentes: Ollo, Anoz e Iza, las dos últimas con dirección transversal a la falla de Pamplona (Fig. 3).

La cartografía de la presente Hoja está basada en la realizada por CARBAYO et al., para la DIPUTACION FORAL DE NAVARRA, habiendo sido actualizada en base a criterios estructurales y sedimentarios fundamentalmente.

Son muy numerosos los trabajos de carácter general que pueden encontrarse en la literatura regional acerca de la Cuenca Vasco-Cantábrica y el Pirineo, tal como puede apreciarse en el capítulo correspondiente a bibliografía, si bien no puede afirmarse otro tanto de los que afectan de forma específica al territorio ocupado por la Hoja, una buena parte de los cuales se centran en el estudio de los materiales jurásicos de la Sierra de Aralar. De entre todos ellos, han sido del máximo interés para la realización del presente trabajo los elaborados por: CARBAYO et al. (1978), con motivo de la realización de la Hoja geológica a escala 1:50.000 de Gulina (115) correspondiente al Plan MAGNA; MARTINEZ TORRES(1989), que en su tesis doctoral aborda el estudio de las estructuras existentes en el tránsito entre el Pirineo occidental y el Arco Vasco; y PUJALTE et al. (1994) que realizan un detallado tratamiento secuencial y bioestratigráfico de los materiales del intervalo Cretácico superior - Eoceno medio.

2. ESTRATIGRAFIA

Los materiales aflorantes en la Hoja de Gulina (115-III) presentan un registro estratigráfico muy incompleto, con una serie continua entre el Aptiense y el Eoceno medio, junto a la que aparecen materiales triásicos y depósitos cuaternarios.

El Triásico aparece representado por arcillas yesíferas abigarradas depositadas en ambientes litorales, correspondientes a la facies Keuper, aflorando exclusivamente en relación con masas diapíricas. Englobadas en las arcillas aparecen calizas y dolomías de ambientes marinos, atribuidas a la facies Muschelkalk y masas irregulares de rocas subvolcánicas denominadas tradicionalmente “ofitas”.

Los depósitos cretácicos se encuentran ampliamente representados en el sector septentrional, fundamentalmente por depósitos calizo-margosos de plataforma. La mayor superficie de afloramiento corresponde a materiales paleógenos del intervalo Daniense - Biarritziense, en los que predominan las calizas de ambientes de plataforma que evolucionan hacia el E a depósitos margoso-calizos turbidíticos y de talud.

Por lo que respecta a los materiales cuaternarios, su representación es muy variada, destacando por su superficie los sistemas de terrazas y glacis del sector suroriental.

2.1. MESOZOICO

Está constituido por depósitos triásicos y cretácicos, sin que pueda determinarse la presencia o ausencia del intervalo Jurásico - Cretácico inferior en el sustrato de la Hoja.

2.1.1. Triásico

La serie triásica está representada por dos de sus tres litotipos clásicos: facies Muschelkalk y Keuper. Sus afloramientos corresponden a los diapiros de Ollo, Anoz e Iza. Su sustrato no es visible, pero en el macizo de Quinto Real, la facies Muschelkalk se apoya concordantemente sobre los depósitos detríticos de la facies Buntsandstein. En cuanto a su techo, tampoco es visible en la Hoja, pero sí en el ámbito de la sierra de Aralar, donde sobre la facies Keuper se dispone concordantemente la serie

carbonatada jurásica. No obstante, al E de dicha sierra, son materiales cretácicos los que se apoyan sobre el conjunto triásico, si bien en algunos casos no es posible precisar la naturaleza mecánica o discordante de su contacto; en cualquier caso, dentro de la Hoja no es posible confirmar que unidad se dispone estratigráficamente sobre el techo de la serie triásica.

2.1.1.1. Dolomías y calizas (107). Facies Muschelkalk. Triásico medio

Afloran exclusivamente en relación con el diapiro de Anoz donde aparecen bajo el típico aspecto de pequeñas masas englobadas en las arcillas de la facies Keuper. Por ello, tan solo es posible realizar observaciones parciales de la unidad.

A grandes rasgos, se trata de una sucesión de dolomías y calizas tableadas y en bancos, de tonos oscuros, cuyo espesor máximo se aproxima a 70 m. El único corte completo de la unidad en las proximidades de la Hoja ha sido descrito en el puerto de Belate (EWERT, 1965), donde se ha señalado la existencia de tres tramos: inferior, constituido por 35 m de dolomías y calizas en bancos gruesos; medio, con 9,5 m de calizas laminadas; y superior, integrado por 10 m de calizas y margas dolomíticas. Las observaciones llevadas a cabo han permitido la identificación de calizas dolomíticas en bancos gruesos de aspecto uniforme, dolomías tableadas de aspecto pulverulento, calizas en bancos gruesos de aspecto masivo, así como calizas tableadas con Lamelibránquios. Al microscopio aparecen como micritas, micritas biogénicas, dolomías y calizas recristalizadas.

La naturaleza de los afloramientos no permite precisiones sedimentológicas de la unidad, que parece haberse depositado en ambientes de plataforma somera. En cualquier caso, la tendencia transgresiva que reflejan los tramos basales de la unidad con respecto a los ambientes continentales de la facies Buntsandstein infrayacente, parece invertirse posteriormente, como sugiere el tránsito de los niveles margoso-dolomíticos terminales a las arcillas yesíferas suprayacentes, pertenecientes a la facies Keuper y que reflejan condiciones litorales de tipo sebkha.

En lámina delgada, los niveles calizos aparecen fundamentalmente como micritas (> 90%), con presencia ocasional de fósiles (< 7%) y cuarzo (1%). En cuanto a los

niveles dolomíticos, se trata de dolomicritas (80-85%) con cemento esparítico (15-20%).

El contenido fosilífero no permite precisar la edad de la unidad que, tentativamente, se ha asignado al Triásico medio.

2.1.1.2. Arcillas yesíferas abigarradas (109). Facies Keuper. Triásico superior

Presentan tres extensos afloramiento en relación con los diapiros de Olo, Anoz e Iza. Su deficiente calidad, debida a una intensa tectonización, así como a su naturaleza litológica, con predominio de arcillas rojas y arcillas abigarradas con yesos, dificulta notablemente su reconocimiento en campo e imposibilita la determinación de su espesor aproximado.

Aunque el carácter diapírico de algunos afloramientos de la facies Keuper en la región, ofrece reservas considerables (Lizaso, Echalecu), en la Hoja de Gulina parece evidente, debido fundamentalmente a la deformación que muestran los materiales circundantes. Este hecho es claramente visible en diversos puntos, siendo uno de los más accesibles el corte de carretera localizado al O de Anoz.

No es posible realizar estudios sedimentológicos sobre la presente unidad, que regionalmente se ha enmarcado en un contexto litoral de tipo sebkha, en condiciones de aridez que favorecerían la acumulación de evaporitas.

Su carácter azoico no permite precisión cronológica alguna, aunque de forma tentativa se ha atribuido al Triásico superior, si bien los últimos episodios de éste se encuentran representados en zonas próximas por materiales carbonatados tratados conjuntamente con la serie jurásica.

2.1.1.3. Análisis secuencial del Triásico

Pese a las imprecisiones relativas a la interpretación sedimentológica de las facies Muschelkalk y Keuper, ya aludidas, es posible señalar la existencia de tres ciclos sedimentarios principales dentro de la serie triásica.

El Ciclo Inferior está representado por los niveles carbonatados de aspecto masivo correspondientes a la base de la facies Muschelkalk, que suponen la culminación de un evento transgresivo iniciado bajo el régimen continental típico del depósito de la facies Buntsandstein.

Coincidiendo con la aparición de los niveles tableados de la facies Muschelkalk, dio comienzo un ciclo regresivo en el que las facies mareales fueron sustituidas de forma progresiva por facies más litorales, en un ambiente árido que favoreció la acumulación de evaporitas características de la facies Keuper.

En un momento impreciso del depósito de ésta se produjo un nuevo impulso transgresivo culminado por la sedimentación carbonatada propia del Triásico terminal y del Jurásico.

2.1.2. Cretácico

Corresponden al Cretácico una buena parte de los afloramientos de sector septentrional, pese a lo cual escasean los cortes de calidad, destacando entre ellos los de Izurdiaga y Urrizola.

A grandes rasgos, pueden distinguirse tres conjuntos de muy desigual representación: calizas arrecifales del Aptiense - Albiense, constituyentes del dominio de Aralar, calizas y margas de plataforma que abarcan el intervalo Albiense - Maastrichtiense, y margas relacionadas con depósitos turbidíticos, aflorantes en el ángulo nororiental de la Hoja.

2.1.2.1. Margas micáceas oscuras (140). Aptiense - Cenomaniense inferior

Presentan únicamente dos afloramientos de calidad deficiente, debido a su naturaleza esencialmente margosa. Dan lugar a relieves suaves y alomados que contrastan con los relieves destacados del Cretácico superior en el anticlinal de Sollaondi, pero que resultan difíciles de separar de los afloramientos campanienses adyacentes en el sector del arroyo Gambelondo.

Se trata de un conjunto de margas de color gris oscuro, azulado y ocre, con esporádicos niveles lumaquéllicos; su base no aflora, en tanto que su techo posee carácter gradual, con un progresivo enriquecimiento calcáreo. El espesor aflorante, que no puede considerarse máximo, se encuentra comprendido entre 150 y 200 m.

En zonas próximas se han señalado la presencia de granoselección positiva, laminación paralela y ripples, que denuncian su origen turbidítico.

Son muy abundantes las Orbitolinas y los Braquiópodos; la asociación de *Ammobaculites subcretacea*, *Centrothycere lenticulata*, *Cythereis luermaunae*, *Haplophragmoides concavus*, *Orbitolina concava quatarica* y *O. texana texana*, señala el Albiense superior, si bien la unidad ha sido atribuida al Aptiense - Cenomaniense inferior de acuerdo con la edad asignada en el conjunto de la Hoja a escala 1:50.000 de Ansoáin (115).

2.1.2.2. Calizas arrecifales masivas (133). Margas con intercalación de calizas margosas y margas (139). Aptiense - Albiense

Constituyen el armazón de la sierra de Aralar, cuya representación en la Hoja es mínima, estando restringida a una pequeña zona al NO de Gulina. En ella, son característicos los resaltes calcáreos de naturaleza bioconstruida intensamente carstificados, correspondientes al Complejo Urgoniano (133), entre los que se intercalan pequeñas bandas deprimidas constituidas por materiales margosos, asimilables al Complejo Supraurgoniano (139).

Los resaltes del nivel 14 se presentan como calizas arrecifales de aspecto masivo. Predominan los boundstones con abundantes Rudistas y Orbitolinas; en algunos casos se observan depósitos de talud arrecifal integrados por calizas brechoides de Rudistas fragmentados. Más raramente aparecen facies de barras litorales organizadas en secuencias granodecrescentes de grainstones y rudstones con granos de cuarzo, así como niveles de retrabajamiento de montículos de Rudistas.

En cuanto a las intercalaciones correspondientes al nivel 15, se trata de margas oscuras ricas en Orbitolinas con niveles de calizas margosas nodulosas. Albergan abundantes restos asfálticos e intercalaciones canalizadas de calcarenitas con

estratificación bimodal y wave ripples. Corresponden a zonas interiores protegidas por los arrecifes, con eventuales aportes siliciclásticos y bioclásticos por corrientes mareales.

La sedimentación del Complejo Urgoniano se llevó a cabo en un ámbito de plataforma somera, con aportes detríticos (139), que al disminuir permitirían la construcción de los arrecifes (133).

La presencia de *Palorbitolina lenticularis* y *Choffatella decipiens* en los niveles inferiores, así como la de *Hensonina lenticularis* a techo, permite enmarcar el conjunto de ambas unidades en el intervalo Aptiense - Albiense.

Los estudios petrográficos han señalado el predominio de biomicritas y biomicritas pelletíferas, con variaciones notables del contenido micrítico (47-80%), fosilífero (12-35%) y pelletífero (< 20%), y presencia ocasional de cuarzo (< 6%) e intraclastos (< 7%).

2.1.2.3. Margas y margocalizas (154). Cenomaniense

Se trata de un nuevo conjunto de afloramiento deficientes, cuyo mejor corte se localiza en Izurdiaga. Está constituido por una alternancia de margas azuladas y margocalizas nodulosas con pátina amarillenta, dispuestas en niveles de 20 a 30 cm. Su base posee carácter gradual y se manifiesta a través de un enriquecimiento en niveles margocalizos, prácticamente ausentes en la unidad infrayacente (13); en cuanto a su techo, de carácter transicional igualmente, está marcado en el terreno por un ligero resalte morfológico producido por el aumento en carbonatos de la unidad suprayacente (20). Su espesor se aproxima a 200 m.

La presente unidad es correlacionable con el tradicional "flysch de bolas" (CIRY y MENDIZABAL, 1949). Su depósito corresponde a un medio de depósito de plataforma externa profunda a cuenca.

Son muy abundantes los restos microfaunísticos, entre los que se encuentran *Rotalipora reicheli* MONOD, *R. turonica* BROTZEN, *R. cushmani* (MORROW), *Praeglobotruncana stephari* (GANDOLFI) y *Arenobaculites parvispira* TEN-DAM, que permiten datar la unidad como Cenomaniense.

2.1.2.4. Calizas margosas y margas (156). Turoniense - Coniaciense inferior

Aflora a lo largo de una estrecha banda que con dirección próxima a E-O se localiza en el sector noroccidental. Proporciona un resalte sobre el terreno, con respecto a la unidad inferior (154), pero por contra, la unidad suprayacente (158) destaca con respecto a ella, evidenciándose un enriquecimiento en carbonatos al ascender en la serie estratigráfica; ambos límites, inferior y superior, son graduales.

Se trata de una alternancia monótona de calizas margosas grises de aspecto noduloso, estratificadas en bancos gruesos, intercaladas con finos niveles margosos grises y beige. En general, se aprecia una mayor proporción del contenido margoso hacia la base, así como una pérdida del carácter noduloso de las margocalizas hacia el techo. El espesor de la unidad se aproxima a 150 m.

Pese a las escasas estructuras sedimentarias observadas, su depósito se atribuye a una plataforma externa muy profunda - cuenca, culminando una breve tendencia transgresiva.

Entre los restos faunísticos hallados se encuentran *Praeglobotruncana helvetica* BOLLI, *P. stephani turbinata*, *Hedbergella paradubia*, *Gaudryna laevigata* y *Valvulina bullata*, que permiten enmarcar la unidad en el Turoniense - Coniaciense inferior.

Al microscopio, los niveles calizo-margosos aparecen como biomicritas, con una fauna planctónica que llega al 95% de la microfauna.

2.1.2.5. Calizas (158). Coniaciense

Constituyen el resalte morfológico más destacado del Cretácico superior, estando integrado por un conjunto de calizas masivas o en bancos gruesos, de 50 m de potencia. El límite inferior coincide con la desaparición de las intercalaciones margosas del tramo infrayacente, que se produce de modo progresivo. En cuanto al techo, coincide con un banco de caliza nodulosa de 50 m, sobre el que se dispone un tramo margoso correspondiente a la unidad suprayacente; el carácter neto del contacto y la presencia del nivel noduloso sugieren que se trata de un límite secuencial.

Se interpretan como depósitos de plataforma externa distal de cierta profundidad e hidrodinamismo bajo, que hacia el techo muestran los efectos progradantes de las facies más proximales.

La presencia de *Preaglobotruncana stephani*, *Gaudryna laevigata*, *Allomorphira* cf. *allomorphinoides* y *Valvulina bulata* han señalado una edad Coniaciense para la unidad.

Los estudios petrográficos han señalado el predominio de biomicritas, con un elevado contenido fosilífero (25-30%) y cuarzo subordinado (< 5%), dentro del predominio micrítico (65-75%). En menor medida se han observado biopelmicritas, así como restos carbonosos.

2.1.2.6. Calizas margosas y margas (161). Santoniense

Sobre el resalte anterior, se dispone un conjunto calizo margoso cercano al centenar de metros de espesor, que a su vez destaca en el relieve con respecto a la unidad suprayacente (186), de la cual se encuentra separada mediante un contacto neto que supone un brusco aumento del contenido margoso.

La unidad comienza mediante una alternancia de margas y finos niveles de calizas margosas de aspecto noduloso; el espesor de los tramos margosos disminuye progresivamente, de forma que la mitad superior de la unidad está constituida fundamentalmente por los niveles calizos, lo que le confiere un aspecto más compacto, culminando mediante un banco de calizas nodulosas que parece constituir un límite secuencial.

Pese a la escasez de estructuras sedimentarias, la unidad se ha atribuido a un ambiente de plataforma externa proximal.

La presencia de *Globotruncana concavata primitiva*, *G. lapparenti tricarinata*, *G. concavata concavata*, *Neofabellina rugosa* y *Pseudovalvulineria* cf. *costata*, entre la abundante fauna hallada, han permitido asignar la unidad al Santoniense.

Al microscopio se aprecia un predominio de biomicritas, con un moderado contenido micrítico (60-70%) y alto de fósiles (10-20%), glauconita (<10%) y cuarzo (<10%).

2.1.2.7. Margocalizas y margas (186). Campaniense

Poseen una representación superficial muy superior a la de las unidades cretácicas anteriores, dando lugar a terrenos de morfologías suaves y deprimidas, con deficientes condiciones de observación debido a la práctica ausencia de cortes, que en cualquier caso poseen carácter parcial.

Se trata de una monótona serie margosa de tonos azulados y amarillentos ligeramente superior a 200 m de espesor, en la que se intercalan esporádicos niveles de margocalizas de orden decimétrico. Su límite inferior es neto, coincidiendo con la desaparición de los niveles calizo-margosos santonienses, en tanto que el superior es mucho menos acusado, apreciándose exclusivamente un ligero incremento en la proporción de intercalaciones margocalizas.

Son escasas las estructuras sedimentarias observables, habiéndose interpretado en un contexto de plataforma externa distal. La presencia de *Globotruncana calcarata*, *G. ventricosa*, *G. elevata*, *G. fornicata* y *G. arca* ha permitido su asimilación al Campaniense.

2.1.2.8. Margocalizas y margas (190). Maastrichtiense

Aparecen como una zona deprimida en el terreno con respecto a los resaltes calcáreos paleocenos. Su espesor aumenta de O a E desde los 80 m del corte de Urrizola, hasta más de 200 m en el sector de Larráyoiz.

La deficiente calidad de los afloramientos impide dar una descripción detallada de la unidad, que aparece como una monótona sucesión margosa de colores variables, con intercalaciones de margocalizas de aspecto noduloso, que disminuyen su proporción hacia el E. Su límite inferior es gradual con respecto al nivel margoso Campaniense (26), en tanto que el superior es neto, coincidiendo con un marcado resalte carbonatado correspondiente a diversas unidades paleocenas.

Su depósito se interpreta en un ambiente de plataforma externa abierta que evoluciona en la vertical a un dominio interno. La presencia de *Globotruncana stuarti*, *G. rosseta*, *Rugoglobigerina rugosa*, *Navarella joaquina* y *Racenuibellina fructicosa*, que han señalado una edad Maastrichtiense.

2.1.2.9. Margas (189). Maastrichtiense

Presentan exclusivamente un reducido afloramiento en el ángulo nororiental, en relación con el núcleo del anticlinal de Etuláin, con muy baja calidad de exposición. Su límite inferior no aflora, en tanto que el superior posee carácter neto, estando marcado por la aparición de los niveles calizos paleocenos (207). En los casos en que su espesor ha podido ser determinado, se sitúa cercano a 350 m.

La base de la unidad se caracteriza por una monótona alternancia entre margas limolíticas y areniscas, dispuestas en niveles de orden centimétrico a milimétrico. Hacia techo se observa una progresiva dilución de los términos areniscosos a expensas de las margas, que llegan a constituir la única litología presente, con tonos grises característicos. La unidad culmina por medio de un tramo de margas limolíticas de típicos tonos rojizos, posiblemente como consecuencia de procesos edáficos, cuyo espesor no sobrepasa 20 m. También se observan niveles más compactos, de calizas margosas, que aparecen como biomicritas arcillosas, con un contenido micrítico alto (85-90%) y presencia de fósiles (5-10%) y cuarzo (3-6%).

Los niveles basales poseen una clara afinidad turbidítica, con base neta, laminación paralela a muro y ripples de corriente a techo. Los niveles exclusivamente margosos de la parte alta de la unidad han sido atribuidos a un contexto de prodelta, con una acusada somerización de los niveles terminales, como sugieren los enrojecimientos edáficos.

Entre la abundante microfauna hallada, se encuentra *Racemigumbellina fructicosa*, *Globotruncana contusa* y *Rugoglobigerina* sp., que permiten atribuir la unidad al Maastrichtiense superior.

2.1.2.10. Análisis secuencial del Cretácico

Desde un punto de vista secuencial, la serie Cretácica puede ser dividida en dos ciclos de orden mayor: Aptiense - Albiense y Allbiense - Maastrichtiense, cuya representación difiere notablemente.

El comienzo del ciclo Aptiense - Albiense supuso un importante evento transgresivo, instalándose una extensa plataforma somera en el dominio de Aralar, con aportes

detríticos que al disminuir su intensidad permitirían la construcción de los arrecifes urgonianos; hacia el N y E, la sedimentación tuvo lugar en una cuenca subsidente, mediante la acumulación de potente sucesiones de margas oscuras.

La fase austriaca, acaecida en el Albiense, supuso la última gran reestructuración cretácica, con la que los macizos paleozoicos se alzaron próximos a su actual situación, en tanto que la cuenca, abierta hacia O y NO, sufría un proceso de compartimentación. En este contexto, la sedimentación se reanudó en una cuenca turbidítica que en las proximidades de los relieves emergidos recibiría aportes terrígenos.

A partir del Albiense superior se uniformizó la sedimentación turbidítica en el surco, en tanto que en el sector suroccidental se producía la instalación de una plataforma abierta hacia el N. Los afloramientos de la Hoja tan solo permiten señalar la existencia de un ciclo transgresivo - regresivo para el Cretácico superior, si bien en sectores próximos se han diferenciado las siguientes secuencias:

.Cenomaniense - Coniaciense. Constituye el intervalo con mayores variaciones de espesor y de registro, condicionadas en buena medida por la distribución de surcos y umbrales en la cuenca. En el surco predominaron las facies turbidíticas de basin-plain, con términos pelíticos de carácter anóxico y capas groseras ricas en areniscas, entre las que se intercalan niveles más competentes correspondientes a complejos de canales turbidíticos encajados sobre facies de talud - rampa distal.

.Santoniense. Sus espesores presentan una mayor homogeneización que los de la secuencia infrayacente, presentándose esencialmente como depósitos turbidíticos de basin-plain, más calcareníticos que los infrayacentes. Intercalan niveles de facies turbidíticas canalizadas y, probablemente, de lóbulo.

.Campaniense - Maastrichtiense. Se caracteriza por la continuidad de la sedimentación turbidítica en el surco hasta el Maastrichtiense inferior, en que aparecen facies de rampa - plataforma distal y, posteriormente, facies prodeltaicas, consecuencia de la progradación de los ambientes de plataforma hacia el E. El contacto con el Paleoceno, discordante y erosivo, está marcado por el desarrollo de horizontes de enrojecimiento con afinidad edáfica.

2.2. Terciario

Los sedimentos terciarios, de naturaleza marina, afloran ampliamente. Su depósito se encuentra relacionado con cuatro ciclos principales: Daniense - Montiense, Thanetiense - Ilerdiense, Cuisiense - Luteciense y Biarritziense.

2.2.1. Daniense - Montiense

Aparece como un conjunto carbonatado dispuesto sobre los niveles margosos del techo de la serie cretácica. En el sector septentrional aparecen como un conjunto de calizas y margas de aspecto tableado, en tanto que en el occidental predominan las calizas bioclásticas, cuya base puede haber sufrido procesos de dolomitización.

2.2.1.1. Calizas y calizas con intercalaciones margosas (207). Daniense - Montiense

Se trata de un típico resalte morfológico, dispuesto sobre los niveles margosos maastrichtienses en buena parte del sector septentrional, si bien en algunas zonas parece haber sido erosionado por los depósitos posteriores (niveles 214, 215 y 218). El contacto entre ambas unidades es muy neto y posee carácter discordante difícil de observar debido a la naturaleza de la unidad inferior. Por lo que respecta a su límite superior, posee carácter erosivo. Su espesor varía entre 50 y 100 m.

En general, presenta buena calidad de afloramiento, pudiendo destacarse el corte del Puerto de Ataburu. A grandes rasgos, aparece como un conjunto de calizas bioclásticas grises y calizas margosas, dispuestas en niveles de orden decimétrico, que la confieren aspecto tableado; puede intercalar paquetes de brechas de apariencia masiva, de orden métrico, así como delgados niveles margosos que acentúan su aspecto tableado.

En el corte de la ermita de San Urbano, próximo a la Hoja, se reconoce un tramo inferior de 8 m de calizas tableadas, con ripples de oscilación y bases netas, apreciándose la presencia de un paquete basal de brechas calcáreas. Por encima, aparece un tramo intermedio con 15 m de brechas calcáreas con finas intercalaciones margosas. El tramo superior, de 48 m, está integrado por calizas tableadas con estratificación cruzada de bajo ángulo y ripples de oscilación, entre los que se

intercalan lags de brechas calcáreas y horizontes con nódulos de sílex. En conjunto, se atribuye a un ambiente marginal de plataforma carbonatada, con episodios de borde de talud.

Son abundantes los restos de Algas, Briozoos y microfauna, entre la que destaca *Cuvillerina vallensis*, *Globigerina triloculinoides*, *Globorotalia compressa*, *G. trinidadensis*, *Gyroidina* cf. *gyardana* y *Planorbulina antiqua*, que señalan una edad Monticense. El hallazgo de *Globigerinoides* cf. *daubjergensis* en el sinclinorio de San Bartolomé ha hecho que la unidad se enmarque en el Daniense - Monticense, aunque el Daniense tal vez esté ausente en la mayor parte de los casos como consecuencia de la erosión relacionada con los niveles brechoides montienses.

Los estudios petrográficos han señalado el predominio de micritas y biomicritas, en las que se observa la presencia de fósiles (10-20%) y cuarzo (1-2%), junto al componente micrítico (80-90%).

2.2.1.2. Calizas bioclásticas (206). Dolomías (203). Daniense - Monticense

Los bordes de los diapiros de Ollo y Anoz muestran una sucesión de calizas bioclásticas (206) intensamente deformadas, cuyos tramos inferiores pueden encontrarse dolomitizados (203). Pese a la deformación señalada, existen buenos cortes del conjunto bioclástico tanto en la carretera de Anoz a Arteta como en la cantera abandonada en la venta de Anoz.

El nivel 206 está constituido por un conjunto de calizas y calcarenitas bioclásticas de aspecto masivo cuyo espesor se aproxima a 100 m. Su límite inferior aparece mecanizado, en tanto que su techo posee carácter erosivo. Al microscopio aparecen como biomicritas y biopelmicritas, con abundantes restos de organismos constructores e incrustantes y matriz muy recristalizada.

Su depósito se interpreta en un contexto de plataforma somera con importante desarrollo de sistemas de barras litorales y bioconstrucciones, con secuencias de barras formando secuencias estratocrecientes.

Son frecuentes los restos de Algas, Corales, Miliólidos y Briozoos, así como una microfauna entre la que se han observado: *Planorbulina antiqua* MANGIN, *Rotalia trochidiformis* LAM, *Lenticulina*, *Discocyclus seunes* DOUR, *Quinqueloculina*, *Lithothamnium*, *Terquemella* y *Clypeina* cf. *merienda* ELLIOT, que permiten asignar la unidad al Daniense - Montiense.

Con frecuencia, el conjunto bioclástico ha sufrido un proceso de dolomitización que afecta a los niveles inferiores, razón por la que se ha diferenciado el nivel 203. Este, que da lugar a pronunciados escarpes en el borde del diapiro de Ollo, se presenta como un conjunto de dolomías cristalinas groseras de aspecto masivo, algo tableadas a techo, cuyo espesor se aproxima a 60 m.

La dolomitización ha borrado las características sedimentarias originales, habiéndose observado exclusivamente algún nivel masivo de geometría lenticular con sombras de estratificación cruzada de gran escala. Por su relación con los niveles no dolomíticos, su depósito se ha atribuido a una plataforma somera caracterizada por sedimentos de alto hidrodinamismo.

La microfauna preservada es escasa, habiéndose reconocido *Lithothamnium*, *Quinqueloculina*, *Idalina*, *Glomospora*, *Planorbulina antiqua* MANGIN y *Globorotalia* gr. *compressa* (PLUMMER) que permiten atribuir la unidad al Daniense - Montiense.

Al microscopio aparecen como dolomicritas, si bien en las muestras donde se ha podido observar la textura original, se han reconocido biomicritas y biopelmicritas dolomitizadas y recristalizadas.

2.2.1.3. Análisis secuencial del Daniense - Montiense

La sedimentación paleocena supone una variación con respecto al final del ciclo cretácico, cuyas últimas manifestaciones corresponden a margas con posibles rasgos edáficos. En el ámbito de la Hoja, la secuencia Daniense - Montiense se caracteriza por depósitos carbonatados de plataforma, dentro de la cual aparecen sus facies más internas en el sector occidental, donde se reconocen sistemas de barras litorales y bioconstrucciones en secuencias estratocrecientes, que posteriormente sufrirían un proceso de dolomitización parcial. Hacia el E, el depósito se produjo en un contexto de plataforma externa con esporádicos episodios de talud.

2.2.2.Thanetiense - Ilerdiense

Aunque los cambios paleogeográficos acaecidos a comienzos del Thanetiense son evidentes hacia el E de la región, debido a la aparición de potentes sucesiones turbidíticas, este hecho no es tan evidente dentro de los límites de la Hoja, donde la sedimentación persiste en un ambiente de plataforma (Fig. 4).

2.2.2.1. Calizas y margocalizas con intercalaciones margosas (215). Margas (214). Thanetiense - Ilerdiense

En torno al diapiro de Arteta, sobre el conjunto carbonatado del Paleoceno inferior, se dispone un tramo de calizas bioclásticas y calizas margosas dispuestas en niveles de orden decimétrico a métrico, cuyo espesor puede superar los 70 m (215). En el sector de Urrizola - Erroz, la unidad se apoya sobre el conjunto margoso Maastrichtiense, observándose un predominio de calizas margosas, pudiendo superarse el centenar de metros. En ambos casos, el techo de la unidad está marcado por un contraste litológico y morfológico neto, coincidente con un límite secuencial.

Hacia el sector oriental se produce un cambio por aumento en el contenido margoso, apareciendo la unidad como una alternancia rítmica de calizas margosas blanco-grisáceas y margas grises dispuestas en niveles de orden decimétrico. Con frecuencia, algunos tramos presentan el predominio de margas, que han permitido su diferenciación cartográfica (214), apareciendo en el terreno como bandas de morfología deprimida ; un buen corte del conjunto aflorante en esta zona puede observarse en el puerto de Ataburu.

Su depósito en el sector occidental se ha atribuido a ambientes de plataforma interna somera, en tanto que la presencia de slumps, debris y mud flow sugieren que en el sector oriental prevalecieron condiciones de rampa distal carbonatada, con eventuales episodios de talud.

La presencia de discocyclina discus RUT-KAUFMAN, Fallotia alavensis MANGIN, Globorotalia angulata (WHITE), G. trilucolinoides PLUMM. y G. compressa (PLUMM), del Thanetiense, así como la de Assilina leymerie (D'ARCH), Nummulites atacicus LEYM. y N. couisensis, del Ilerdiense, han sugerido la inclusión del conjunto en el intervalo Thanetiense - Ilerdiense.

Los niveles calizos presentan un elevado contenido micrítico (80-90%), con presencia de fósiles (10-15%) y cuarzo (1-2%), tal como han señalado los estudios petrográficos.

2.2.2.2. Análisis secuencial del Thanetiense - Ilerdiense

A comienzos del Thanetiense, el sector oriental navarro sufrió un brusco cambio paleogeográfico, que condujo al inicio de una nueva secuencia sedimentaria, con creación de un surco turbidítico y retroceso de los ambientes de plataforma hacia el O. No obstante, dentro de los límites de la Hoja, la nueva secuencia no es tan evidente debido a la persistencia de los ambientes de plataforma, con polaridad hacia N y E. Así, la sedimentación oriental se mantuvo en un contexto de plataforma interna somera, en tanto que hacia el E se reconocen las facies más externas con eventual desarrollo de facies de talud.

2.2.3. Cuisiense - Biarritziense inferior

Los depósitos correspondientes al presente ciclo marcan una gradación entre las plataformas occidentales y los surcos turbidíticos orientales, reconociéndose típicas facies de talud entre ambos (Fig. 4). En conjunto, el ciclo supone el avance de la plataforma hacia el E, si bien este avance no se produjo de forma continua sino a través de varias secuencias. Esta complejidad estratigráfica se traduce en una gran diversidad litológica: turbiditas terrígenas, alternancia rítmica de calizas y margas, barras calcareníticas, etc.

2.2.3.1. Margas y calizas margosas (216). Alternancia de calizas y margas (217). Cuisiense - Luteciense

Aparecen en el terreno como una zona deprimida con respecto a los resaltes infra y suprayacentes (niveles 215 y 260 respectivamente). Su naturaleza esencialmente margosa hacen que la calidad de sus afloramientos sea deficiente, pese a lo cual pueden realizarse observaciones de interés en los cortes de Urrizola e Izurdiaga. En éste, la unidad aparece fundamentalmente como un conjunto de margas gris-azuladas entre las que se intercalan niveles de calizas margosas de orden decimétrico, con un espesor cercano a 800 m (216). Intercalado en la serie aparece un tramo de calizas margosas en bancos gruesos cercanos al centenar de metros de potencia, que da lugar a un resalte en el terreno que ha permitido su diferenciación cartográfica (217).

En general, se aprecia una ordenación en secuencias, con margas en la base y calizas margosas a techo, asociándose a procesos de somerización de relleno de lagoon en un contexto de plataforma interna protegida, si bien su disposición cartográfica sugiere que sus afloramientos más orientales deben corresponder a los sectores más externos de la plataforma.

Por sus asociaciones faunísticas, así como por su correlación con diversas unidades de la región, se ha atribuido al Cuisiense - Luteciense.

2.2.3.2. Alternancia de areniscas y arcillas (nivel 40). Cuisiense - Luteciense

Se encuentran representadas en el sector nororiental, constituyendo los representantes más occidentales del Grupo Hecho (MUTTI et al., 1972). Aunque en general afloran mal, dando lugar a zonas deprimidas en el terreno, sus características son perfectamente observables en el corte de Eguaras.

Se trata de una serie alternante de arcillas grises y areniscas ferruginosas ocres, distribuidas en capas de 15 a 20 cm, de evidente carácter turbidítico. Su potencia puede alcanzar 150 m, si bien aumenta considerablemente hacia el E de la región. Su límite inferior, de carácter erosivo, viene marcado por un contraste litológico y morfológico en relación con el nivel 215; en cuanto al superior, está marcado por un límite secuencial coincidente con un cambio litológico que supone la aparición de términos margocalizos y la desaparición de los areniscosos.

Entre la microfauna encontrada en la unidad se encuentran *Globorotalia aff. rex*, *G. aff. aragonensis* y *Globigerina aff. linaperta*, que datan el Cuisiense inferior. Por otra parte, diversos niveles de megaturbiditas intercalados en la unidad en la vecina Hoja de Ansoáin (115-IV) han señalado una edad Luteciense inferior, razón por la que la presente unidad ha sido asignada al Cuisiense - Luteciense inferior.

Los análisis texturales han determinado un 20% de sílice, 20% de fósiles y 50% de micrita, con el resto de micrita recristalizada.

2.2.3.3. Calcarenitas y margas (237). Luteciense

Se encuentran representadas en el ámbito de los sinclinales de San Bartolomé y Sollaondi, desapareciendo por evolución lateral a los niveles 238 y 239. Aunque su calidad de afloramiento es deficiente, es posible realizar observaciones de calidad en Osácar y Garciriáin. A grandes rasgos, se trata de un tramo fundamentalmente margoso en el que se intercalan niveles calcareníticos de espesor métrico a decamétrico.

Sus límites poseen carácter gradual y tan solo cuando se disponen sobre las turbiditas terrígenas del nivel 218, su base parece coincidir con un límite de carácter secuencial; en cualquier caso, su diferenciación se ve favorecida por el ligero resalte que producen en el terreno los niveles calcareníticos. El espesor, muy variable en función de sus cambios laterales, puede sobrepasar el centenar de metros.

La unidad se ha atribuido a un ambiente de plataforma con desarrollo de barras; no obstante, la slumpización observada en algunas zonas, sugiere la existencia de facies de talud. En cuanto a su edad, de acuerdo con su posición estratigráfica, se ha incluido en el Luteciense.

2.2.3.4. Margas (238). Luteciense

Se trata de una unidad escasamente representada, cuyos afloramiento presentan deficiente calidad; es esencialmente margosa, aunque presenta intercalaciones de niveles decimétricos calizo-margosos y calcareníticos, de orden decimétrico. Por su relación lateral con respecto a los niveles 216 y 237 su espesor resulta muy variable, si bien su valor máximo debe ser cercano a 100 m.

Por su relación con dichos niveles se atribuye a un ambiente de plataforma externa - talud intraluteciense.

2.2.3.5. Margocalizas y margas (239). Luteciense - Biarritziense inferior

Poseen una gran representación en el sector nororiental, especialmente en el ámbito del sinclinal de San Bartolomé y del sector Marcaláin - Ballarain, apareciendo en

general con calidad deficiente, pese a lo cual pueden realizarse buenas observaciones parciales en el puerto de Ataburu y en las inmediaciones de Garciariáin.

La unidad aparece como una monótona alternancia de calizas y calizas margosas de tonos blanquecinos y amarillentos en alteración, con margas grises, dispuestas en niveles de orden decimétrico. Su límite inferior coincide con una discontinuidad sedimentaria marcada por un cambio litológico con respecto al nivel 218; en cuanto a su techo, coincide con una acusada discordancia sobre la que se apoya el conjunto conocido tradicionalmente como Margas de Pamplona (267). No obstante por sus acusados cambios laterales, su techo puede estar representado por diversas unidades según el sector elegido; por la misma razón, su espesor es muy variable, si bien su valor máximo puede sobrepasar 1.000 m.

Son escasas las estructuras sedimentarias halladas, pese a lo cual la unidad se ha atribuido a un ambiente de rampa carbonatada distal, habiéndose observado episodios de talud, lo que refleja un retroceso de los sistemas turbidíticos hacia sectores orientales de la región; en su seno se incluyen varias secuencias sedimentarias pero su homogeneidad litológica ha impedido su individualización cartográfica. Por sus relaciones laterales, la presente unidad se ha incluido en el Luteciense - Biarritziense inferior.

2.2.3.6. Margas (254). Luteciense

Afloran en el núcleo del sinclinal de San Bartolomé, donde aparecen en el terreno como un tramo blando entre los resaltes calcareníticos de las unidades 237 y 260.

Se trata de una sucesión margosa de tonos grisáceos y aspecto monótono, cuyo espesor se aproxima a 80 m; intercala niveles calcareníticos y margocalizos blancos de orden decimétrico, interpretándose su depósito en un contexto de rampa distal. Su límite inferior posee carácter gradual, en tanto que el superior coincide con una discontinuidad sedimentaria de orden menor.

Su atribución a la zona de Globorotalia subconglobata (PUJALTE et al., 1994) ha permitido su asignación al Luteciense.

2.2.3.7. Calizas y margas (257). Luteciense - Biarritziense inferior

Es una unidad escasamente representada, encontrándose un excelente corte de la misma en Erice, donde se observa un conjunto de calizas margosas, margas y, en menor medida, calcarenitas, en niveles de orden decimétrico a métrico.

El principal rasgo es la abundancia de niveles slumpizados, así como de capas gradadas interpretadas como capas de tormentas; en otros casos, las calcarenitas aparecen amalgamadas, interpretándose como rellenos de canales submarinos.

La base de la unidad coincide con una discontinuidad sedimentaria, en tanto que su techo está marcado por una notable discordancia sobre la que se disponen las Margas de Pamplona (267). Hacia el O pasa lateralmente al característico conjunto calcarenítico del paraje de la Virgen de Oskía (260), en tanto que hacia el E pasa a las unidades 239 y 258. Su espesor se aproxima al centenar de metros.

Son abundantes los restos de foraminíferos planctónicos, que han permitido determinar la zona de Globorotalia Subconglobata, que ha señalado una edad Luteciense, si bien puede incluir la base del Biarritziense (PUJALTE et al., 1994).

Por las características sedimentarias de la unidad y su relación con respecto a otras sincrónicas con ella, su depósito se ha interpretado dentro de un contexto de talud - rampa distal.

Al microscopio, los niveles calizos aparecen como bioesparitas.

2.2.3.8. Margas (258). Luteciense - Biarritziense inferior

Constituye un cambio lateral con respecto a las unidades 239 y 257, del que poco puede decirse debido a sus deficientes condiciones de exposición y su escasa representación. Su límite inferior es gradual, produciéndose por una progresiva desaparición de los niveles calizos y calcareníticos de la unidad infrayacente, en tanto que su techo está marcado por una importante discordancia sobre la que se apoyan las Margas de Pamplona. Su espesor supera ligeramente los 100 m.

Por correlación con las unidades contiguas se han interpretado en un contexto de rampa distal - talud, dentro del intervalo Luteciense - Biarritziense inferior.

2.2.3.9. Calcarenitas (260). Luteciense - Biarritziense inferior

Es una de las unidades características de la zona, apareciendo como un pronunciado resalte morfológico en el valle del río Araquil, junto a la ermita de la Virgen de Oskía. También aflora de manera discontinua en torno a los diapiros de Anoz y Olo, así como en el núcleo del sinclinal de San Bartolomé.

Tanto su muro como su techo tienen carácter neto; el primero coincide con una discontinuidad secuencial, en tanto que el superior está marcado por una notable discordancia, perfectamente visible en el corte de Oskía. Aquí, su espesor alcanza 400 m, disminuyendo progresivamente hacia el S y E, en este caso por cambio lateral a la unidad 258.

Se trata de un conjunto de calcarenitas bioclásticas agrupadas en niveles de orden métrico a decamétrico, que confieren aspecto masivo a la unidad. En torno al diapiro de Olo predominan las calizas y calizas margosas con estratificación paralela e irregular, con abundante glauconita y frecuentes tintes ferruginosos, así como esporádicos nodulos de sílex. Las numerosas estructuras de erosión y relleno, así como estratificación cruzada, han sugerido su interpretación como depósitos de plataforma somera que refleja una rápida progradación de la plataforma en una clara tendencia regresiva.

La presencia de *Alveolina* cf. *tenuis*, *Asterodiscus stellaris* y *Nummunclites laevigatus*, entre otros restos faunísticos, han señalado su pertenencia al Luteciense, si bien por criterios regionales, la unidad debe incluir la base del Biarritziense.

Al microscopio se ha apreciado un predominio de los tipos esparíticos (intrabioesparitas, bioesparitas) en el sector de Oskía, con mayores variaciones en el sector suroccidental (biomicritas, biopelmicritas, bioesparitas).

2.2.3.10. Análisis secuencial del Cuisiense - Biarritziense inferior

El ciclo Cuisiense - Biarritziense inferior posee un marcado carácter regresivo, encontrándose limitado por dos discontinuidades de gran envergadura. En el ámbito de la Hoja se reconocen en él tres secuencias sedimentarias cuyo reflejo varía según las zonas. En líneas generales, a lo largo de este intervalo se aprecia una polaridad paleogeográfica que supone el paso sucesivo siguiente de O a E: plataforma, talud, cuenca turbidítica; la evolución supone avances y retrocesos de la plataforma, con progradación sobre los depósitos de cuenca.

El inicio del ciclo coincide con una reconstrucción paleogeográfica cuyo reflejo más destacado es la instalación de aparatos turbidíticos alimentados por materiales terrígenos, en el sector oriental, en tanto que hacia el O, la sedimentación se desarrollaría en un contexto de plataforma interna.

Ya en el Luteciense, el sector oriental refleja el inicio de la segunda secuencia, marcado por el avance de los depósitos margosos y margocalizas de plataforma abierta - talud sobre los turbidíticos.

A finales del Luteciense se produjo un rápido avance de la plataforma, caracterizada fundamentalmente por depósitos calcareníticos de aguas someras, que llegarían a cubrir la mitad occidental de la Hoja, en tanto que en la mitad oriental persistirían los depósitos margocalizos típicos de los sectores más externos de la plataforma. El final del ciclo coincide con una discordancia de envergadura regional, relacionada con los movimientos orogénicos pirenaicos y que supone una nueva configuración de la región.

2.2.4. Biarritziense

Los depósitos del ciclo Biarritziense constituyen el registro terciario más reciente de la Hoja, estando limitados en su base por una discordancia relacionada con el hundimiento de la plataforma. El ciclo está caracterizado por una potente sucesión correspondiente a las tradicionales Margas de Pamplona, reconociéndose en los bordes de las manifestaciones diapíricas un conjunto de calcarenitas y margas denominadas en conjunto "Complejo de tránsito".

2.2.4.1. Calizas y margas (261). Biarritziense

Afloran exclusivamente en el paraje de Illarredi, en el sector suroccidental, constituyendo un equivalente lateral de las calcarenitas del nivel 262. Se trata de un conjunto de calizas bioclásticas tableadas, alternantes con margas arenosas. El límite inferior tiene carácter discordante, en tanto que el techo no aflora; su espesor supera el centenar de metros.

Presentan estratificación cruzada, con sentido de la corriente hacia el E, interpretándose su depósito en un ambiente de plataforma.

Los estudios micropaleontológicos han determinado la presencia de *Assilina* cf. *spira* DE ROISSY, *Asterodiscus* cf. *stellatus* D'ARCH, *Alveolina* cf. *prorrcta* HOTT. y *Nummulites* cf. *aturicus*. Esta asociación confirma la edad Biarritziense asignada por criterios regionales.

En sectores occidentales, estos materiales han sido agrupados en dos tipos calcáreos (LEON et al., 1971), biomicritas y biointramicritas, ambos con cierta cantidad de limo de naturaleza silícea. Petrológicamente este tipo de rocas están constituidas por un 99% de calcita cuyo tamaño de grano oscila entre 1 y 2 mm. Entre los componentes aloquímicos predominan los fósiles (65%) y los intraclastos (5%), en tanto que los ortoquímicos están representados por esparita (30%).

2.2.4.2. Calcarenitas, margas y calizas margosas (262). Margocalizas y margas (265). Turbiditas de Izcue. Biarritziense

En las proximidades de las zonas diapíricas, el ciclo Biarritziense da comienzo mediante una potente sucesión calcarenítica en la que se intercalan margas y, especialmente hacia techo, calizas margosas (262). Este conjunto ha sido denominado "Complejo de tránsito" y pasa lateralmente a las Margas de Pamplona (267). En ocasiones, las intercalaciones esencialmente margosas adquieren entidad suficiente para su individualización cartográfica, habiéndose representado como nivel 265.

En el caso más general, este conjunto se apoya sobre distintos sustratos mediante una notable discordancia, como se pone de manifiesto en los cortes de Oskía, donde

se dispone sobre las calcarenitas del Luteciense - Biarritziense inferior (260) y de la carretera Anoz - Ulzama (Ilzarbe), en el que se apoya sobre las calizas bioclásticas del Paleoceno inferior (206).

En Oskía, la base del nivel 262 aparece como un conjunto predominantemente margoso de tonos grises - azulados y amarillentos por alteración, en el que se intercalan abundantes niveles calcareníticos de orden decimétrico, asimilados a turbiditas diluidas. En el corte de Ilzarbe, el nivel 262 se presenta como un conjunto de calcarenitas de tonos ocres dispuestas en niveles de orden decimétrico a métrico, entre las que se intercalan esporádicos tramos margosos, con un espesor total cercano a 60 m, interpretadas igualmente en un contexto turbidítico. En este sector, sobre el tramo calcarenítico aparece una intercalación integrada por margas (263) y calcarenitas (264). Por encima de esta intercalación, la unidad está constituida por una alternancia de margas y calcarenitas atribuidas a depósitos turbidíticos y de talud, cuya proporción varía lateralmente.

En general, las calcarenitas están distribuidas en bancos de 1 m de espesor, de tendencia tabular y base frecuentemente erosiva, con abundantes diaclasas rellenas de calcita. Hacia el E, los niveles calcareníticos son sustituidos en buena medida por calizas margosas.

En la mayor parte de los casos, se aprecia un contenido esparítico moderado (40%), inferior al de fósiles (50%), con presencia de intraclastos (5%) y terrígenos arenosos de naturaleza cuarcítica (5%).

En el nivel (80) predominan las margas nodulosas marrones, que presentan intercalaciones centimétricas de areniscas calcáreas de grano fino, con ripples de corriente a techo y huellas en el muro, así como niveles ferruginosos. El espesor de esta unidad es muy variable según las zonas, sobrepasando en algunas los 120 m. El depósito del conjunto se interpreta en un contexto turbidítico.

Entre la fauna hallada en ambos niveles se han determinado: *Asterodiscus stella* (GUMB), *A. stellatus* (DARCH), *Operculina alpina* (DOUV.), *Gyroidina guaya balensis* COLE, *Virgulina duballensis* CUSHM, *Dentalina soluta* (REUSS) y *Globigerina venezuelana* HEDBERG, que señalan una edad Biarritziense.

2.2.4.3. Margas (263). Calcarenitas (264). Biarritziense

Aparecen como una intercalación en el “Complejo de tránsito”, aflorante únicamente en el sector de Ilzarbe. El tramo inferior (263) corresponde a unos 50 m de margas gris-azuladas, con intercalaciones margocalcáreas de orden decimétrico, que se presentan en el terreno como una zona deprimida de afloramiento deficiente. Su depósito se interpreta en un contexto de plataforma interna somera en condiciones de baja energía.

En cuanto al tramo superior (264), produce un ligero resalte morfológico en el terreno, por lo que aflora en buenas condiciones, presentando buena calidad en el corte de Ilzarbe, donde se presenta como un conjunto de calcarenitas bioclásticas de color gris oscuro, cuyo espesor alcanza 20 m. Se interpreta en un contexto de plataforma interna somera.

Por su posición estratigráfica, en el seno del “Complejo de tránsito”, ambas unidades se han incluido en el Biarritziense.

2.2.4.4. Margas, limolitas y calcarenitas (266). Biarritziense

Constituye al igual que las unidades anteriores, parte del “Complejo de tránsito”, disponiéndose tanto sobre ellas como sobre los materiales del techo del ciclo Cuisiense - Biarritziense inferior. En general aflora con deficiente calidad, mostrando espesores próximos a 60 m.

Litológicamente está constituida por margas grises y limolitas calcáreas que intercalan capas tabulares de calcarenitas con ripples de oleaje. En ocasiones, las margas incluyen cicatrices rellenas por términos más limolíticos y calcareníticos.

Se atribuyen a medios deltaicos distales, con desarrollo de canales de plataforma e influencia de tormentas. Las facies más finas y las desorganizadas corresponden a ambientes de prodelta - talud.

Se atribuyen a medios deltaicos distales, con desarrollo de canales de plataforma e influencia de tormenta. Las facies más finas y las desorganizadas corresponden a ambientes de prodelta - talud.

La presencia de *Marginulina parvaensis* (HANK), *Gyroidina guayabalensis* (COLE), *Ammobaculites tuba* (GUMB), *Globorotalia centralis* CUSHM y *Cibicides pseudoungerianus* CUSHM, entre otros restos faunísticos, ha permitido asignar la unidad al Biarritziense.

2.2.4.5. Margas (267). Margas de Pamplona. Biarritziense

Es la unidad con mayor representación de la Hoja, ocupando la mayor parte del sector meridional. 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 estos depósitos es su homogeneidad, observándose esporádicamente slumps y ripples en los niveles calcareníticos.

Aflora con calidad deficiente, presentando tan solo cortes parciales, inferiores a la decena de metros. Cuando se apoya directamente sobre materiales de la secuencia Luteciense - Biarritziense inferior, su límite inferior es discordante. Su potencia es muy variable, aumentando hacia el S donde supera los 700 m, estimándose una potencia media de 400-500 m.

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 (PUIGDEFABREGAS, 1975).

Los estudios micropaleontológicos han determinado gran cantidad de fauna, entre ella: *Textularia recta* CUSHM., *T. adalta* (CUSHM), *T. speyri* REUSS, *Guadryina quadrilatera* CUSHM, *Tritaxilina pupa* (GUMB), *Gyroidina guayabalensis* (COLE), *Chilostonella cylindroides* REUSS, *Nodosaria hermanni* ANDR, *Valunlina nummulina* (GUMB), *Cibicides pseudoungerianus* CUSHM, *Eponides quachitaensis* HOWE y WALL, *Globigerina senni* (BECKM), *G. Eocena* GUMB, *G. Parva* BOLLI, entre otros muchos restos, que asignan a esta unidad una edad Biarritziense.

Los análisis petrológicos han arrojado la siguiente composición: 84% de minerales de calcita y arcilla; 3% de bioclastos (microforaminíferos, miliólidos y globigerinas); 3% de opacos cuyo tamaño oscila entre 0,02 y 0,25 mm; cuarzo, con tamaños de 0,05 a 0,07 mm; y micas, con porcentaje inferior al 1%.

2.2.4.6. Calcarenitas y margas (270). Turbiditas de Huarte. Biarritziense

Afloran como un pequeño resalte intercalado en las Margas de Pamplona, entre Añezcar y Berriosuso. Es un conjunto de margas grises y arcillas limolíticas, alternando rítmicamente con calcarenitas de grano medio a fino, conocido regionalmente como Flysch de Huarte.

Su espesor se aproxima a 85 m. En la parte media se observan niveles con cantos blandos de limolitas y cantos redondeados de areniscas y calizas, inmersos en una matriz de arena bioclástica gruesa. Las calcarenitas se presentan en niveles tabulares de orden decimétrico a métrico, generalmente con estructuras de base. Se interpretan como facies de lóbulos y canales de abanicos submarinos.

Aunque los estudios paleontológicos no han proporcionado fauna determinativa, la unidad se ha incluido en el Biarritziense por su posición estratigráfica.

2.2.4.7. Calcarenitas (271). Biarritziense

Presenta un reducido número de afloramientos intercalados en las Margas de Pamplona, en el sector suroriental. Fundamentalmente, la unidad está constituida por un conjunto de calcarenitas marrones distribuidas en bancos gruesos, con base erosiva, estratificación ondulada y laminación cruzada. Su potencia se aproxima a 1000 m, acuñándose lateralmente. Se interpretan como canales turbidíticos de procedencia septentrional.

Pese a la ausencia de fauna determinativa, la unidad se ha enmarcado en el Biarritziense en función de su intercalación entre las Margas de Pamplona.

2.2.4.8. Análisis secuencial del Biarritziense

El ciclo Biarritziense se inicia coincidiendo con una importante fase de deformación pirenaica, cuyo resultado en la región es el hundimiento de la plataforma. Está representado fundamentalmente por potentes depósitos margosos de facies prodeltaicas (Margas de Pamplona), con aportes de abanicos submarinos de probable procedencia meridional, en el sector SO (Complejo de Tránsito).

El depósito prodeltaico se ve interrumpido esporádicamente por episodios turbidíticos densos, que definen formas canalizadas, posiblemente de procedencia septentrional.

2.3. CUATERNARIO

Los depósitos cuaternarios presentan una gran variedad como puede apreciarse en el ámbito del río Araquil, así como una importante superficie de afloramiento en el sector meridional de la Hoja.

2.3.1. Pleistoceno - Holoceno

2.3.1.1. Arcillas de descalcificación (523). Fondos de dolina. Pleistoceno - Holoceno

Se encuentran escasamente representadas, concretamente en las proximidades de Ulzurrun. Las arcillas no tienen morfología definida, adaptándose a cualquier forma del sustrato, por lo que su potencia es variable, siempre dentro de un orden métrico a decimétrico. Se trata de “terras rossas” o “terras fuscas” con colores que varían desde rojo vinoso a pardo-rojizo e incluso pardo - amarillento. Pueden contener cierta proporción de arenas y limos, así como fragmentos de roca procedentes de la roca original.

Su edad es imprecisa, aunque en cualquier caso abarca al menos parte del Cuaternario, pudiendo ser funcionales en la actualidad.

2.3.1.2. Gravas, arenas y arcillas (518). Glacis de acumulación. Pleistoceno

Configuran un extenso afloramiento de forma subtriangular, localizado entre Zuasti a Iza. Este glacis de acumulación está constituido fundamentalmente por cantos de naturaleza calcárea y, en menor proporción, areniscas; los tamaños medios están comprendidos entre 4 y 7 cm, habiéndose observado máximos de 17 cm. La matriz es areno-arcillosa de color pardo y amarillento.

Las características del depósito parecen reflejar un transporte fluvial, con cicatrices erosivas y rellenos de fondo de canal, además de algunas imbricaciones de cantos. Su potencia oscila entre 2 y 3 m, incluyendo el suelo de color pardo rojizo formando a

techo, de unos 30 cm de espesor. Por su relación con la red fluvial se asignan al Pleistoceno.

**2.3.1.3. Gravas, arenas y arcillas (niveles 508, 524 y 525).
Terrazas. Pleistoceno - Holoceno**

Adquieren cierto desarrollo en el sector suroriental y, en menor medida, en relación con el valle del río Araquil; se presentan en niveles de +3 - 10 m, +10 - 15 m y +20 - 25 m (niveles 508, 524 y 525 respectivamente). En general poseen dispositivos de terrazas colgadas, con su superficie plana y marcados escarpes hacia el valle actual.

Predominan los depósitos de gravas de calizas, cuarcita, cuarzo y arenisca, en una matriz areno - arcillosa, cuyo espesor puede alcanzar 3 m. Entre las estructuras observadas se encuentran cicatrices erosivas, imbricaciones de cantos, estratificación cruzada y rellenos de fondo de canal; ocasionalmente, incluyen finos niveles de concentración de carbonatos.

Se atribuyen al Pleistoceno, siendo muy probable que la terraza más baja pueda corresponder al Holoceno.

**2.3.1.4. Arcillas, gravas y arenas (519). Glacis de cobertera.
Pleistoceno - Holoceno**

Afloran en el sector meridional a modo de formas de suaves relieves localizadas en la parte inferior de algunos relieves. Constituyen una fina película de arcilla y arenas con pequeños cantos subredondeados a redondeados.

Su disposición encajada con respecto al glacis de acumulación hace que se consideren holocenos, si bien podrían representar también el final del Pleistoceno.

2.3.2. Holoceno

2.3.2.1. Gravas, arenas y arcillas (535). Abanicos aluviales. Holoceno

Aparecen representados como una banda de dirección E-O, localizada en las inmediaciones de Atondo. Se trata de formas triangulares solapadas, semejantes a los conos de deyección (536) pero de mayores dimensiones y pendientes más elevadas.

Predominan los cantos calcareníticos subangulosos, que llegan a superar 20 cm en el sector apical, englobados en una matriz arcillo - arenosa pardo-rojiza; se reconocen abundantes depósitos de tipo debris flow. El espesor puede sobrepasar la decena de metros en algunos puntos del abanico.

Por su disposición se han atribuido al Holoceno.

2.3.2.2. Arcillas, arenas y gravas (543). Coluviones. Holoceno

Están escasamente representados, localizándose su principal afloramiento en el sector del diapiro de Ollo. La litología está directamente relacionada con la del área madre, observándose cantos angulosos a subangulosos heterométricos en un abundante matriz arcillo-arenosa. Se trata de depósitos poco compactados, heterogéneos y de espesor variable.

Por su posición a pie de las laderas, superpuestos o interdentados con los depósitos fluviales más recientes, se asignan al Holoceno.

2.3.2.3. Gravas, arenas y arcillas (536). Conos de deyección. Holoceno

Poseen una moderada superficie de afloramiento, adquiriendo dimensiones de cierta entidad en las inmediaciones de Irurzun exclusivamente. Se encuentran relacionados con los fondos de valle y las llanuras de inundación, formándose en la salida de barrancos y arroyos a valles de rango superior; cuando éstos se encuentran próximos entre sí, los conos se solapan, dando lugar a formas de mayor envergadura.

Se trata de depósitos heterométricos poco consolidados cuya litología depende del área madre, por lo que predominan los cantos de composición calcarenítica y calcárea en una matriz areno - arcillosa. La potencia es muy variable en función de las dimensiones de los conos, con valores máximos cercanos a 10 m.

Por su relación con los depósitos fluviales más recientes, se han atribuido al Holoceno.

2.3.2.4. Arcillas, arenas y gravas (537). Aluvial - coluvial. Holoceno

Su representación se restringe al cuadrante suroriental. Allí, en las cabeceras de algunos arroyos se generan depósitos mixtos procedentes tanto de la acción fluvial como de la de las vertientes. Generalmente se originan en valles amplios y muy suaves.

A grandes rasgos aparecen como un conjunto de gravas englobadas en una abundante matriz arcillo - arenosa. Su espesor, aunque muy variable, no parece superar 5 m. Se han asignado al Holoceno.

2.3.2.5. Limos, arenas y gravas (526). Llanuras de inundación. Holoceno

Aparecen exclusivamente en el tramo meridional del río Araquil, con un trazado sinuoso. Su litología es muy similar a la de los fondos de valle, pero con una mayor proporción de finos (limos y arcillas) con respecto a gravas y arenas. A techo presentan un nivel arcilloso - limoso de 30-40 cm que corresponde a las facies de desbordamiento; sobre el depósito suele aparecer un suelo pardo de vega.

Al igual que el resto de los depósitos fluviales recientes, se han incluido en el Holoceno.

2.3.2.6. Brechas calcáreas (548). Canchales. Holoceno

Se encuentran relacionadas con grandes desniveles, apareciendo únicamente en las proximidades del paraje de la Virgen de Oskía, donde presentan excelentes cortes. Son brechas calcareníticas heterométricas procedentes de los pronunciados resaltes

lutecienses y cuyo transporte, evidentemente, ha sido mínimo. Se han enmarcado en el Holoceno.

2.3.2.7. Arcillas, gravas y arenas (545). Deslizamientos. Holoceno

Son escasos en la Hoja, pero adquieren un desarrollo notable en la ladera del monte San Gregorio. Están favorecidos por las litologías blandas y las altas pendientes, además de la saturación en agua del terreno; su espesor es muy variable, pudiendo alcanzar la decena de metros. Aunque predomina el componente arcilloso, su litología varía en función del área madre. Por su relación con el relieve actual se han incluido en el Holoceno.

2.3.2.8. Gravas, arenas y limos (527). Fondos de valle. Holoceno

Son los sedimentos cuaternarios más ampliamente distribuidos, localizándose sus principales manifestaciones en los valles de los ríos Araquil y Justapeña, donde pueden alcanzar 300 m de anchura.

Predomina las gravas calcáreas, cuarcíticas y areniscosas, en una matriz areno-limosa; el tamaño medio de los cantos está comprendido entre 5 y 8 cm, si bien llegan a observarse bloques superiores a 40 cm. Aunque la potencia no es cuantificable en la mayor parte de los casos, no parece superar los 8 m. Se han asignado al Holoceno.

3. TECTÓNICA

3.1. CONSIDERACIONES GENERALES

La presente Hoja forma parte del sector occidental de la cadena pirenaica, alineación montañosa que con dirección E-O se extiende desde el Golfo de Vizcaya hasta el Mediterráneo, resultante de la compresión producida entre las placas Europea e Ibérica. Aunque se han realizado diversos intentos de clasificación de la cadena, una de las más utilizadas es la de MATTAUER y SEURET (1971), basada en criterios estructurales y estratigráficos, en la que se diferencian: la Zona Axial, constituida fundamentalmente por materiales paleozoicos, dispuesta a modo de eje de simetría de la cadena; dos zonas mesoterciarias despegadas, denominadas Nor y Surpirenaica, y dos antepaíses terciarios plegados.

La cobertera mesozoico-terciaria ubicada al O de la terminación occidental de la zona Axial es conocida tradicionalmente como Cuenca Vasco-Cantábrica, dividida en tres zonas: Bloque Alavés, Bloque Santanderino y Arco Vasco, este último en su sector oriental. El límite entre el Arco Vasco, de características semejantes a la Zona Norpirenaica, y las Zonas Surpirenaica y Axial, viene determinado por la falla de Pamplona, coincidente con la alineación de diapiros navarros, de dirección NE-SO (Fig. 2).

El diferente comportamiento de los materiales frente a la deformación permite distinguir los siguientes dominios estructurales: zócalo, constituido por los materiales hercínicos; tegumento, formado por los depósitos de las facies Buntsandstein y Muschelkalk; nivel de despegue, integrado por la facies Keuper; y cobertera, constituida por la serie sedimentaria jurásico - paleógena. En general, el zócalo y la cobertera se han deformado independientemente gracias al nivel de despegue triásico, con una deformación mucho más acusada de la cobertera, si bien en la zona Axial el zócalo también ha sido estructurado e incorporado a las estructuras alpinas.

La zona de estudio se ubica en la confluencia entre el sector occidental pirinaico, al E y la Cuenca Vasco - Cantábrica, al O, con la falla de Pamplona actuando de límite entre ambos (Fig. 2); su traza superficial viene determinada por la alineación de los diapiros de Olló y Anoz, así como por la terminación oriental de la sierra de Aralar. La Cuenca Vasco - Cantábrica está representada aquí por el Bloque Alavés, en el sector

de la sierra de Andía (5) y por el Arco Vasco, en el ámbito de la sierra de Aralar (N), con un límite arbitrario entre ambos, coincidente con la falla de Izurdiaga. En cuanto al sector pirenaico, está integrado totalmente en la zona Surpirenaica.

La estructura de la Hoja está condicionada directamente por la falla de Pamplona, a lo largo de cuya traza se aprecia la máxima complejidad; el resto se caracteriza por una serie de largos pliegues de dirección E-O vergentes hacia el S, si bien en algunas zonas adquieren directrices NO-SE (Fig. 3).

3.2. DESCRIPCION DE LAS PRINCIPALES ESTRUCTURAS

Las manifestaciones más destacadas de la deformación sufrida por el territorio comprendido en la Hoja, están determinadas por los elementos estructurales siguientes: discordancias, pliegues, fallas y diapiros.

3.2.1. Discordancias

Atendiendo a su orden cronológico, las principales discordancias son las relacionadas con el muro de los materiales danienses, thanetienses, cuienses y biarritzienses.

Es posible la existencia de varias discordancias no aflorantes que afectarían a las series del Jurásico y Cretácico inferior; posiblemente, la más destacada de ellas, ubicada en el Albiense, estaría relacionada con los movimientos austríacos y supondría la disposición de los depósitos albienses sobre cualquier sustrato prealbiense. Según ello, entre la serie urgoniana de la sierra de Aralar y los depósitos margosos albienses del sector de Izurdiaga, existiría una discordancia no apreciable aquí.

El límite Cretácico - Terciario ha sido señalado como una discordancia en algunos puntos de la región, hecho que no es evidente en la Hoja, debido en buena medida a la deficiente calidad de afloramiento de los niveles margosos maastrichtienses; su génesis estaría relacionada con los tradicionales movimientos larámicos, mucho más evidentes en el sector oriental pirenaico.

La existencia de una discordancia relacionada con el paso Montiense - Thanetiense también ha sido señalada en algunos puntos de la región; sin embargo, al menos en la zona, dicho paso va acompañado de una intensa erosión, sin que se haya constatado

en ningún caso su carácter discordante, por lo que dicho límite debe ser considerado como una disconformidad.

La discordancia del límite Ilerdiense - Cuisiense es apreciable en el sector nororiental, no pudiendo decirse lo mismo del sector occidental. Se trata de una discordancia poco pronunciada, puesta de manifiesto por un ligero cambio en el buzamiento de los estratos infra y suprayacentes, coincidente con la aparición de episodios turbidíticos de naturaleza terrígena. Su génesis está relacionada con los primeros episodios de la orogenia pirenaica propiamente dicha.

Durante el Biarritziense se produjo la discordancia más reciente de la Hoja y también la más acusada, siendo observable en los cortes de Oskía e Ilzarbe; sobre ella se disponen las Margas de Pamplona o el Complejo de Tránsito.

3.2.2. Pliegues

Son muy abundantes en el sector septentrional, donde presentan orientaciones próximas a E-O, con un elevado grado de apretamiento y vergencias meridionales. Por contra, en el sector meridional muestran un estilo más laxo y orientaciones predominantes NO-SE. De entre los numerosos pliegues de la Hoja, cabe destacar los anticlinales de Etuláin, Larráyoz y Sollaondi, así como los sinclinales de San Bartolomé, Mendi y Añezcar.

El anticlinal de Etuláin está representado únicamente en su terminación suroccidental, donde posee dirección NE-SO prolongándose hacia el E a lo largo de más de 10 km fuera de la Hoja. Su geometría tan solo puede reconstruirse merced a los niveles calcáreos paleógenos, ya que la mayor parte de su eje se localiza sobre materiales margosos maastrichtienses, de afloramiento muy deficiente.

El eje del anticlinal de Larrayoz presenta una geometría arqueada, con su concavidad hacia el N. Sus características en cuanto a geometría son muy semejantes a las del de Etuláin.

A diferencia de los anteriores, el anticlinal de Sollaondi muestra una charnela más amplia, lo cual no quiere decir que obedezca a esfuerzos compresivos menores, como parece sugerir la falla inversa de Erice, aparentemente relacionada con él. Al igual que

los anteriores, parece corresponder a un campo de esfuerzos N-S, con claras vergencias meridionales, excepto al NO de Ochovi, donde la dirección E-O se torna NO-SE, discurriendo el eje por materiales cretácicos y desapareciendo finalmente contra la falla de Izurdiaga.

El sinclinal de San Barlomé, al N, es una estructura muy característica debido a su visibilidad desde numerosos puntos, al ser coronado por potentes depósitos calcareníticos eocenos. Se trata de un pliegue poco apretado de orientación E-O.

El sinclinal de Mendi se localiza al N del anticlinal de Sollaondi, evidenciando una clara vergencia meridional y una orientación ENE-OSO. En su sector noroccidental aparece relacionado con una serie de pliegues muy apretados, con los que aparece relacionada la falla de Sarasate.

Quizá el pliegue de mayor longitud en la Hoja sea el sinclinal de Añezcar, que en el sector nororiental posee orientación NO-SE, con su eje localizado en las Margas de Pamplona, por lo que su geometría resulta poco clara, excepto en el monte Santa Catalina, donde afloran intercalaciones calcareníticas. Al S de Erice, el sinclinal adquiere una dirección E-O, quedando oculto bajo depósitos cuaternarios e interrumpiéndose contra el diapiro de Anoz. El sinclinal aflorante con dirección NO-SE en el paraje de Oskía, parece la prolongación del de Añezcar, lo que implica la acción de la masa diapírica con posterioridad a la formación del sinclinal, o bien que el sinclinal se prolonga por el diapiro, si bien su naturaleza arcillosa no ha permitido su reconocimiento.

3.2.3. Fallas y cabalgamientos

La fracturación de la Hoja se concentra fundamentalmente en las inmediaciones de la falla de Pamplona, especialmente coincidiendo con la terminación oriental de la sierra de Aralar y el diapiro de Anoz; en el dominio surpirenaico prácticamente está ausente, en tanto que en el ámbito vasco-cantábrico son dignos de mención el cabalgamiento frontal de Aralar, el cabalgamiento de Sarasate y la falla de Izurdiaga.

La falla de Pamplona forma parte de un sistema de fracturación de escala continental. Constituye una falla de zócalo orientada según NE-SO, que ha jugado un papel decisivo en la historia de la región, mediante un comportamiento complejo a lo largo

de varias etapas (MARTINEZ TORRES, 1989). Junto a las manifestaciones de Ollo y Anoz, su acción parece sentirse especialmente en los entornos de Gulina, donde se produce la confluencia de diversos accidentes, algunos de gran envergadura.

El cabalgamiento frontal de la sierra de Aralar aparece escasamente representado en la Hoja por su terminación occidental, con una dirección nortada, si bien su prolongación septentrional se curva hasta orientarse según NO-SE; implica el avance del conjunto carbonatado urgoniano sobre depósitos margosos del Cretácico terminal. Del estudio del sector occidental de la sierra se deduce la génesis de la estructura en dos etapas: la primera supuso su avance hacia el NE mediante cabalgamientos, que en la segunda sufrirían procesos de retrovergencia.

La abundancia de materiales competentes en la sierra de Aralar ha favorecido la creación de una densa red de fracturación, mereciendo la pena destacarse el conjunto de fallas normales que limitan la sierra por el S, de gran continuidad hacia el O y que pone en contacto los depósitos margosos campanienses con los calizo-margosos de Aralar.

El cabalgamiento de Sarasate, de dirección ONO-ESE se localiza en el sector noroccidental, poniéndose de manifiesto por la superposición de varios términos paleógenos sobre diversas unidades cretácicas. Su salto aumenta hacia el O, donde va ligado a una falla inversa que afecta exclusivamente a materiales paleógenos. Su génesis está ligada a una fase compresiva de vergencia meridional. Relacionado genéticamente al cabalgamiento, cabe señalar la falla de Erice, de mucha menor envergadura pero evidenciada por el importante acortamiento observado en la serie estratigráfica del intervalo Cuisiense - Luteciense.

En cuanto a la falla de Izurdiaga, se trata de una falla normal de forma curvada, con su concavidad hacia el N. Desaparece bajo depósitos cuaternarios al S de Irurzun para volver a manifestarse en la vecina Hoja a escala 1:50.000 de Alsasua (114), donde su traza se prolonga unos 15 km con dirección E-O. En las proximidades de Irurdiaga pone en contacto las margas campanienses con depósitos fundamentalmente margosos del Albiense - Cenomaniense, disminuyendo su salto hacia el E. En la zona, suele utilizarse como límite arbitrario para separar el Bloque Alavés, al S, y el Arco Vasco, al N.

3.2.4. Diapiros

Los diapiros son una de las estructuras geológicas más características del ámbito navarro, tratándose de extensiones arcilloso-salinas de la facies Keuper, perforantes en la cobertera mesozoico-terciaria, con las intensas deformaciones que ello implica. Los principales se alinean según la falla de Pamplona, explicándose su génesis por la diferencia de espesor sedimentario a ambos lados de la misma; la mayor carga del Bloque Alavés con respecto al dominio surpirenaico provocaría la migración salina desde las zonas sobrecargadas a las de menos presión, acumulándose a lo largo de la falla, como primer paso en la génesis de los diapiros.

La Hoja de Gulina incluye la totalidad del diapiro de Anoz, así como parte de los de Ollo, e Iza.

El diapiro de Iza presenta una forma alargada de dirección NNO-SSE, es decir transversal a la dirección principal surpirenaica, apreciándose la verticalización de la cobertera en su borde occidental. Los accidentes transversales han sido interpretados como el resultado de una deformación prealbiense (MARTINEZ TORRES, 1989), con posible influencia diapírica, reactivados durante el Terciario. De acuerdo con ello, la estructura de Iza habría condicionado la sedimentación desde el Cretácico inferior hasta comienzos del Eoceno, siendo su disposición actual el resultado de la compresión alpina, que habría llegado a volcar su flanco occidental.

El diapiro de Anoz presenta numerosas características comunes al de Iza, orientándose según NO-SE. Sus mayores dimensiones permiten una descripción más detallada del mismo, destacando la intensa deformación de sus bordes: verticalización e inversión de las capas en el borde suroccidental, posible fracturación radial del nororiental y conjunto de fallas normales paralelas a la estructura en el suroriental. Su disposición recuerda la de las estructuras prealbienses, si bien su actuación diapírica posterior no parece ofrecer dudas, al condicionar notablemente la sedimentación paleocena.

En cuanto al diapiro de Ollo, es el que presenta de forma más nítida las características de un diapiro típico, como forma subcircular, bordes verticalizados y fracturación radial. Junto con el diapiro de Anoz parece haber condicionado la sedimentación de la

zona en el Paleoceno y parte del Eoceno (masas arrecifales en el Paleoceno inferior, creación de una cuenca entre ambos en el Biarritziense).

3.3. CRONOLOGIA DE LA DEFORMACION

Si bien la evolución tectónica de la región puede referirse al ciclo alpino, éste se vio fuertemente influido por los fenómenos acaecidos durante el período tardihercínico.

Durante el intervalo Estefaniense - Pérmico tuvo lugar una fase de fracturación de escala continental, conocida como etapa tardihercínica y caracterizada por la génesis de desgarres de direcciones NE-SO y NO-SE. Si bien esta fase es poco evidente en la Hoja, entre los accidentes tardihercínicos más destacados en la historia posterior de la región, se encuentran las fallas de Pamplona y Norpirenaica, esta última actuando como límite entre las placas Ibérica y Europea, y desempeñando un papel fundamental en la apertura del golfo de Vizcaya y como línea transformante durante la deriva de Iberia.

En general, los accidentes tardihercínicos constituyen un elemento fundamental en el posterior ciclo alpino, puesto que su reactivación durante la distensión mesozoica controló la geometría de las cuencas de sedimentación y a lo largo de la compresión terciaria actuaron como zonas de debilidad, a favor de las cuales se produciría el desplazamiento de cabalgamientos y desgarres.

A grandes rasgos, el ciclo alpino comprende dos periodos de carácter geodinámico diferente: una larga etapa coincidente con el Mesozoico, en la que la región se encontraba situada en un dominio de divergencia y traslación de placas, con creación de cuencas de sedimentación, y un período más corto, que abarca parte del Terciario, en el que la convergencia y posterior colisión de las placas Ibérica y Europea daría lugar a la génesis del orógeno pirenaico.

La historia tectónica de la zona durante el Mesozoico, sólo puede reconstruirse a partir de la etapa distensiva reconocida a comienzos del Jurásico por la fragmentación de la plataforma marina y el ascenso de magmas basálticos de composición toleítica, que dieron lugar a las masas ofíticas englobadas en los materiales triásicos.

Los movimientos neokiméricos acontecidos durante el intervalo Jurásico - Cretácico y relacionados con el proceso de apertura del golfo de Vizcaya provocaron un cambio en la geometría de las cuencas, estructuradas en una serie de surcos y umbrales de orientación NO-SE. Las últimas manifestaciones del proceso de rifting, acontecieron en el Albiense durante la denominada fase austriaca, que estructuró la región según los diversos dominios sedimentarios característicos del Cretácico superior. Con ella, los macizos paleozoicos se elevaron próximos a su posición actual, estableciéndose en la cuenca una serie de surcos y umbrales; entre éstos últimos se encuentran los de Anoz y Iza.

Tras la deriva de la placa ibérica hacia el SE a lo largo del Cretácico superior, a comienzos del Terciario, la región se encontraría situada en el ámbito de una cuenca marina comprendida entre las placas Ibérica y Europea, habiendo finalizado la rotación antihoraria de Iberia con respecto a Europa. Con esta configuración, se produjo el acercamiento definitivo entre ambas placas, culminando en el sector en cuestión con su colisión durante el Eoceno, coincidiendo con la denominada fase pirenaica, si bien el régimen compresivo perduró hasta comienzos del Mioceno. No obstante, a lo largo del Paleoceno y parte del Eoceno, la cuenca sufrió la acción de masas diapíricas con las consiguientes deformaciones asociadas.

La estructura alpina de la región es función de la orientación e intensidad de las fases compresivas, la distribución de los accidentes del zócalo y la naturaleza y disposición de los materiales de la cobertera sedimentaria. Siguiendo el esquema general de la región, la facies Keuper actuó como nivel de despegue a favor del cual tuvieron lugar las aloctonías de la cobertera. Así, en el marco de la Hoja, la compresión alpina se refleja por desplazamientos y génesis de pliegues de orientaciones diversas

Durante el período compresivo, la falla de Pamplona se mostró activa, con un comportamiento complejo, puesto de manifiesto de forma diferente a ambos lados de la misma (MARTINEZ TORRES, 1989). Así, durante el Eoceno, al O de la falla tuvo lugar una fase compresiva de vergencia N que dio lugar al desplazamiento de la sierra de Aralar, mediante la génesis de cabalgamientos en su frente; ya a lo largo de esta fase, la falla de Pamplona actuó como rampa lateral del Arco Vasco.

Una segunda fase compresiva, de vergencia S, actuó durante el Oligoceno-Mioceno inferior a ambos lados de la falla. Al E de la misma dio lugar a aloctonías cuya

representación es el cortejo de pliegues y cabalgamientos vergentes hacia el S situados en el sector septentrional de la Hoja. Al O de la falla, el principal resultado de esta fase es la retrovergencia de las estructuras generadas en la sierra de Aralar durante la fase de vergencia N.

4. GEOMORFOLOGIA

4.1. DESCRIPCION FISIOGRAFICA

La Hoja a escala 1:25.000 de Gulina (115-III), se encuentra situada en el sector septentrional de la provincia de Navarra, al norte de Pamplona y en un área de grandes contrastes altimétricos, con algunos relieves importantes. Fisiográficamente, existen tres sectores de diferente morfología:

.Relieves septentrionales.

.Sierra de Andía

.Cuenca de Pamplona.

El primer sector, ocupa el tercio septentrional y está constituido por materiales del Cretácico superior y del Paleógeno fundamentalmente. Se caracteriza por un relieve de alturas medias comprendidas entre 600 y 700 m, con las cotas más altas en Gaztelu (960 m), Sollaondi (854 m) y Vizcay (823 m), y las más bajas en el valle del río Araquil, con 450 m aproximadamente. Este relieve está bastante incidido por la red de drenaje y da como consecuencia una serie de montes alargados y colinas, a veces de gran envergadura, y de carácter mayoritariamente estructural.

El segundo sector, limitado a la esquina suroeste de la hoja es el correspondiente a la sierra de Andía. Está formada por materiales calcáreos, donde se localizan las alturas predominantes de la Hoja, como el monte Saldise, con una cota de 1.123 m.

Finalmente, la Cuenca de Pamplona ocupa el cuadrante suroriental, observándose un gran descenso en las cotas, con una altura media de 470 m, localizándose las cotas más bajas en el límite S. Los materiales dominantes pertenecen al Eoceno medio, concretamente al Biarritziense, sin olvidar los de edad cuaternaria, debidos a la acción fluvial y de las laderas. El relieve general es muy suave, prácticamente llano, aunque existen pequeñas lomas y algunos relieves aislados, pero de envergadura moderada.

La red de drenaje (Fig. 5) se ordena en torno al río Araquil, en la mitad O de la Hoja, que discurre con una dirección NNO-SSE y un trazado entre sinuoso y meandriforme.

Sus afluentes por la margen izquierda son los barrancos de Gulina, Artiza, Sandaria y el río Justapeña; estos últimos ofrecen una dirección general N-S. En general, la red de drenaje tiene una morfología muy controlada por las características geológicas y por la estructura, adaptándose en cada caso a los niveles más blandos o a las líneas de debilidad debidas a fallas y fracturas.

Las características climáticas vienen parcialmente reflejadas en uno de los esquemas que acompañan al mapa geomorfológico. En él se observa que la precipitación media anual está comprendida entre 950 y 1.200 mm, con una temperatura media anual entre 11 y 13°C, con máximas de 36°C en el mes de julio y mínimas de -9°C en Enero. Aunque estos parámetros definen un tipo climático Mediterráneo Templado con un régimen de humedad Mediterráneo Templado Húmedo, lo cierto es que hay una cierta tendencia a la continentalidad en el sector septentrional, con influencia de clima de montaña e importantes precipitaciones de carácter sólido.

4.2. ANTECEDENTES

Los trabajos geomorfológicos relativos a este sector del Pirineo navarro, son muy escasos por no decir prácticamente inexistentes, aunque sí hay algunos textos de carácter general o regional que han servido de partida a este estudio.

Un gran avance, en este sentido, es el que se produce en las últimas décadas con motivo de la realización de las Hojas geológicas a escala 1:50.000, del Plan MAGNA. En ellas se aportan, al menos, nuevos datos sobre las características de los depósitos más recientes, concretamente de edad cuaternaria. Por otra parte, la realización por el I.T.G.E. y ENRESA del "Mapa Neotectónico y Sismotectónico de España, a escala 1:1.000.000", arroja algunos datos complementarios sobre este sector de Navarra.

4.3. ANALISIS MORFOLOGICO

En este apartado se describe el relieve bajo dos puntos de vista fundamentales: uno de carácter estático o morfoestructural y otro dinámico. El primero considera el relieve como una consecuencia del sustrato geológico y la disposición de sus materiales y el segundo, analiza la importancia de los procesos exógenos sobre dicho sustrato, así como las características de los mismos.

4.3.1. Estudio morfoestructural

Los mayores relieves se localizan en la mitad N y en la esquina SO de la Hoja, donde la existencia de importantes masas calizas y la coexistencia de materiales con diferente grado de competencia, dan lugar a grandes crestas y resaltes estructurales. Estos, como sucede en el sector septentrional, ofrecen una gran continuidad lateral, poniendo de relieve el trazado de las estructuras; a veces se encuentran interrumpidas por la incisión de la red fluvial, muy acusada en algunas ocasiones.

La mayoría de los resaltes estructurales del sector norte, al igual que las estructuras, llevan una dirección E-O, con ligeras desviaciones. Destaca entre todas, la que partiendo del Collado de Ollarregui, atraviesa la Hoja, casi por la mitad, pasando por los parajes de Vizcay, ermita de San Miguel y ermita de San Bernabé. Existen otras, también de gran longitud, más al N y con trazados paralelos. Siguiendo estas estructuras se reconocen escarpes, resaltes de capas duras y, cuando el buzamiento de las capas es el adecuado, se observan también cuestas y hog-backs.

En el extremo SO, la cresta principal posee una morfología semicircular con el escarpe occidental mucho más acusado que el oriental, extendiéndose desde el pico Saldise hasta el arroyo Udarve.

Por otra parte, la presencia de materiales diapíricos en el cuadrante SO, también ofrece un ejemplo de la relación del relieve con la litología y la estructura. Si se superpone el mapa geomorfológico al geológico, se observa la adaptación de la red de drenaje a estas estructuras. Así, el río Araquil a su paso por el diapiro de Anoz tiene que desarrollar una serie de acusados meandros, con el fin de sortear los materiales más duros de origen calizo y subvolcánico, presentes en estas estructuras, circulando por los más blandos. Asimismo, todo el conjunto de materiales más competentes, dentro de los diapiros, dan lugar a cerros cónicos o a otros tipos de relieves positivos, contrastando con la suavidad del relieve de los materiales arcillosos que los rodean.

Por otra parte, la morfología de la red de drenaje es otro de los aspectos que mejor refleja la influencia de la estructura en la configuración del relieve y en la distribución de las diferentes unidades fisiográficas. También la linealidad de muchos cauces y la

orientación preferente de algunos de ellos, según determinadas direcciones, así como los cambios bruscos en los perfiles longitudinales y transversales, indican que las aguas circulan preferentemente por las zonas de mayor debilidad o de máxima pendiente.

Se observa una variación en las direcciones y en la densidad del drenaje de un sector a otro. Una dirección importante es la N-S, tanto en el río Araquil como en la mayoría de los cursos que se ubican en el sector de la Cuenca de Pamplona. La dirección E-O es muy frecuente en el tercio O, en la red de arroyos secundarios. Al observar el mapa geológico se ve clara la relación existente entre drenaje y estructura, pues en este sector, la totalidad de las estructuras tienen esa misma dirección. En cuanto a las direcciones NO-SE y NE-SO, son menos frecuentes; se adaptan a ellas algunos arroyos de la red secundaria y también se observan alineaciones de cambios bruscos de dirección en los perfiles longitudinales. La dirección NE-SO es importante, pues es la de la gran falla de Estella, siendo la NO-SE su complementaria.

Sobre la morfología general de la red, ya se han señalado algunos casos pero es interesante incidir en el cambio existente de N a S, tanto en direcciones como en densidad. Todo ello tiene que ver con la diferencia geológica y estructural existente. La disminución de drenaje es obvia por la llegada del mismo a una zona donde el relieve disminuye de forma considerable, y ofrece una morfología de suave a plana, dominando aquí las líneas de máxima pendiente.

4.3.2. Estudio del modelado

En este apartado se analizan y describen las diferentes formas cartografiadas, tanto de carácter erosivo como sedimentario y que han sido originadas por la acción de los procesos externos. También se describen estos procesos y su importancia en el modelado de la zona. Concretamente, en la Hoja de Gulina, tres son las morfologías principales: fluvial, estructural y de ladera; las morfologías cárstica y poligénica completan el espectro de formas.

4.3.2.1. Formas fluviales

La morfología fluvial tiene un gran desarrollo, aunque con un predominio claro de los tipos erosivos. Los depósitos más representativos corresponden a las terrazas del río

Araquil y algunos de sus afluentes, y también del río Justapeña. Los conos de deyección, los abanicos aluviales, los fondos de valle y la llanura de inundación del río Araquil conforman el conjunto de depósitos fluviales de la Hoja.

Dichas terrazas están constituidas por gravas y cantos de caliza, dolomía, cuarcita, cuarzo y arenisca con una matriz arcillo-arenosa. Sus características texturales y de potencia se describen con más detalle en el apartado de formaciones superficiales. Por lo que respecta a la morfología, ofrecen una superficie totalmente plana con escarpes muy netos hacia el cauce actual. Se trata por lo general de terrazas colgadas, salvo los niveles más próximos al aluvial, que aparecen solapadas o encajadas, no dejando ver el sustrato infrayacente.

El río Araquil, sólo presenta una terraza baja, inferior casi siempre a +10 m, mientras que sus afluentes por la izquierda, que se ubican en el sector centro meridional, desarrollan un nivel a +20 - 25 m. Por otra parte, en la esquina SE, el río Justapeña ofrece dos niveles colgados a +10 - 15 m y a +20 - 25 m. Los afloramientos son de mediano desarrollo y permiten la observación del depósito en sección. Por lo general son formas alargadas paralelas al cauce que las ha originado y mayoritariamente se presentan con una dirección N-S.

El río Araquil, en algunos tramos de su recorrido, desarrolla una llanura de inundación de escaso desarrollo lateral. Este hecho puede observarse en las proximidades de Anoz y en el límite meridional.

También pertenecen a este grupo los conos de deyección, formas no demasiado frecuentes que se originan a la salida de algunos arroyos y barrancos en su confluencia con otros cursos de rango superior. Su tamaño varía desde pocos metros hasta algo más de medio kilómetro de longitud, destacando los que aparecen en el valle del Araquil, en su sector más septentrional. El resto de los existentes son de dimensiones bastante más reducidas.

Otro tipo de depósitos incluidos en este grupo son los abanicos aluviales situados entre Atondo y Ochovi y que están relacionados con el proceso de formación de un piedemonte. Se trata también de formas cónicas, desarrolladas en la falda S de estos relieves y de mayor pendiente que los conos. Son formas muy próximas y por tanto terminan por coalescer entre ellas, dando lugar a una banda.

Los fondos de valle están constituidos por un conjunto de cantos y gravas de caliza, dolomía, cuarcita, arenisca y otros, empastados en una matriz de carácter arcilloso. La morfología de estos depósitos, en planta, es estrecha y alargada con un trazado sinuoso en el que se intercalan tramos rectilíneos. En algunos valles, como en el del río Justapeña, alcanzan mayor desarrollo, llegando casi a los 500 m, lo que es debido a la existencia de materiales menos competentes y a un relieve más suavizado donde el río encaja con mayor facilidad dando lugar a un valle de cierta amplitud.

Por lo que se refiere a las formas fluviales de carácter erosivo, se reconocen zonas con importante excavación lateral de los cauces como sucede en los sectores cóncavos de los meandros del río Araquil, con formación de escarpes laterales que ofrecen cierta inestabilidad. También se producen procesos de incisión vertical, sobre todo en la mitad N de la hoja y en la sierra de Andía, muchas veces favorecidos por el desarrollo del carst. El resultado son una serie de barrancos en "v". Este acusado proceso de erosión se debe a que es una zona de montaña, donde las pendientes son muy acusadas, superando a menudo el 20%. En estas condiciones, las aguas de escorrentía producen fuertes incisiones y entalladuras que dan lugar a una abrupta morfología, donde alternan los barrancos en "v" con los interfluvios en arista. La existencia de materiales blandos, intercalados en otros más duros, favorece el desarrollo de estas formas.

4.3.2.2. Formas de ladera (gravedad - vertiente)

Dentro del conjunto de formas de ladera, se han reconocido, con mayor o menor desarrollo, coluviones, desprendimientos o caídas de bloques, canchales y deslizamientos.

Los coluviones aparecen al pie de las laderas, siendo originados por la acción conjunta del agua y de la gravedad. Son frecuentes en los principales valles como los del Araquil y Justapeña, dando una serie de bandas estrechas y alargadas, paralelas a los cauces. Los de mayor tamaño aparecen sin embargo en la Sierra de Andía, al sur de la localidad de Ulzurrun, donde un gran escarpe, con una diferencia topográfica muy acusada, favorece la formación de este tipo de depósitos. En el caso de los valles, los coluviones suelen relacionarse lateralmente con los depósitos de los conos de deyección. Otras veces, y en zonas de fuerte pendientes, pueden reconocerse

derrubios ordenados, aunque la dificultad de observación de muchos de estos depósitos, ha llevado a incluirlos dentro del mismo grupo.

También se han cartografiado las grandes acumulaciones de cantos y bloques conocidas como canchales y que se diferencian de los coluviones por su escasa proporción de matriz, dando lugar a una estructura interna de tipo granosoportada.

Los deslizamientos son también consecuencia de las altas pendientes y de la presencia de litologías blandas o al menos alternantes. Aparecen en las proximidades de Larumbe, donde a veces alcanzan un tamaño considerable, dando lugar a magníficos ejemplos perfectamente reconocibles en el estudio fotogeológico. Este tipo de movimientos, en la contigua Hoja de Irurzun (115-I) han originado algunos problemas en la construcción de la autovía de Leizarán, siendo bastante frecuentes, incluso en los taludes abiertos como consecuencia de la obra. En algunos de ellos se observa claramente la cicatriz de despegue y la masa deslizada. En general son de carácter rotacional, pero a veces pueden ser solifluidales.

Finalmente, en relación a los movimientos de ladera, se han señalado todas aquellas zonas donde se han observado bloques caídos de grandes dimensiones. Son frecuentes en numerosas laderas, al pie de los escarpes calcáreos y de las crestas. Pueden ser de orden centimétrico a decamétrico y se producen por ruptura e inestabilidad del material rocoso en el escarpe.

4.3.2.3. Formas cársticas

Aunque bastante frecuentes en esta zona de Navarra, no tienen una gran representación en la Hoja de Gulina, observándose algunas manifestaciones en la esquina SO, en las estribaciones de la Sierra de Andía, donde existen algunas dolinas, así como un importante lapiaz. La cobertura vegetal, relativamente espesa, definen a este complejo, al menos dentro de la Hoja, como un carst semicubierto.

El escaso desarrollo de formas mayores se debe quizás a la ausencia de una superficie horizontal o subhorizontal que permite la entrada fácil de agua meteórica. Por el contrario, lo que existen son pendientes acusadas y esta quizás sea la causa de que la mayor manifestación cárstica sea de lapiaz. En él se pueden observar las formas menores como: pasillos, surcos, crestas, senos, alveolos, etc., frecuentemente

rellenos de arcillas de descalcificación. La influencia de la fracturación es fundamental en este tipo de procesos, además del clima, pues la existencia de una estación fría con precipitación sólida acelera el proceso de disolución, debido a que las aguas de fusión son muy agresivas.

Las arcillas de descalcificación son el producto resultante y residual de la disolución de los carbonatos. Dicho producto no tiene una morfología definida puesto que rellena cualquier hueco, tanto una dolina como una grieta; por tanto potencia y dimensiones, dependen en cada caso del desarrollo del carst. Por lo que se refiere al tiempo de actuación de dichos procesos, no es fácil de precisar, pero muchos autores suponen que puede iniciarse a finales del Terciario o principio del Cuaternario, siendo, en la mayoría de los casos, funcionales en la actualidad.

4.3.2.4. Formas poligénicas

Son todas aquellas en las que intervienen dos o más procesos en su formación; están representadas por los glacis y los aluviales - coluviales. Por lo que a los primeros se refiere se han podido diferenciar dos tipos: un glacis de acumulación y varios glacis de cobertera, de edad más reciente.

El glacis de acumulación se localiza entre Zuasti y el límite meridional. Tiene un depósito conglomerático de color pardo rojizo de varios metros de potencia. Parece una superficie plana, algo cóncava hacia su zona apical. Se sitúa en un área de interfluvio y parece estar en relación con el encajamiento de la red de drenaje.

Encajado en este glacis, aparecen otros, que denominamos de cobertera y que constituyen formas de relieve muy suave, en las zonas más bajas de las vertientes de los arroyos secundarios, como sucede en la ermita Ligarra, Iza, Loza, etc., es decir, casi siempre en el sector meridional, de menor relieve. El depósito de estos glacis es menos potente, apenas métrico, dando una película de sedimentos que cubre las laderas.

También en el sector meridional, en las cabeceras de los arroyos se forman unos sedimentos mixtos, de origen aluvial - coluvial, es decir en los que se mezclan los materiales transportados por los ríos y una serie de aportes laterales, procedentes de las laderas. La imposibilidad de separarlos, lleva a incluirlos en el mismo conjunto

cartográfico. El perfil transversal de estos depósitos es en "u" o en artesa y en general se originan en valles amplios y muy suaves.

4.3.2.5. Formas antrópicas

Se incluyen aquellas acumulaciones o huecos producidos por el hombre y que, aunque con carácter local, modifican el relieve existente.

Entre las acumulaciones destacan las escombreras procedentes de minas y canteras y los echadizos debidos a las obras públicas. Entre los huecos destacan fundamentalmente las canteras o explotaciones. La principal característica de las acumulaciones antrópicas es la irregularidad litológica y la escasa compactación del material que puede dar lugar a algunos problemas de índole geotécnica.

4.4. FORMACIONES SUPERFICIALES

Se definen como tales todos aquellos materiales coherentes o no, que han podido sufrir una consolidación posterior y que están relacionados con la evolución del paisaje que se observa en la actualidad (GOY et al., 1981). Su característica principal es que deben ser cartografiables a la escala de trabajo y estar definidas por una serie de atributos tales como geometría, textura, litología, potencia, génesis y en ocasiones, edad.

Las formaciones superficiales más representativas son las de carácter fluvial. Destacan, entre ellas, los fondos de valle, formados por un conjunto de cantos y gravas de naturaleza calcárea y dolomítica fundamentalmente, aunque también existen de cuarcita, cuarzo, areniscas, y otros, embutidos en una matriz arcilloso - arenosa con cierto contenido en carbonatos que a veces se acumulan alrededor de los cantos, formando una especie de envuelta denominada camisa. El tamaño medio de los cantos está comprendido entre 4 y 7 cm y el tamaño máximo observado en el terreno es de unos 40 cm aproximadamente; es probable que en otros puntos puedan alcanzar mayores tamaños por la proximidad a grandes relieves, las diferencias altimétricas y la alta pluviometría. La presencia de una estación fría favorece la alteración mecánica y la puesta en movimiento de los fragmentos de roca a través de los cauces. La potencia de estos depósitos no es visible en la mayoría de los casos, pero no parecen superar los 4-5 m. Los aluviales de mayor desarrollo corresponden a

los ríos Araquil y Justapeña. La edad de estos depósitos es holocena, por representar la última etapa sedimentaria de la red fluvial actual.

Asociados a los fondos de valle, aparecen los conos de deyección con su típica forma en abanico y ofreciendo muy diferentes tamaños según la amplitud y longitud de los valles que los originan y en los que desembocan. Los de mayor desarrollo se encuentran en el valle del Araquil, en su sector septentrional. Se trata también de depósitos de textura granular heterométrica y poco consolidados. Su litología es muy similar a la de los fondos de valle, puesto que en la mayoría de los casos tienen en común el área madre, aunque es posible la existencia de diferencias locales. Por lo que se refiere al tamaño de los granos, se aprecian grandes variaciones dentro del mismo depósito, desde la zona apical a la distal, disminuyendo mucho de la primera a la segunda. La potencia varía en el mismo sentido desde 6 - 7 m hasta pocos centímetros, siendo algo más potentes los que tienen menor tamaño. Al igual que a los fondos de valle, a estos depósitos se les asigna una edad holocena por su relación con ellos, apareciendo interdentados sus depósitos. Hay que señalar que muchos de ellos son funcionales en la actualidad.

Los abanicos aluviales existentes entre Atondo y Erice, que dan lugar casi a un piedemonte, están formados por material del gran relieve estructural que sirve de área madre. El tamaño de sus elementos en el sector apical es bastante considerable. Son bloques escasamente redondeados en una abundante matriz, reconociéndose un depósito de debris flow. La matriz es arcillo-arenosa, bastante pardo rojiza, debido a su procedencia de materiales carbonatados. La potencia en las zonas apicales pueden superar los 10 m. Se les asigna una edad pleistocena pues parecen estar desconectadas de la red fluvial actual.

Las terrazas son formaciones superficiales relativamente abundantes que aparecen en el valle del río Araquil y en alguno de sus tributarios como el Justapeña. Aparecen, en líneas generales, niveles a +3 - 10 m, +10 - 14 m y +20 - 25 m. Las observaciones realizadas sobre el terreno permiten definirlos como un conjunto de gravas y cantos, con abundantes bloques, de naturaleza mayoritariamente calcárea (calizas y dolomías), aunque también aparecen de cuarcita, cuarzo y arenisca. La matriz es de naturaleza arcillosa con cierto contenido en arena y suele presentar tonos pardo-rojizos o rojizos. La potencia, no siempre visible, alcanza en algunos afloramientos 3 m, pudiendo alcanzar en otros puntos valores algo más altos. El análisis de la

distribución de sus elementos apunta a un medio fluvial de carácter braided con cicatrices erosivas, imbricaciones de cantos, laminaciones y estratificaciones cruzadas, etc.

El tamaño medio de los cantos se sitúa entre 4 y 7 cm con abundantes bloques. El tamaño máximo observado en el terreno es de unos 40 cm. La edad de estos depósitos es Pleistoceno medio y superior.

En el río Araquil, aunque muy poco desarrollados, se reconocen depósitos de llanura de inundación. Su litología es similar a la de los fondos de valle, pero se reconoce a techo un nivel arcilloso-limoso de 0,5 - 1 m de potencia, que corresponde a las facies de desbordamiento.

Por lo que se refiere a las formaciones superficiales de ladera, se describen solamente coluviones y canchales. Los coluviones tienen una naturaleza mayoritariamente arcillosa, aunque poseen un alto contenido en clastos heterométricos de diversa naturaleza, según el sustrato que los alimenta. Los pequeños cortes observados muestran una disposición en lechos que indica los diferentes aportes que van confeccionando el depósito. Por lo general los clastos son calcáreos y muy angulosos, con una gran heterometría. Aunque abundan los materiales finos, en ocasiones se observan niveles con total ausencia de matriz. La potencia de estos depósitos es muy variable, oscilando desde un tapiz superficial de pocos centímetros hasta importantes acumulaciones de varios metros.

Los canchales están constituidos por una importante acumulación de cantos y bloques de gran heterometría, con muy escasa matriz. Los bloques pueden sobrepasar en ocasiones 1 m. Aparecen a distintas alturas de la ladera pero lo más frecuente es que lo hagan inmediatamente por debajo del escarpe calcáreo. La potencia de estos depósitos suele variar entre 0,5 y 3 m, no descartando la posibilidad de mayores espesores puntualmente. Se les asigna una edad reciente (Holoceno - actual).

Las formaciones superficiales de origen cárstico están representadas por las arcillas de descalcificación, con muy escasa presencia. Aparecen rellenando algunas dolinas, uvalas y las formas menores del carst, como son los lapiaces. Se trata por lo general de "terras rossas" o "terras fuscas" con colores que varían desde un rojo vinoso a un pardo rojizo e incluso a un pardo-amarillento. Contienen además cierta proporción de

arenas y limos, así como algunos fragmentos de rocas carbonatadas que se desprenden de la roca original. La potencia de estos depósitos es difícil de calcular por diversos motivos, entre los que destacan la inaccesibilidad del relieve y a veces la densa vegetación. Todo ello impide la observación directa del perfil de una dolina con su relleno de fondo. La variabilidad depende de la intensidad del proceso, del tamaño de la dolina y de la textura de la roca madre.

Por último, hay que considerar las formaciones superficiales de carácter poligénico, representadas por los glaciares y los aluviales - coluviales.

El glacis de acumulación está constituido por un depósito de cantos, mayoritariamente de naturaleza calcárea, con algunas areniscas. Presenta tamaños medios comprendidos entre 4 y 7 m, con un tamaño máximo observado en campo, de 17 cm y una matriz arcillosa - arenosa de color pardo-amarillento. Las características del depósito parecen indicar un transporte fluvial, reconociéndose cicatrices erosivas y rellenos de fondo de canal, además de algunas imbricaciones de cantos. La potencia oscila entre 2 y 3 m incluyendo el suelo formado a techo, de color pardo rojizo, con un desarrollo de unos 30 cm. Se le asigna una edad pleistocena.

Los glaciares de cobertera, encajados en el anterior, son de menor envergadura y su depósito está constituido por una fina película de arcillas y arenas con pequeños cantos subredondeados o redondeados, constituyendo suaves formas de enlace de los pequeños valles con los interfluvios.

Finalmente, los depósitos de aluvial - coluvial presentan características mixtas de los depósitos anteriormente descritos.

4.5. EVOLUCION GEOMORFOLOGICA

La evolución geomorfológica de la Hoja de Gulina se encuentra inmersa dentro de la evolución regional, por lo que siempre hay que enmarcarla en un contexto más amplio, debido a la necesidad de tener puntos de referencia claros, de carácter regional.

Geomorfológicamente, no existen en la Hoja puntos de referencia que puedan servir como base de partida para establecer una evolución de procesos y formas, por lo que

es necesario salirse de este ámbito de estudio. En Hojas próximas como la de Cizur (141- I), se reconocen una serie de retazos de una antigua superficie de erosión que, por las cotas a las que se sitúa (900-1.000 m), se sugiere su equivalencia con la Superficie de Erosión Fundamental de la Cordillera Ibérica (PEÑA et al., 1984) a la que se atribuye una edad Vallesiense - Plioceno, aunque por el conocimiento que ya se va teniendo de la misma, algunos autores suponen que no sobrepasa el Turoliense. Es decir, a grandes rasgos esta superficie indicaría el final de la erosión y por tanto del relleno neógeno, representado en la mayoría de las cuencas por las "Calizas del Páramo".

Al finalizar la sedimentación terciaria, existe un período en el que tienen lugar una serie de procesos edáficos con formación de costras, carsts, etc., que dejan su huella en las calizas terminales de las principales cuencas. Quizás en este período podría integrarse la superficie de erosión que aquí aparece y que se ha denominado Superficie de Erosión Inferior, puesto que es más joven que la superficie de Erosión Fundamental y más antigua que el inicio de la erosión fluvial. Este cambio supone que los grandes ríos, en su proceso de erosión remontante, llegan a las cuencas, capturando los pequeños cauces recién instalados y se inicia la erosión de los mismos con evacuación de los sedimentos fuera de ellas. Este cambio no es sincrónico en todos los puntos de las grandes cuencas, pero sí se supone que marca el paso del Terciario al Cuaternario.

En un área como la de estudio, que constituye la cabecera y el área madre de una gran cuenca, como es la Cuenca del Ebro, no existen sedimentos postorogénicos, a excepción de los cuaternarios. Esto hace que el encajamiento produzca profundas incisiones y valles, dando lugar a un relieve con grandes diferencias altimétricas, en el que son frecuentes barrancos, cañones, hoces, aristas, como corresponde a una morfología abrupta.

Paralelamente al proceso de encajamiento de la red, en las laderas se originan áreas de erosión y áreas de sedimentación, ocupando estas últimas las partes más bajas de los valles donde se desarrollan coluviones, glaciares, deslizamientos, etc.

Para finalizar este apartado hay que añadir que a medida que avanza el Cuaternario (Pleistoceno medio y superior), la red fluvial continúa su proceso de instalación dejando en algunos tramos depósitos aluviales (terrazas). Se inicia además la

formación de nuevos cauces, es decir, la red secundaria. Mientras tanto, la morfología que se va elaborando tanto en las laderas (cóncavas, convexas, regularizadas, etc.), como en los valles (simétricos, asimétricos, en artesa, en "v", en "u", etc.) depende en cada punto de la litología, del clima y de la tectónica local.

4.6. PROCESOS ACTUALES

Se reconocen como en casi todas las Hojas del entorno, tres tipos de procesos que actualmente son frecuentes:

-Erosión fluvial

-Alteración química (carstificación)

-Movimientos de ladera (gravedad)

Dentro de la erosión fluvial uno de los procesos más acusados es el de incisión vertical de la red que ha dado lugar a profundos barrancos, sin depósito alguno, como sucede en algunos tramos de la red secundaria. El hecho de esta intensa erosión se debe a que la zona pertenece a un área de montaña, próxima a una gran divisoria, donde se instalan numerosas cabeceras, por lo que dicha erosión va a ser dominante, al menos en un futuro inmediato. Esta erosión será más o menos intensa dependiendo de los movimientos tectónicos recientes, del nivel de base general y sobre todo de la competencia o incompetencia de los sedimentos.

Por lo que a los procesos de alteración química se refiere, no afectan a una gran extensión, pero no por ello carecen de interés. Se reconocen en las estribaciones de la sierra de Andía. Tanto la litología como el clima de la región favorecen este tipo de procesos.

Los procesos de ladera también se manifiestan activos y están representados por las caídas de bloques y algunos deslizamientos. Los primeros se producen a partir de los escarpes carbonatados del Cretácico - Paleoceno, debido a su gran extensión superficial y a su amplio grado de fracturación. El agua meteórica penetra por las numerosas discontinuidades (diaclasas, grietas, fracturas, planos de estratificación, etc.) provocando la apertura de las mismas, durante la estación fría. Este proceso

tiende al aislamiento de los bloques que al estar en una posición de inestabilidad, como sucede en el borde los escarpes, tienden a caer por gravedad, depositándose en cotas inferiores de la vertiente; este hecho es lo normal en la mayoría de los escarpes existentes.

Por otra parte, los deslizamientos, aunque no muy abundantes, también constituyen parte de la dinámica actual. La naturaleza blanda o alternante de algunos materiales, unida al clima y a las fuertes pendientes, favorecen la inestabilidad de las masas a deslizar, una vez que el agua meteórica ha entrado por los planos de discontinuidad y se produce un desequilibrio en el sistema.

Aunque todos estos procesos que se han detallado puedan ser puntualmente de gran envergadura, no se prevén grandes cambios en el relieve en un futuro inmediato. La tendencia a largo plazo es a una suavización de las formas por las diferentes acciones erosivas, con evacuación de los materiales hacia los grandes cursos de agua.

5. PETROLOGIA

Dentro de la Hoja de Gulina (115-III) no existe representante alguno de rocas metamórficas, abordándose en el presente capítulo la descripción de las rocas ígneas aflorantes.

5.1. ROCAS IGNEAS

Están representadas exclusivamente por las masas de rocas subvolcánicas, tradicionalmente denominadas ofitas, que aparecen relacionadas con los afloramientos de materiales triásicos.

5.1.1. Rocas subvolcánicas (1). Ofitas

Son los únicos representantes de rocas ígneas en la Hoja, apareciendo asociadas a los afloramientos de materiales triásicos situados en las zonas diapíricas de Olo y Anoz. Bajo la clásica denominación de ofitas, se engloba una serie de familias de rocas de composición basáltico-andesítica, aflorantes como masas irregulares de pequeñas dimensiones, de tonos verdosos oscuros y aspecto homogéneo. Sus manifestaciones principales se localizan en las proximidades de Anoz.

En ellas predomina la textura ofítica, con plagioclasa y clinopiroxeno como minerales fundamentales, junto a los que pueden aparecer apatito, magnetita, feldespato potásico, anfíbol, epidota, ilmenita y esfena como accesorios, siendo la clorita el mineral secundario más frecuente, en buena parte como producto de alteración de olivino. El grado de alteración es muy variable, siendo máximo en las zonas de diaclasas.

No existe acuerdo entre los diversos autores con respecto a su edad de emplazamiento. Así, las dataciones absolutas aportadas por WALGENWITZ (1976) sugieren su ubicación durante el Sinemuriense, en tanto que otros autores han señalado su emplazamiento próximo al límite Triásico - Jurásico. En líneas generales, las masas ofíticas pueden considerarse como sills andesítico - basálticos muy espilitizados, cuyo emplazamiento durante un evento distensivo liásico ha sido favorecido por la plasticidad de las arcillas de la facies Keuper.

6. HISTORIA GEOLOGICA

El presente capítulo pretende dar una visión generalizada de la evolución paleogeográfica del sector abarcado por la Hoja a escala 1:50.000 de Ansoáin (115), dentro de la cual se encuentra localizada la presente Hoja a escala 1:25.000 de Gulina. Para ello, se ha prestado especial atención a los eventos tectónicos principales y a los ciclos sedimentarios de mayor envergadura que afectan a la región. A grandes rasgos, la historia puede referirse a dos ciclos orogénicos principales: hercínico y alpino.

6.1. EL CICLO HERCINICO

El registro aflorante más antiguo se remonta al Carbonífero, durante el cual la región estaba afectada por episodios turbidíticos correspondientes al depósito de la Fm. Olazar, alimentados a partir del desmantelamiento de las plataformas namurienses. El primer proceso de estructuración a gran escala sobrevino a finales del Carbonífero, durante la fase astúrica de la orogenia hercínica, cuyo principal resultado es la generación de sistemas de plegamiento y cabalgamiento de directrices NO-SE a N-S, observables en el macizo de Quinto Real.

6.2. EL CICLO ALPINO

El denominado período tardihercínico, acaecido en el intervalo Estefaniense - Pérmico, constituyó un episodio de envergadura continental fundamental para la evolución posterior, correspondiente al ciclo alpino. Los desgarres generados, de direcciones NE-SO, NO-SE y E-O, controlaron la geometría de las cuencas de sedimentación mesozoicas y más tarde, durante la compresión terciaria, actuaron como zonas de debilidad a favor de las cuales se produjeron los desplazamientos de cabalgamientos y desgarres. Entre dichos accidentes se encuentran las fallas de Pamplona y Norpirenaica, esta última actuando como límite entre las placas Ibérica y Europea.

La estructuración tardihercínica configuró la región como una serie de horsts y grabens paralelos a los accidentes principales. El relleno sedimentario de los surcos dio comienzo por las zonas más deprimidas, durante el Pérmico y su progresión en la vertical aumentó paulatinamente el área sedimentaria, favoreciendo una disminución

energética, como sugieren los depósitos fluviales y aluviales de la facies Bustsandstein, que constituyen el primer representante del ciclo alpino en la Hoja.

Tras este episodio, la región habría sido nivelada y un ascenso relativo del nivel del mar propiciaría la instalación de una plataforma carbonatada somera en la que se produjo el depósito de la facies Muschelkalk (107). El retroceso marino del Triásico superior permitió la creación de una extensa llanura costera en un ambiente de gran aridez, con característicos depósitos de evaporitas atribuibles a la facies Keuper (109).

Los procesos que tuvieron lugar en el intervalo Triásico terminal - Albiense tan solo pueden ser reconstruidos a partir de los afloramientos de la sierra de Aralar, ante la ausencia de registro en el macizo de Quinto Real, sin que pueda asegurarse si dicha ausencia se debe a falta de depósito o a la acción de procesos erosivos posteriores.

En cualquier caso, al menos en el sector de Aralar, a finales del Triásico se produjo un nuevo avance marino con el que tuvo lugar la instalación de una plataforma marina, característica de la sedimentación jurásica. En primera instancia son típicos los medios restringidos y salobres, con formación posterior de brechas de colapso, que darían paso a ambientes carbonatados someros, aún en el Lías inferior (113). La homogeneidad de la plataforma se perdió en el Sinemuriense, debido a un proceso de fragmentación posiblemente relacionado con el ascenso de magmas andesítico-basálticos, cuyo emplazamiento a favor de los niveles plásticos de la facies Keuper generó las típicas masas ofíticas de la región (1).

Tras la ruptura de la plataforma, un impulso transgresivo provocó la instalación de ambientes de plataforma externa durante el resto del Lías (114), iniciándose a partir del Dogger una secuencia regresiva caracterizada por sedimentación en condiciones de plataforma interna (115), con progradación de facies proximales (125), secuencia que perduró, aunque con interrupciones, hasta el Kimmeridgiense. No obstante, ya a finales del Dogger o comienzos del Malm, se inició un nuevo proceso de estructuración regional, prolongado durante parte del Cretácico inferior, puesto de manifiesto mediante movimientos distensivos, relacionados con el proceso de rifting del golfo de Vizcaya y el comienzo de la deriva de la placa Ibérica hacia Europa.

Dicha estructuración coincide con los tradicionales movimientos neokiméricos, erigidos como protagonistas principales de la evolución paleogeográfica hacia el O de la

cuenca Vasco-Cantábrica durante el tránsito Jurásico - Cretácico, pero no así hacia el sector de Aralar donde los cambios eustáticos adquirieron una influencia mayor. En este contexto, a lo largo del intervalo Portlandiense - Berriasiense se produjo el depósito de la facies Purbeck bajo condiciones salobres con cierta influencia continental, dentro de una secuencia transgresiva culminada en el Valanginiense inferior con el depósito de facies carbonatadas en un ambiente de lagoon (126).

La fase neokimérica más tardía, intravalanginiense, coincidió con el inicio de un evento regresivo caracterizado por el depósito de la facies Weald (128), en un contexto salobre con fuerte influencia continental, finalizado en el Barremiense.

El Aptiense marcó el comienzo de una importante transgresión, mediante la instauración de condiciones marinas someras con aportes detríticos (139), que al disminuir permitirían la construcción de los arrecifes urgonianos característicos del dominio de Aralar (133). Por contra, al N y E de la plataforma urgoniana, la sedimentación tuvo lugar en una cuenca subsidente, mediante episodios de naturaleza turbidítica cuyo resultado son las potentes sucesiones de margas micáceas negras (140) características del dominio de La Ulzama.

La deriva antihoraria de Iberia con respecto a Europa tuvo su principal reflejo durante el Albiense, con la denominada fase austriaca que dio lugar a una nueva reestructuración general. Su principal efecto es la elevación de los macizos paleozoicos, con una distribución próxima a la actual; como consecuencia de una tectónica de bloques y, tal vez, el ascenso diapírico de los materiales plásticos de la facies Keuper, la cuenca quedó compartimentada por una serie de umbrales cuyas manifestaciones más evidentes son los anticlinorios de Lizaso y Echalecu.

En el sector de Aralar se produjo una invasión generalizada de terrígenos que determinó la muerte de los arrecifes, en tanto que el área de cuenca se transformó en un surco alimentado por episodios turbidíticos; esta distribución con una plataforma hacia el SO y un surco turbidítico al N y E, se vio completada con la presencia del macizo de Quinto Real como un relieve emergido al NE, haciéndose sentir por sus descargas terrígenas (135) a la cuenca, caracterizada aún por el depósito de materiales margosos.

La plataforma, fundamentalmente carbonatada, evolucionó en función de las oscilaciones del nivel eustático. La sedimentación se mantuvo en un contexto de plataforma interna (niveles 154, 158 y 161), si bien los máximos transgresivos del Turoniense (156) y Campaniense (186) propiciaron el retroceso de las zonas más externas de la plataforma.

Simultáneamente, en el dominio del surco predominaron los depósitos de naturaleza turbidítica (niveles 166, 167, 185, 187, 184 y 191), si bien la tendencia regresiva general del Cretácico superior dejó sentirse a finales del Maastrichtiense, al uniformizarse la sedimentación de margas de plataforma en toda la zona (niveles 190 y 189), e incluso desarrollarse rasgos edáficos.

A comienzos del Terciario, la deriva de la placa Ibérica con respecto a Europa, habría provocado la colisión de ambas en el sector NE peninsular, habiendo comenzado a configurarse el sector oriental del orógeno pirenaico.

Sin embargo, en el sector occidental, aún no habría comenzado la estructuración pirenaica propiamente dicha, con presencia de un surco turbidítico abierto hacia el NO entre ambas placas, flanqueado por plataformas carbonatadas. En este contexto, el registro Daniense de la Hoja está caracterizado por depósitos calcáreos de plataforma (207), reconociéndose episodios de talud; hacia el O se reconocen facies de alta energía y depósitos arrecifales de tendencias somerizantes.

A finales del Montiense se produjo una independización de los dominios vasco-cantábrico y pirenaico, caracterizados por ambientes de plataforma (niveles 215 y 214) y cuenca turbidítica, respectivamente, de modo que la evolución sedimentaria posterior estuvo condicionada por los avances y retrocesos de la plataforma. Con este dispositivo, el relleno del surco turbidítico durante el Thanetiense - Ilerdiense tuvo lugar a expensas de los materiales procedentes del desmantelamiento de las plataformas carbonatadas del Paleoceno inferior.

Con el Cuisiense se inició un nuevo ciclo, caracterizado por la llegada de materiales terrígenos al surco turbidítico, procedentes de plataformas siliciclásticas orientales, que reemplazaron los aportes carbonatados previos. Estas turbiditas terrígenas, conocidas en la literatura regional como Grupo Hecho, implican una ampliación del surco (nivel 218) y reflejan cierta actividad tectónica, posiblemente con reactivación de

algunos diapiros generados durante el Cretácico (Anoz, Iza,...); en relación con la ampliación del surco, tuvo lugar el evidente retroceso de la plataforma hacia el O, así como la erosión parcial de la plataforma ilerdiense.

El dispositivo anterior se mantuvo durante el Luteciense, destacando únicamente la génesis de eventos megaturbidíticos en el seno del Grupo de Hecho, que permitirían la individualización de varias secuencias de menor rango en la zona de surco. Estas secuencias menores estarían representadas en el ámbito central de la Hoja por diversos avances y retrocesos de la plataforma, dentro de una tendencia global regresiva (niveles 237, 239 y 254).

En las proximidades del límite Luteciense - Biarritziense se produjo una nueva homogeneización de buena parte de la zona, como consecuencia del máximo avance de los ambientes de plataforma hacia el E (260). Ya en el Biarritziense, el esquema anterior cambió ostensiblemente, a consecuencia del hundimiento de la plataforma, estableciéndose una típica sedimentación margosa en la cuenca de Pamplona; posiblemente, este nuevo cambio paleogeográfico estaría relacionado con una etapa de actividad tectónica, precursora de las fases principales de estructuración de la cordillera pirenaica occidental.

La ausencia de depósitos terciarios posteriores al Biarritziense en la Hoja impide establecer una secuencia precisa de acontecimientos, aunque el conocimiento de sectores próximos a ella, permite señalar a grandes rasgos los principales acontecimientos ocurridos. Así, a finales del Eoceno, la compresión pirenaica, manifestada en el sector de Aralar por la creación de estructuras vergentes hacia el N, provocó la retirada del mar hacia el NO, favoreciendo en la cuenca de Pamplona la instalación progresiva de lagunas costeras, caracterizadas por depósitos evaporíticos y, finalmente, ambientes continentales que perdurarían hasta la actualidad.

En el Oligoceno, bajo un régimen continental generalizado, tuvo lugar una nueva fase compresiva, caracterizada por sus vergencias meridionales, con importantes aloctonías, algunas de ellas evidentes en la Hoja, entre las que se encuentra el desplazamiento de la cuenca de Pamplona.

El aspecto que ofrece la región en la actualidad es el resultado de los procesos de modelado cuaternarios sobre la estructura alpina del orógeno pirenaico, culminada

durante la compresión miocena. De entre dichos procesos destacan el encajamiento de la red fluvial, articulada fundamentalmente en torno al río Arga, y, en menor medida, los procesos de gravedad asociados a las vertientes.

7. GEOLOGIA ECONOMICA

7.1. RECURSOS MINERALES

Independientemente de las evidencias de antigua actividad minera en el ámbito de la Hoja de Gulina, relativas a minerales metálicos, sustancias energéticas y rocas industriales, existen en la actualidad dos explotaciones activas, ambas correspondientes al grupo de rocas industriales.

7.1.1. Minerales metálicos

Corresponden a este grupo 5 indicios de hierro y 1 de cinc.

7.1.1.1. Cinc

Se trata de una sustancia de poca importancia en el ámbito navarro, representada aquí por un indicio correspondiente a una mineralización masiva localizada al SO de Sarasa, encajada en materiales carbonatados paleógenos; la mena corresponde a blenda.

Junto al escaso interés despertado por esta sustancia, hay que señalar la ausencia de estudios geológico-mineros relativos a ella, careciéndose de cualquier tipo de datos que permitan estimar las leyes y reservas del posible yacimiento, sin que exista hecho alguno que haga pensar en su futura explotación.

7.1.1.2. Hierro

Pertencen a este grupo 5 indicios relacionados con concesiones mineras relativas a las masas ofíticas del diapiro de Anoz. Aunque son muy numerosos sus indicios en todo el sector navarro, sus posibilidades de aprovechamiento futuro parecen bajas, sin que existan trabajos que permitan evaluar posibles reservas o leyes.

7.1.2. Sustancias energéticas

Se incluye en este apartado el único indicio recopilado, correspondiente a asfalto.

7.1.2.1. Asfalto

Se trata de un indicio localizado en niveles calcáreos paleógenos, al NO de Ilzarbe, de aparente morfología estratiforme. No existen trabajos relativos a la distribución espacial o la génesis de los indicios asfálticos en la región, que serían fundamentales para un aprovechamiento futuro.

7.1.3. Minerales y rocas industriales

Es sin duda el grupo de sustancias de mayor interés en la zona, habiéndose reconocido 5 explotaciones de caliza, 2 de ofita, 1 de gravas y 1 de margas, de las que 2 permanecen activas.

7.1.3.1. Caliza

Es la sustancia que ha sido objeto de mayor número de explotaciones, confirmando el gran interés que tradicionalmente ha existido por ella en Navarra. De las 5 canteras inventariadas, una permanece en activo (Oskía). En la Hoja se han aprovechado los niveles calcáreos del Cretácico superior, Daniense - Montiense y Luteciense - Biarritziense.

Los tipos de caliza aprovechados son muy variables, encontrándose entre ellos calcarenitas masivas, calizas bioclásticas y calizas micríticas. Su utilización fundamental se relaciona con el campo de la construcción, bien como materia prima de áridos de machaqueo o en la elaboración de hormigón, fundamentalmente.

En los últimos años, la explotación de caliza ha sido sustituida parcialmente en la región por otras sustancias que presentan ciertas ventajas según los casos (ofitas, gravas calcáreas, ...). Pese a ello, la amplia representación superficial y volumétrica de los materiales calizos y su necesidad específica en algunos casos hacen pensar en la continuidad de su aprovechamiento en el futuro.

7.1.3.2. Gravas

Tan solo se han inventariado cuatro explotaciones abandonadas, sin duda una mínima representación, especialmente teniendo en cuenta que se trata de la sustancia con

más evidencias de aprovechamiento anterior en Navarra. Una de ellas, situada al S de Ulzurrun, aprovechaba material coluvionar, fundamentalmente brechas calcáreas con matriz areno-arcillosa, cuyo espesor debe estar comprendido entre 5 y 10 m.

Este tipo de afloramientos ha sido objeto de interés recientemente, en relación con la realización de obras en la región; ello es debido a su facilidad de extracción y utilización directa como árido en unos casos, o mediante un simple proceso de lavado, en otros, lo que supone ventajas evidentes frente a sustancias como la caliza, que debe ser sometida a un proceso de trituración antes de su utilización. Por ello, hay que pensar en posibles aprovechamientos futuros de esta sustancia, especialmente en relación con obras de pequeña envergadura.

Las tres restantes canteras se ubican al NO de Iza, correspondiendo a depósitos tradicionales de gravas redondeadas atribuidas a glacis y terrazas, cuyo espesor se sitúa próximo a 3 m. Al igual que en el caso anterior, su ventajas con respecto a otras sustancias hacen pensar en un aprovechamiento próximo, posiblemente relacionado con obras públicas de envergadura local.

7.1.3.3. Margas

Pese a su amplia superficie de afloramiento, se trata de una sustancia escasamente aprovechada, habiéndose observado tan solo una cantera abandonada en el ángulo suroriental de la Hoja. Se trata de margas gris-azuladas de aspecto homogéneo, conocidas tradicionalmente como Margas de Pamplona.

La principal dificultad para la explotación de estos materiales estriba en la presencia de intercalaciones calizo-margosas y calcareníticas, pero dada su gran representación superficial, parece probable que si las necesidades del mercado así lo exigiesen, podrían surgir nuevas explotaciones.

7.1.3.4. Ofita

Son dos las explotaciones correspondientes a esta sustancia, una de ellas activa actualmente (Lete). Ambas se localizan en el ámbito del diapiro de Anoz, ubicándose sobre masas ofíticas de notables dimensiones y morfología parcialmente desconocida.

Entre los principales inconvenientes para su extracción se encuentran la fracturación y la profunda alteración desarrollados. Pese a ello, ya que las ofitas poseen propiedades ventajosas con respecto a otras sustancias para diversas aplicaciones, su aprovechamiento en el futuro parece muy probable.

7.1.4.Explotaciones activas

Como ya se ha señalado, en la actualidad existen dos canteras activas en la Hoja de Gulina: Oskía y Lete.

La cantera de Oskía se localiza en el paraje de la Virgen de Oskía y aprovecha un potente conjunto calcarenítico del Luteciense - Biarritiense; sus dimensiones y producción pueden considerarse medias dentro del resto de explotaciones de calizas en Navarra. Por su parte, la cantera de Lete se ubica en la masa ofítica localizada 500 m al O de la localidad del mismo nombre; su producción es la más elevada dentro de esta sustancia en Navarra, pero en cualquier caso es inferior a la de Oskía.

En ambos casos, la explotación se efectúa a cielo abierto, mediante talud forzado, en varios bancos, con arranque a través de explosivos; el tratamiento del material extraído en ambas canteras se realiza en la planta existente en la cantera de Oskía.

7.1.5.Interés potencial de los recursos minerales

Todas las sustancias que poseen un interés potencial minero dentro de la Hoja de Gulina pertenecen al grupo de minerales y rocas industriales, aunque en caso de variar la posible demanda de minerales metálicos, el hierro parece mostrar las perspectivas más favorables en relación con sus mineralizaciones encajadas en masas ofíticas.

La extensión de los afloramientos de calizas y la fuerte demanda de esta sustancia hacen pensar en la continuidad de su aprovechamiento dentro del campo de la construcción, así como en la posibilidad de su utilización como rocas ornamentales, en el caso de algunas masas de calizas arrecifales. Como se ha señalado, la extensión de afloramientos margosos, especialmente en el sector meridional, apoya la explotación de esta sustancia, utilizada fundamentalmente en la fabricación de cemento. La actual demanda de ofitas y su relativa abundancia también proporcionan

cierto optimismo con respecto a sus posibilidades futuras, como balasto de ferrocarriles y construcción de carreteras.

Finalmente, pese al desinterés mostrado en los últimos años con respecto a la explotación de hidrocarburos, no deben descartarse sus posibilidades futuras en el sector de Aralar, como señalan los indicios asfálticos existentes en su ámbito. Otro tanto puede decirse con respecto a la sal, cuya obtención se produciría en los diapiros de Anoz y Olo.

7.2. HIDROGEOLOGIA

Hidrológicamente, la Hoja de Irurzun pertenece a la Cuenca del Ebro, situándose en el sector septentrional de la misma.

El régimen de humedad oscila entre el tipo Húmedo y el Mediterráneo Húmedo y en cuanto al régimen térmico, es de tipo Templado Cálido. La combinación de estos parámetros permite determinar para esta zona, según PAPADAKIS, un clima que oscila entre Marítimo Templado Cálido y Mediterráneo Templado, con una temperatura media anual comprendida entre 10 y 14°C, y una precipitación media anual que oscila entre 800 y 1.200 mm.

La evapotranspiración potencial, según THORNTHWAITE oscila entre 600 y 750 mm, mientras que la evapotranspiración real oscila entre 580 y 620 mm.

La red hidrográfica está constituida por el río Araquil que recorre el sector occidental y por el río Justapeña de menor rango que el anterior, así como de varios arroyos de distinta importancia.

Al río Araquil, que nace en Alava, se le une en Anoz el río Olo, formado en la surgencia de Arteta con un caudal medio de 100 hm³/año, estimándose una aportación del Araquil en Asiain de 984 hm³. El régimen de este curso fluvial es pluvionival con fuertes crecidas.

En la zonación hidrogeológica realizada por la DIPUTACIÓN DE NAVARRA (1982), esta Hoja se encuentra incluida en su mayor parte en la Unidad de Pamplona - Ochagavía y en el sector suroriental de la Unidad de Aralar.

7.2.1.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. Básicamente se atiende a tres criterios fundamentales: litología, geometría y permeabilidad.

7.2.1.1. Dolomías y calizas. Facies Muschelkalk. Triásico medio

Afloran en el diapiro de Anoz, englobadas en las arcillas y sales de la facies Keuper. Litológicamente, la unidad está formada por dolomías y calizas tableadas, predominando las primeras a muro. En superficie forman unos pequeños resaltes de escasa extensión, con una potencia máxima observable de unos 70 m.

Hidrogeológicamente se estima para este tramo una permeabilidad media - alta por fisuración y carstificación, aumentando en las zonas donde la fracturación es más abundante.

7.2.1.2. Arcillas yesíferas abigarradas. Facies Keuper. Triásico superior

Litológicamente está formada por arcillas versicolores con intercalaciones de yesos, englobando en profundidad importantes masas de sal. Afloran en las zonas diapíricas de Olo, Anoz e Iza. La geometría de estos afloramientos es variable, pero hidrogeológicamente constituyen una barrera impermeable que independiza y aísla los acuíferos limítrofes.

Como se ha indicado, la permeabilidad de estos niveles es prácticamente nula superficialmente, al predominar los materiales arcillosos. En profundidad pueden alcanzar cierta permeabilidad por disolución de material salino al contactar con fluidos de los materiales encajantes, creándose salmueras saturadas.

7.2.1.3. Arcillas y margas con intercalaciones de calizas margosas y areniscas. Aptiense - Maastrichtiense

Esta unidad hidrogeológica está constituida por los niveles que constituyen la mayor parte de los afloramientos cretácicos que conforman la Hoja. La característica común

de todos estos niveles es su naturaleza arcilloso-margosa, dando lugar en general a afloramientos de mala calidad. Se trata de un conjunto de arcillas y margas con intercalaciones de niveles areniscosos, o de calizas margosas.

Hidrogeológicamente, el conjunto de esta unidad se considera de permeabilidad baja a muy baja, considerando que las intercalaciones de materiales más permeables, de pequeña extensión y espesor, no modifican sustancialmente esta valoración.

7.2.1.4. Calizas arrecifales. Aptiense - Albiense

Esta unidad hidrogeológica comprende el nivel cartográfico 133, que aflora en el sector oriental de la sierra de Aralar, en el sector centro septentrional de la Hoja. Está formado por un conjunto de calizas bioconstruidas con intercalaciones de pequeños niveles de margas. Los niveles calcáreos presentan un aspecto masivo con abundantes Rudistas. Su potencia es superior al centenar de metros.

Hidrogeológicamente, se ha considerado de permeabilidad alta - media, en función de la intensa carstificación a que está sometida.

7.2.1.5. Calizas margosas y margas. Turoniense - Santiense

Esta unidad está constituida por los tramos incluidos en la masa de margas y arcillas del Aptiense - Maastrichtiense.

Litológicamente está integrada por una alternancia monótona de calizas margosas y niveles margosos. En el nivel 156 predominan los niveles margosos en el muro con un espesor de 150 m, mientras que en el nivel 161 las calizas aumentan hacia el techo.

Hidrológicamente esta unidad se considera de permeabilidad baja-media, condicionada por el porcentaje de margas.

7.2.1.6. Calizas. Coniaciense

Esta unidad está constituida por el tramo cartográfico 158. Aflora en las proximidades de Erroz con una potencia de 50 m. Litológicamente está constituida por calizas masivas distribuidas en bancos gruesos. Este nivel se considera en parte cambio

lateral del nivel cartográfico anterior, al perder de un modo progresivo el carácter margoso.

Hidrogeológicamente se considera a esta unidad con una permeabilidad media baja en función de su carstificación y fisuración.

7.2.1.7. Calizas y margas. Daniense - Ilerdiense

Este tramo comprende los niveles cartográficos 207 y 215, aflorando en la mitad septentrional de la Hoja, dando lugar a un resalte morfológico, y en las proximidades del diapiro de Olo.

La unidad 207 está constituida por un conjunto de calizas bioclásticas de aspecto tableado y calizas margosas, dispuestas en capas de orden decimétrico, con un espesor que varía entre 50 y 100 m. La unidad 215, constituida por calizas bioclásticas y calizas margosas, posee un espesor de más 70 m.

Hidrogeológicamente se considera a esta unidad de permeabilidad media - baja en función de los niveles margosos que disminuyen su permeabilidad.

7.2.1.8. Calizas y dolomías. Daniense - Montiense

Esta unidad comprende los tramos cartográficos 203 y 206 de la cartografía geológica, presentándose con una potencia que oscila alrededor de 150 m. Sus afloramientos se localizan en los bordes de los diairos de Olo y Anoz, intensamente deformados por la tectónica diapírica.

El nivel 206 está formado por un conjunto de calizas y calcarenitas bioclásticas de aspecto masivo, mientras que el nivel 203 está integrado por un conjunto de calizas bioclásticas dolomitizadas. Estos procesos de dolomitización dan lugar a permeabilidades diagenéticas que favorecen el posterior desarrollo cárstico.

Se ha asignado a estos niveles una permeabilidad media - alta por fisuración y carstificación; no obstante ésta varía en función de la intensidad del proceso dolomítico por el que están afectadas.

7.2.1.9. Margas. Thanetiense

Esta unidad está constituida por el nivel 214 de la cartografía geológica, intercalándose entre los niveles calco-margosos descritos anteriormente. Litológicamente está formada por una serie de margas con intercalaciones centimétricas arenosas. Su potencia es del orden de 50 m.

Hidrogeológicamente se considera de permeabilidad baja a muy baja.

7.2.1.10. Margas y alternancia de margas y calizas con calcarenitas. Cuisiense - Luteciense

Esta unidad agrupa a los niveles constituidos por un conjunto de margas gris azuladas con intercalaciones de niveles de calizas margosas de orden decimétrico y un espesor cercano a los 800 m. y al 218, una serie alternante de areniscas ferruginosas ocre y arcillas grises, de carácter turbidítico. También se incluyen los niveles constituidos por margas, margocalizas y calcarenitas, aflorando con mala calidad de observación. Estos depósitos se encuadran sedimentológicamente dentro de zonas distales de plataforma carbonatada.

Hidrogeológicamente, se considera esta unidad como de permeabilidad baja a muy baja debido al carácter prácticamente impermeable de los materiales que la componen.

7.2.1.11. Calizas y margas. Luteciense

Se trata de los niveles cartográficos 217 y 261 diferenciados en la cartografía geológica. Litológicamente están constituidos por un conjunto de calizas margosas y bioclásticas alternantes con niveles margosos.

Hidrogeológicamente, se considera a esta unidad de permeabilidad media - baja, dependiendo del porcentaje de marga que incluya esta alternancia, aumentando por ello la permeabilidad en el nivel 261 y disminuyendo en el 217.

7.2.1.12. Margas, margocalizas y calcarenitas. Biarritziense

En esta unidad se agrupan las formaciones de litología predominantemente margosa,. Los niveles 266 y 270 alternan con niveles de calcarenitas y margocalizas de pequeño espesor y se encuentran intercaladas entre el nivel 267 (Margas de Pamplona) que constituye la gran masa de estos sedimentos; este nivel está formado por una serie monótona de margas grises de potencia considerable, con intercalaciones centimétricas de calcarenitas y limolitas, aunque en algunos sectores estos niveles pueden aumentar su representación. La potencia media estimada para esta unidad oscila entre 400 y 500 m.

Para todo este conjunto se ha estimado una permeabilidad baja-muy baja, dado el predominio de materiales margosos. Puntualmente presentan intercalaciones de niveles areniscosos y calcareníticos, que pueden llegar a alcanzar cierta permeabilidad en niveles superficiales.

7.2.1.13. Calcarenitas, calizas y margas. Luteciense - Biarritziense

Esta unidad agrupa los niveles 260, 262 y 264 de la cartografía geológica. El nivel 260 está formado por un conjunto de calizas y brechas calcáreas con grandes nummulites. Los niveles 262 y 264 están integrados por calcarenitas, variando su potencia y posición estratigráfica. El nivel 262 se puede observar a techo de la Sierra de Andía con espesores del orden del centenar de metros, formando parte del acuífero de la Sierra de Urbasa, mientras que el nivel 264, con una potencia máxima de unos 40 m, y geometría lenticular, se encuentra incluido entre margas.

Los afloramientos de estos materiales calcáreos presentan una carstificación bien desarrollada que confiere una alta permeabilidad al conjunto, siempre condicionada por su anisotropía. La permeabilidad también aumenta en las zonas fisuradas.

7.2.1.14. Calcarenitas. Biarritziense

Esta unidad hidrogeológica comprende el tramo 271 de la cartografía geológica. Está formada por un conjunto de calcarenitas marrones con una potencia aproximada de unos 200 m, acuñándose lateralmente hasta llegar a desaparecer entre las Margas de Pamplona que confinan este acuífero.

Hidrogeológicamente se estima para este tramo una permeabilidad media alta por fisuración y carstificación; no obstante, ésta varía en función del grado de fracturación que posean, aumentando en las zonas más fisuradas.

7.2.1.15. Cuaternario. Formaciones superficiales

El Cuaternario está representado fundamentalmente por los depósitos de carácter fluvial constituidos, entre otros, por los sistemas de terraza, habiéndose reconocido tres niveles formados por un conjunto de gravas y cantos de naturaleza calcárea y cuarcítica. La permeabilidad de estos materiales es media - alta, debido fundamentalmente a su porosidad intergranular.

La llanura de inundación (526) comprende materiales con una litología similar a la descrita anteriormente. Los fondos de valle y los aluviales coluviales presentan una litología similar a la descrita para los niveles de terraza, aunque en algunas ocasiones presentan una gran abundancia de limos. Hidrogeológicamente se considera la permeabilidad de estos niveles como media - alta, predominando la permeabilidad media cuando las facies lutíticas aumentan su proporción.

Las conos de deyección (536) son frecuentes en la salida de los barrancos y arroyos que fluyen a un cauce de rango superior. Su litología es similar a la de las terrazas pero con mayor abundancia de material detrítico fino que rellena los huecos entre cantos, por lo que se ha considerado para ellos una permeabilidad media - baja.

Los glaciais, coluviones, canchales y deslizamientos, están formados por acumulaciones de materiales al pie de los relieves montañosos, con mayor o menor espesor y ordenados o no, según el grado de madurez del depósito. Litológicamente están formados por materiales sueltos, de cantos o bloques con matriz lutítico-arenosa, que dificulta la percolación. Hidrogeológicamente presentan una permeabilidad media-baja en función de su litología; la potencia en general es pequeña, no superando los 10 m, con una pequeña extensión.

Las arcillas de descalcificación (unidad cartográfica 523) constituyen el producto residual de la disolución de los carbonatos y aparecen tapizando el fondo de 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. Su 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 dolinas son en general de permeabilidad media-alta.

7.2.2.Unidades acuíferas

A continuación se definen una serie de unidades que agrupan a formaciones hidrogeológicas susceptibles de almacenar y transmitir agua y por lo tanto de constituir acuíferos. De esta manera se han diferenciado cinco unidades con un funcionamiento hidrogeológico independiente; estas unidades son:

- Calizas arrecifales cretácicas

- Calizas del Cretácico superior

- Calizas lutecienses

- Calizas del Biarritziense

- Formaciones permeables del Cuaternario

7.2.2.1. Calizas arrecifales cretácicas

Geometría

Este acuífero está formado por las calizas arrecifales que constituyen el complejo Urgoniano. Constituyen el límite suroriental del acuífero de Latasa, que alcanza un mayor desarrollo en la Hoja de Irurzun.

Funcionamiento Hidrogeológico

La recarga se realiza por infiltración directa procedente del agua de lluvia y la descarga del acuífero completo se realizan por flujo directo al río Araquil y por numerosos manantiales con caudales del orden de 5 l/s.

Parámetros Hidrogeológicos

Las transmisividades obtenidas mediante ensayos de bombeo están comprendidas entre 15 y 400 m²/día. Las porosidades eficaces varían entre 0,3 y 4%.

7.2.2.2. Calizas del Cretácico superior

Geometría

Esta unidad acuífera está formada por el nivel calcáreo que constituye las calizas del Coniaciense. Litológicamente están formadas por niveles de calcarenitas, incluidas entre grandes masas de margas y margocalizas, con un espesor del orden de los 100 m.

Funcionamiento Hidráulico

La recarga se efectúa a partir de la infiltración directa del agua de lluvia en las zonas donde aflora. La descarga se produce por varios manantiales situados a lo largo de los afloramientos de los materiales calcáreos con caudales que oscilan entre 1 y 5 l/s.

Parámetros Hidrogeológicos

No se poseen datos de los parámetros hidrogeológicos que caracterizan este acuífero; no obstante y con carácter general, se estima para este conjunto una permeabilidad media - alta, con gran desarrollo de sistemas cársticos, más abundantes en las zonas de fracturas.

7.2.2.3. Calizas del Luteciense

Geometría

Este acuífero forma parte de la terminación oriental del acuífero de Urbasa, subunidad de Andía. Comprende los niveles cartográficos 75, 77 y 79, que forman un acuífero

calcáreo continuo con los definidos en la sierra de Sarvil. Esta unidad queda confinada por las Margas de Pamplona prácticamente impermeables.

Funcionamiento Hidráulico

La recarga se produce en las áreas donde aflora la unidad por infiltración directa del agua de lluvia y la descarga a través de varios manantiales como los inventariados en los bordes de los diapiros de Olo y Anoz, con caudales en algunos casos superiores a 7 l/s. En profundidad, el paquete carbonatado se encuentra compartimentado en bloques, limitados por zonas tectonizadas por las que el agua se mueve de forma preferencial.

Parámetros Hidráulicos

Las transmisividades obtenidas a partir de los ensayos de bombeo y recuperación efectuados en la realización del Proyecto Hidrogeológico de Navarra en 1975, indican para este acuífero transmisividades que oscilan entre 5 y 2000 m²/día en Arteta. La porosidad eficaz oscila entre 0,12 y 4,5%. En pozos de preexplotación, el caudal específico es del orden de 1 l/s/m.

7.2.2.4. Calizas del Biarritziense

Geometría

Esta unidad acuífera corresponde al nivel 84 diferenciado en la cartografía geológica, encontrándose incluido entre los niveles margosos que constituyen las Margas de Pamplona.

Se trata de calcarenitas en bancos gruesos con base erosiva. Geométricamente forman un cuerpo lenticular, elongado en dirección NO-SE, con una potencia máxima del orden del centenar de metros.

Funcionamiento hidrogeológicos

La recarga se produce por infiltración directa del agua de lluvia en las zonas donde aflora. La descarga se produce principalmente varios manantiales de pequeño caudal, en general no superior a 1 l/s..

Parámetros hidráulicos

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 - alta para esta unidad, dependiendo del mayor o menor grado de carstificación a la que están sometidos estos niveles calcáreos.

7.2.2.5. Formaciones permeables del Cuaternario

El Cuaternario de la Hoja de Gulina, como se ha indicado anteriormente, está formado por un conjunto muy variado de depósitos. De ellos, fundamentalmente forman acuíferos los depósitos fluviales de los ríos Araquil y Justapeña, así como los de varios arroyos de distinta importancia.

Funcionamiento Hidrogeológico

La recarga de estos acuíferos se produce por infiltración directa del agua de lluvia y por transferencia de niveles permeables con los que contactan, actuando como transmisores de los aportes procedentes de dichos niveles, como en el caso de los aluviales asociados al río Araquil. 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 y cretácicos infrayacentes. Existen numerosos pozos que explotan directamente los recursos de estas formaciones permeables del Cuaternario. Además, se producen descargas difusas en los cauces que interceptan dichas formaciones, principalmente en el río Araquil.

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

Parámetros Hidrogeológicos

No se han obtenido datos de ensayos o test hidráulicos realizados en estos materiales. De forma general se ha estimado una permeabilidad media - alta para ellos, reduciéndose el valor en los depósitos de fondo de valle, al concentrar un mayor contenido en materiales finos.

7.3. GEOTECNIA

7.3.1. Introducción

En este apartado se describe la cartografía geotécnica de la Hoja a escala 1:25.000 nº 115-III, correspondiente a Gulina, y se establecen las características geomecánicas de los materiales que la componen.

Esta caracterización geotécnica se ha realizado en función de la disponibilidad de datos geotécnicos que se han podido recopilar en obras y proyectos. En el caso de no disponer de esta información, se efectúa una valoración geotécnica según su caracterización litológica, geomorfológica e hidrogeológica.

El objetivo de este trabajo es proporcionar al usuario una información geotécnica de carácter general, pero lo suficientemente objetiva como para permitir la toma de postura iniciales en temas de ordenación del territorio, o prever problemas en el planteamiento y diseño de campañas geotécnicas puntuales.

7.3.2. Metodología

Para la realización de este capítulo se han seguido las siguientes etapas:

-Recopilación de los datos existentes

Se han recopilado ensayos de laboratorio procedentes de obras y proyectos, realizados en Navarra por organismos públicos y empresas privadas.

En esta Hoja no existe ninguna obra ni proyecto de construcción que aporte datos geotécnicamente válidos para este estudio; no obstante, se han extrapolado los ensayos de laboratorio procedentes de obras y proyectos realizados en Hojas contiguas, y que en este caso se concretan básicamente en los proyectos de

construcción y explanación, así como en los estudios geotécnicos complementarios de la autovía de Leizarán a su paso por la Hoja nº 115-I correspondiente a Irurzun. También se ha utilizado la información que se dispone de algunas unidades geológicas en la Hoja 141-II correspondiente a Pamplona.

-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 (Compresión simple, corte directo).

.Compactación y deformabilidad (CBR, proctor normal, edométrico).

.Químicos (contenido en sulfatos, carbonatos y materia orgánica).

.Hinchamiento (E. de Lambe).

Igualmente, se han consultado 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

En esta fase se indexa la información de la base de datos geotécnica del apartado anterior, con la aportada por la cartografía geológica. Ello permite caracterizar geotécnicamente los diferentes materiales y obtener valores medios, máximos y mínimos de los diferentes ensayos.

-Zonación en áreas de iguales características

A partir de los datos anteriormente comentados e interpretando las unidades geológicas cartografiadas, se ha procedido a la zonación en áreas de iguales características (geotécnicas y litológicas). Como se ha señalado con anterioridad, cuando no ha sido posible disponer de ensayos, el criterio seguido para establecer la

zonación, ha sido en base a las características litológicas, geomorfológicas e hidrogeológicas, observadas durante los reconocimientos de campo.

7.3.3. Zonación geotécnica

7.3.3.1. Criterios de división

Se ha dividido la superficie de la Hoja en función de criterios geotécnicos, en tres Areas que presentan una entidad propia y una cierta homogeneidad. Posteriormente, estas áreas han sido divididas a su vez en un total de once Zonas, siguiendo criterios básicamente litológicos y morfológicos, ya que son los que permiten diferenciar desde un punto de vista geotécnico, los materiales de cada área.

De aquellas unidades de las que se dispone información, se aportan datos de identificación, estado, resistencia, deformabilidad y análisis químico.

7.3.3.2. División en Areas y Zonas Geotécnicas

AREA II:Engloba los materiales Mesozoicos

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, II₃, II₄, II₆

AREA III:ZONA III₁, III₂, III₃

AREA IV:ZONA IV₁, IV₂, IV₃

En el Cuadro 1 se presenta la correlación entre las Unidades Geológicas cartografiadas y las Zonas Geotécnicas.

UNIDAD CARTOGRAFICA	ZONACION GEOTECNICA	DESCRIPCION
527, 526, 537, 525, 524, 508, 535	IV ₃	Gravas, arenas, limos, arcillas. Depósitos fluviales y aluviales
545, 548, 536, 543, 519, 518	IV ₂	Gravas, arenas y arcillas. Depósitos poligénicos y de gravedad
523	IV ₁	Arcillas de descalcificación
271, 264, 260, 203, 206	III ₃	Brechas calcáreas, dolomías, calizas y calcarenitas
270, 266, 265, 262, 261, 257, 239, 237, 40, 217, 216, 215	III ₂	Alternancia de areniscas, margas, calcarenitas, calizas y margocalizas
267, 263, 254, 238, 214, 258	III ₁	Margas
158, 133, 107	II ₆	Calizas, dolomías, calcarenitas y brechas calcáreas
190, 186, 161, 139, 154, 156	II ₄	Alternancia de margas, margocalizas, calizas, areniscas y calcarenitas
189, 140	II ₃	Lutitas y margas

109	II ₂	Arcillas yesíferas abigarradas
1	II ₁	Rocas subvolcánicas (Ofitas)

7.3.4. Características geotécnicas

7.3.4.1. Introducción

De los materiales que se disponen ensayos se ha realizado una caracterización geomecánica utilizando los criterios que se señalan más adelante. No obstante, la generalización a cada zona de estos valores puntuales es complicada, sobre todo cuando en ella coexisten varios conjuntos litológicos con un comportamiento geomecánico diferente, y que no admiten ser diferenciados por razones de escala de trabajo. Cuanto mayor sea la heterogeneidad litológica de cada Zona, mayor será la dispersión de los valores; por tanto, la mayor o menor fiabilidad de los datos aportados vendrá condicionada por el grado de homogeneidad litológica de las Zonas Geotécnicas.

De cada Zona Geotécnica se aportan datos sobre características constructivas, tales como condiciones de cimentación, excavabilidad, estabilidad de taludes, empuje sobre contenciones, aptitud para préstamos, aptitud para explanada de carreteras y comportamiento para obras subterráneas. Asimismo, se señalan los principales problemas geotécnicos que pueden presentarse y que en general, van a estar relacionados con la presencia de: turbas o arcillas muy compresibles, nivel freático superficial, zonas de alteración superficial del sustrato rocoso, erosiones y arrastres de materiales en laderas, desprendimientos de rocas y, finalmente, suelos solubles y agresivos (yesíferos y salinos).

La caracterización geomecánica de los diferentes materiales, se ha realizado con ayuda de los ensayos de laboratorio y ensayos de campo, obteniéndose los datos relacionados a continuación:

a) Ensayos de identificación y estado. Además de la densidad y el estado de humedad, se han utilizado los siguientes ensayos:

-Granulometría. Del análisis granulométrico se ha considerado el contenido de finos que presenta el suelo, es decir el 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 con el límite líquido y el índice de plasticidad, utilizando la carta de plasticidad de Casagrande.

b) Análisis químico

-Agresividad. Se ha determinado la agresividad del terreno mediante el contenido en sulfatos, valorado según la normativa que se expone a continuación:

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

c) Análisis de Hinchamiento

-Expansividad. Los datos que se poseen 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:

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

d) Ensayos de resistencia, compactación y deformabilidad. Se han agrupado los ensayos de resistencia a compresión simple, resistencia al corte, CBR y Proctor Normal. A continuación se exponen algunos criterios que definen el grado de dureza de los materiales, en función de los diferentes ensayos tanto en campo como en laboratorio.

Respecto a la resistencia de suelos y rocas, existen numerosas clasificaciones; una de la más utilizada, es la descrita por la Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas:

ROCA		ENSAYO DE CAMPO	
Descripción	Co (MPa)	Navaja	Martillo geológico
Ext. resistente	> 250	No corta	El golpe arranca pequeños trozos
Muy resistente	100 - 250	No corta	Se rompe con muchos golpes
Resistente	50 - 100	No corta	Se rompe con varios golpes
Med.resistente	25 - 50	No corta	Se rompe con un solo golpe

Blanda	5 - 25	Corta con dificultad	Puede indentarse con el pico
Muy blanda	1 - 5	Corta fácilmente	Se puede machacar

Igualmente, considerando la resistencia a compresión simple, se puede valorar la consistencia del terreno, de manera cualitativa.

Tensión de rotura a compresión simple en Kg/cm ²	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

e) Consistencia del terreno según NTE, CEG, 1975. Con ensayos de campo, como el S.P.T. (Ensayo en penetración estandar) se puede valorar la compacidad del terreno, de la siguiente manera:

N30	Compacidad del terreno
-----	------------------------

< 3	Muy suelto
4 a 10	Suelto
10 a 30	Compacto
20 a 50	Denso
> 50	Muy denso

f) Consistencia en arcillas. Se puede valorar, utilizando el índice de compresión (Cc) obtenido del ensayo edométrico. Los valores típicos de los suelos son los que se exponen en la siguiente tabla:

Índice de Compresión Cc	Consistencia
< 0,1	Duro
0,1 - 0,2	Semiduro
> 0,2	Fangos

g) Módulo de deformación y coeficiente de Poisson. El módulo de deformación se puede obtener en arcillas sobreconsolidadas, utilizando el valor de la resistencia al corte sin drenaje (Cu) en la correlación $E = 130 \times C_u$ definida por Butler. Para el coeficiente de Poisson se podría adoptar un valor entre 0,30 y 0,35, dependiendo de la consistencia blanda o densa.

Aparte de los ensayos anteriormente comentados, también se considera la densidad y humedad del Proctor Normal y el índice CBR, correspondiente al 100% en la densidad

Proctor, y que definen la aptitud del material para su uso en obra civil. Las características constructivas de los diferentes materiales se estudian para condiciones de cimentación y para obras de tierra.

-Cimentación. Normalmente se ha utilizado el criterio expuesto en los códigos y normas (Código Británico y Norma DIN-1054). En suelos y debido a que no se dispone de datos sobre asentos, éstos han sido estimados considerando la consistencia media del terreno. Asimismo, se señalan los problemas concretos de cimentación que pueden darse en cada Zona Geotécnica; los más generalizados están relacionados con asentos diferenciales, presencia de agua subterránea y presencia de sulfatos en el sustrato, debido a la alta reactividad de los mismos con el hormigón.

-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 máquina 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. En algún caso ha sido observada en campo; en otros, el análisis de estabilidad es el que se refleja en estudios realizados en la zona. Se señalan además, los factores que pueden llegar a alterar las condiciones de equilibrio.

-Empujes sobre contenciones. Hacen referencia a contenciones del terreno natural, no de rellenos realizados con los materiales de cada zona.

-Aptitud para préstamos. Se ha utilizado básicamente el Pliego de Prescripciones Técnicas Generales de la Dirección General de Carreteras (P.P.T.G.). El término No Apto designa suelos inadecuados; Marginal, designa suelos que unas veces son inadecuados y otras tolerables e incluso adecuados; el término Apto, designa suelos tolerables, adecuados e incluso seleccionados. Las rocas se han clasificado con los criterios que se establecen en el citado Pliego.

-Aptitud para explanada en carreteras. En este apartado se evalúa la capacidad de soporte de los materiales para constituir una explanada, es decir, la resistencia que ofrecen a la deformación bajo cargas. Esta resistencia depende de la naturaleza de los materiales, así como de su densidad y humedad. Para evaluar esta capacidad de soporte se utiliza tradicionalmente el Índice C.B.R. (California Bearing Ratio) que fue concebido para el dimensionamiento de firmes flexibles.

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 un desmonte ni un terraplén explanada 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 suelen referirse a terrenos tolerables, que no conviene que sean explanada directamente. Aptos son terrenos frecuentemente adecuados y seleccionados; constituyen explanadas tipo E-3 (CBR > 20).

-Obras subterráneas. Se utiliza el término "muy difícil" para suelos muy blandos por debajo del nivel freático o suelos potencialmente expansivos; "difícil" designa terrenos blandos o arenosos limpios bajo el nivel freático; y "medio", suelos firmes, casi rocas blandas, que sólo a veces presentan problemas de nivel freático, con cierta capacidad de autoaporte y sin empujes fuertes.

Para las formaciones rocosas se da una idea de su categoría en las clasificaciones de Bieniawski (1979), que obtiene un índice de calidad (RMR, Rock Mass Rating), mediante la valoración de cinco parámetros:

.Resistencia de la roca

.RQD

.Separación entre diaclasas

.Presencia de agua

.Disposición de las juntas respecto a la excavación

Bieniawski establece cinco categorías en función del valor RMR:

Clase I Roca muy buena: RMR = 81-100

Clase II Roca buena: RMR = 61-80

Clase III Roca media: RMR = 41-60

Clase IV Roca mala: RMR = 21-40

Clase V Roca muy mala: RMR <20

En algunos casos, se ha utilizado también el "Abaco de Merrit" (1972) que relaciona la anchura de tunelación con el valor de R.Q.D. (Fig. 6).

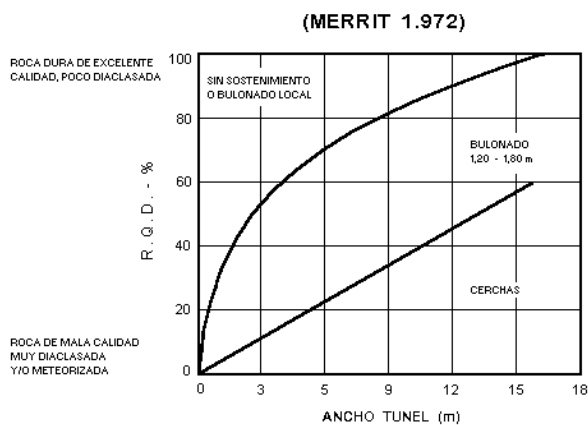


Fig. 6. Modificado de Merrit (1972). Gráfico que evalúa el tipo de sostenimiento a realizar en un macizo rocoso en función de la anchura del túnel y de los valores de R.Q.D

El objetivo de ambas clasificaciones es definir el tipo de sostenimiento a efectuar en obras subterráneas concretas.

7.3.5. Area II

Zona II₁

-Localización

Se localizan en afloramientos de pequeña extensión inmersos dentro de materiales en facies Keuper que definen las Zonas diapíricas de Ollo y Anoz.

-Características geológicas

Los materiales que definen esta Zona corresponden a un conjunto de afloramientos de pequeñas dimensiones asociados a depósitos triásicos y que están formados por rocas ofíticas de composición basáltico-andesítica, tonos verdosos y aspecto bastante homogéneo.

-Características geotécnicas

No existen ensayos de laboratorio que ayuden a precisar las características geomecánicas de estos materiales. No obstante, para un cálculo a nivel de anteproyecto, se estima que la resistencia a compresión simple en estado sano es muy alta ($> 1500 \text{ kp/cm}^2$). Presentan un grado de alteración superficial variable, siendo éste mayor en zonas de diaclasas.

-Características constructivas

a. Condiciones de cimentación. Según la clasificación de la ISRM, la carga admisible para este tipo de rocas en estado sano es de 109 kp/cm^2 , mientras que la Norma DIN 1054 establece presiones admisibles no inferiores a 30 kp/cm^2 ; en los niveles superficiales alterados y degradados, estos valores disminuyen. Por lo tanto, pueden considerarse para la Zona II₁, tomando valores conservadores, presiones admisibles superiores a 80 kp/cm^2 , es decir una capacidad portante muy alta y un tipo de cimentación en general, superficial. No se esperan problemas de cimentación.

b. Condiciones para obras de tierra.

*Excavabilidad. Los niveles superficiales se consideran como Terreno Medio - Duro, en función del grado de alteración que presentan, es decir, podrán ser excavados por medios mecánicos. En profundidad se requerirá el uso de explosivos.

*Estabilidad de taludes. Los taludes naturales están en equilibrio. En estado sano, los taludes artificiales pueden ser verticales. Ocasionalmente, en función del grado y estado de las diaclasas, puede existir algún bloque en estado crítico, que se podrá estabilizar con bulones y anclajes.

*Empuje sobre contenciones. No será necesario.

*Aptitud para préstamos. Según el PPTG los materiales de esta Zona constituyen Terrenos Seleccionados, es decir, presentan valores de C.B.R. > 10, su límite líquido es menor de 30 (LL < 30), su índice de Plasticidad es inferior a 10 (WP < 10) carecen de materia orgánica y de tamaño de partículas superior a 8 cm. En definitiva, son terrenos Aptos para su utilización en terraplenes y pedraplenes.

*Aptitud para explanada en carreteras. En terraplenes y pedraplenes la categoría de la explanada es la E-3, ya que son materiales Aptos para su utilización en la coronación de los mismos. En el caso de desmontes, la categoría de explanada en roca es, de nuevo, la E-3. Se recomienda que la superficie de la explanada quede al menos 60 cm por encima del nivel más alto previsible de la capa freática, y el relleno de las depresiones que contengan agua con hormigón de tipo H-50

*Obras subterráneas. Según la clasificación de Bieniawski estos materiales constituyen rocas muy buenas, encuadrándose dentro de la Clase I (RMR = 81 - 100); según el Abaco de Merrit (1972), para anchuras de tunelación moderada (3-8 m) no se esperan problemas de sostenimiento, aunque éste dependerá de la abundancia de familias de litoclasas.

Zona II₂

-Localización

Se localizan en tres grandes afloramientos que con una dirección general NO-SE definen las Zonas diapíricas de Olo, Anoz e Iza.

-Características geológicas

Esta Zona está definida por depósitos del Triásico superior en facies Keuper, constituidos por arcillas rojas y arcillas abigarradas con yesos. La potencia es indeterminada y se encuentran intensamente tectonizadas.

-Características geotécnicas

No se han realizado reconocimientos geotécnicos detallados de estos materiales, en parte debido a que en función de su carácter diapírico y a la presencia de yesos, generalmente carecen de atractivo desde el punto de vista constructivo. No obstante, las observaciones de campo indican que se trata de arcillas alteradas que se comportan como un suelo de consistencia media-blanda. Normalmente, en superficie

las arcillas del Keuper presentan una alteración y estructura más floja, alcanzando una profundidad variable entre 1 y 2 m.

-Características constructivas

a.Condiciones de cimentación. A falta de datos de ensayos más precisos pueden considerarse los valores contenidos en las diferentes normas y códigos. Así, el Código de Práctica Británico, establece para este tipo de material presiones admisibles variables entre 0,75 y 3 kp/cm², esperándose asientos de consolidación a largo plazo. Según la Norma DIN 1054 a profundidad de cimentación de 2 m las cargas admisibles en arcillas de una consistencia media son del orden de 2,3-3 kp/cm², esperándose unos asientos en torno a 4 cm. En estas condiciones el tipo de cimentación más probable es el superficial.

Los problemas de cimentación que pueden surgir, están relacionados con la alta agresividad de estos materiales al hormigón debido a la presencia de sulfatos, sobre todo si existe circulación de aguas de escorrentía superficial. Se aconseja por este motivo realizar análisis sistemáticos del contenido en sulfatos, para determinar el grado de agresividad. Pueden producirse también problemas de asientos diferenciales en cimentaciones de superficie, provocadas por variaciones del grado de alteración superficial. Por último, la impermeabilidad de estos materiales puede provocar encharcamientos en superficie durante la ejecución de las obras de cimentación, lo que acentuaría los problemas de agresividad al hormigón.

b.Condiciones para obras de tierra.

*Excavabilidad. De acuerdo con los criterios establecidos en la metodología, estos materiales se consideran medios; su excavación podrá realizarse por medios mecánicos sin problemas. Los niveles superficiales que presentan una estructura más floja y una menor consistencia son fácilmente excavables hasta una profundidad difícil de determinar con los datos disponibles, pero que en todo caso dependerá del grado y espesor del nivel de alteración superficial.

*Estabilidad de taludes. En los taludes naturales se dan fenómenos de reptación. En los taludes artificiales se observan pequeños deslizamientos de carácter superficial. Normalmente, se deterioran con el tiempo por procesos de erosión y modelado, por lo que deberán adoptarse medidas para reducir la erosión superficial y sus efectos (hidrosiembra, escalonamiento). En general no serán estables taludes superiores a 2H: 1V.

*Empujes sobre contenciones. Serán variables en función de la degradación del talud y del grado de saturación de los materiales; pueden considerarse de bajos a altos en zonas muy meteorizadas.

*Aptitud para préstamos. Se consideran materiales No Aptos, como mucho marginales en cimientos y núcleos de terraplenes no en su coronación, según los criterios reflejados en la metodología.

*Aptitud para explanada en carreteras. Se trata de materiales No Aptos, como máximo Marginales; precisarán por tanto, la extensión sobre ellos de una explanada mejorada.

*Obras subterráneas. Según los criterios de la Clasificación de Bieniawski estos terrenos se definen como de Clase III: Roca Media (RMR = 41-60).

Zona II₃

-Localización

Se localiza en tres pequeños afloramientos que coinciden con zonas de bajo relieve, y que se sitúan respectivamente al N de Izurdiaga; en las proximidades del km 105 de la autopista A-15 y en el extremo nororiental de la Hoja, constituyendo el núcleo del anticlinal de Etuláin.

-Características geológicas

La Zona II₃ está constituida fundamentalmente por margas, si bien, secundariamente, incluye arcillas. La integran el conjunto de margas micáceas de carácter euxínico que dan relieves alomados del Aptiense - Albiense y las margas limolíticas micáceas que alternan con niveles areniscosos en la base, del Maastrichtiense.

-Características geotécnicas

No se dispone de ensayos geotécnicos de los materiales anteriores, pero sí de las arcillas y margas de la facies Weald aflorante en la vecina Hoja de Irurzun (115-I), de características litológicas, estratigráficas y morfológicas parecidas, lo que sugiere un comportamiento geomecánico similar.

Los ensayos se han realizado sobre niveles sanos, y hacen referencia a la determinación de la resistencia de estos materiales a compresión simple. Asimismo,

se recogen valores del Índice de Calidad de la Roca (R.Q.D.). A continuación, se describen los valores más representativos.

Cuadro Resumen de Características Geotécnicas

Densidad: 2,7 gr/ cm³

Resistencia a compresión simple: 386,33 kp/m²

Módulo de Young (Et): 107604

Coefficiente de Poisson (μ): 0,13

R.Q.D.: 100%

Se puede decir que se trata de una roca blanda de rápida alteración, por lo que resulta lógico esperar un perfil de alteración importante. Se comportan como suelos de consistencia firme y dura (NTE-CEG, 1975), con una expansividad definida como marginal. En profundidad, los niveles en estado sano presentan un R.Q.D. óptimo y una resistencia media (250-500 kp/cm²).

-Características constructivas

a. Condiciones de cimentación. A partir de los valores de resistencia a compresión simple y parámetros de deformabilidad, se ha calculado la capacidad portante de estos materiales según los términos que establece la metodología.

Las presiones admisibles calculadas para una profundidad de cimentación de 1,5 - 2 m, que coincide generalmente con el nivel superficial de alteración, oscila entre unos valores de 1,3 y 3 kp/cm². En niveles de margas sanas, los valores orientativos que aporta el Código Británico oscilan entre 6 y 10 kp/cm², posiblemente superiores dada la resistencia a compresión simple superior a 100 kp/cm², pero que para edificios habituales supone valores suficientes. No obstante, para edificios altos y cuando se prevean fuertes cargas concentradas, serán necesarios estudios de resistencia y deformabilidad puntuales y detallados.

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 obliguen a efectuar la excavación del terreno y puedan cambiar totalmente el planteamiento de la elección.

Normalmente, la cimentación será de tipo superficial (zapata 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 acudir al empleo de losas, si la capacidad portante del terreno se sitúa en torno a $1,5 \text{ kp/cm}^2$, o bien se deberá recurrir a niveles profundos más resistivos, eligiendo entonces una cimentación semiprofunda (siempre que estas profundidades se encuentren entre 3 y 6 m).

En ocasiones puede ser necesario el empleo de pilotes si el espesor del nivel de alteración es superior al esperado. También el empleo de losa de cimentación puede ser bastante adecuado cuando en el área ocupada por el edificio se produzcan variaciones importantes del espesor del horizonte alterado, que pudieran provocar asentamientos diferenciales no admisibles si se pretendiese cimentar mediante zapatas aisladas. No obstante, el empleo de losa de cimentación es una solución muy costosa para edificios bajos (6-8 plantas).

No se espera presencia de sulfatos en los materiales, por lo que en principio se descartan problemas de agresividad al hormigón. Por otro lado, la impermeabilidad de estos materiales permite suponer que tampoco existan problemas de afluencia de agua a las excavaciones.

b. Condiciones para obras de tierra.

En general, los problemas de cimentación están relacionados con variaciones importantes en el espesor del horizonte de alteración, que pueden dar lugar a asentamientos diferenciales importantes, y con la presencia de niveles de arcillas entre las margas sanas, que pueden causar fenómenos de punzonamiento.

*Excavabilidad. De acuerdo con los términos designados en la metodología se trata de suelos medios, con una ripabilidad variable entre ripable y no ripable. Al tener una estructura más floja y menor consistencia, los niveles superiores de alteración, son fácilmente excavables

*Estabilidad de taludes. Los taludes naturales son estables, aunque progresivamente se van deteriorando debido a la rápida alteración de las margas en superficie, observándose fenómenos de acarreamiento. Los taludes artificiales, en las zonas alteradas producirán flujos de barro y deslizamientos, mientras que los que se realizan en margas sanas presentarán con el tiempo un deterioro progresivo; así mismo, es posible la existencia de cuñas. En general, se deberán adoptar medidas

encaminadas a reducir la erosión superficial y sus efectos (hidrosiembras, escalonamientos, etc.).

*Empuje sobre contenciones. Será variable en función de la degradación del talud y de la protección que se de a la coronación del mismo. Dependerá también del grado de saturación de los materiales. Pueden considerarse de bajos (margas sanas) a altos en zonas muy alteradas.

*Aptitud para préstamos. Se trata de materiales No Aptos para su uso en terraplenes y pedraplenes.

*Aptitud para explanada en carreteras. En general constituyen terrenos No Aptos y, en el mejor de los casos, Marginales. Precisarán por tanto, la extensión sobre ellos de una explanada mejorada.

*Obras subterráneas. Según los criterios de la Clasificación de Bieniawski (1979), los materiales de esta Zona, considerados como formación rocosa se encuadran en la Clase III: Roca Media (RMR 41-60). En función de los valores R.Q.D., este tipo de materiales no ofrecen en principio problemas de sostenimiento (MERRIT, 1972) para anchuras de tunelación moderadas.

Zona II₄

-Localización

Se localiza en una serie de afloramientos, en general bastante estructurados, que se sitúan en la mitad septentrional de la Hoja.

-Características geológicas

La Zona II₄ está constituida por una alternancia rítmica de margas, calizas y areniscas calcáreas correspondientes al Cretácico superior.

-Características geotécnicas

Su característica fundamental es la alternancia de materiales de diferente litología, (y por tanto diferente comportamiento mecánico) en estratos y capas de espesor en general uniforme. Se dispone de ensayos de laboratorio realizados sobre las margas y calizas margosas del Campaniense (nivel geológico 24). No obstante, esta

información es extrapolable al conjunto de la Zona, ya que se espera de los materiales que la integran un mismo comportamiento mecánico.

Los ensayos recopilados aportan datos tanto de los horizontes superficiales alterados, como de los niveles sanos más profundos. Están encaminados a la determinación del estado e identificación (Granulometría, Clasificación de Casagrande), resistencia (Compresión simple) e índice de calidad de la roca (R.Q.D.). A continuación se describen los valores más característicos.

Cuadro Resumen de Características Geotécnicas

Clasificación de Casagrande:CL

Clasificación de ASSHTO:A-7/A-6

% tamiz nº 200:80,8

Límite líquido:41.9

Límite plástico:20,2

Índice de plasticidad:21,7

Densidad:2,55 - 2,69 gr/cm³

Resistencia a compresión simple:400,2 - 678,5 kp /cm²

Módulo de Young (Et):159279 - 628287

Coeficiente de Poisson (μ):0,34 - 0,54

Coeficiente desgaste de los ángulos:28

R.Q.D.:70 - 77,3%

Cohesión:0 - 2 T/m²

Ángulo rozamiento interno (μ):26 - 30°

% CO₃:38,06 - 79,45%

Se observan valores de resistencia a Compresión Simple que oscilan entre medianamente resistentes y resistentes ($400 - 700 \text{ kp/cm}^2$), aunque existe una alta dispersión de resultados con valores extremos que oscilan entre muy blandos ($45,6 \text{ kp/cm}^2$) y muy resistentes (1030 kp/cm^2). Se puede considerar por tanto, que en estado sano, estas rocas presentan una resistencia a Compresión Simple del orden de $250 - 300 \text{ kp/cm}^2$ y un R.Q.D. bueno, aunque una vez excavadas sufren un alto grado de meteorización, principalmente en los niveles blandos intercalados.

Los horizontes edáficos superficiales están formados por unas arcillas inorgánicas de plasticidad baja a media. Se trata de suelos limo-arcillosos con más de un 35% de material que pasa por el tamiz nº 200 ($0,074 \text{ mm}$), elásticos y que experimentan normalmente grandes cambios de volumen entre los estados húmedo y seco. En general, presenta un límite líquido alto y cumple la relación: $IP > LL - 30$, por lo que su comportamiento en explanadas se considera de regular a malo. Presenta una consistencia firme y dura (NFE, CEG, 1975).

-Características constructivas

a.Condiciones de cimentación. A partir de los valores de resistencia a compresión simple y de los parámetros de deformabilidad, se calcula la capacidad portante de estos materiales, según los términos que establece la metodología. La Norma DIN 1054 presenta unos valores normalizados para sustratos rocosos sanos o poco alterados en un medio estratigráfico y diaclasado, que se sitúan en 20 kp/cm^2 de presión admisible, valores que deben reducirse a la mitad si aumenta el grado de diaclasado o la disposición espacial de los planos de estratificación es desfavorable.

Por otro lado, el Código de Práctica Británico nº 4 señala para materiales de naturaleza similar a los que componen esta Zona, presiones admisibles del orden de 20 kp/cm^2 . Pueden considerarse, tomando valores conservadores, y a tenor de los resultados de resistencia a compresión simple obtenidos en los ensayos de laboratorio, presiones admisibles entre 6 y 10 kp/cm^2 . De esta manera, se puede decir que para el caso de edificios habituales con cargas proyectadas inferiores a $3-4 \text{ kp/cm}^2$, la capacidad portante del terreno está garantizada.

El tipo de cimentación será en general superficial, previa eliminación del horizonte superficial alterado y del recubrimiento. Se utilizan zapatas cuya superficie no debe ser inferior a 4 veces el área del pilar para eliminar así la concentración de esfuerzos. El empleo de zapatas corridas será necesario cuando se desee evitar los efectos de la

heterogeneidad litológica que supone la presencia de niveles margosos menos compactos que los materiales calizos, calcareníticos o areniscosos.

En cuanto a los problemas de cimentación que pueden surgir, destaca la presencia de niveles margosos intercalados entre materiales más competentes, que presentan un comportamiento mecánico diferencial entre los distintos puntos de apoyo, efecto éste que puede corregirse, como se dijo anteriormente, mediante la utilización de zapatas corridas. En el caso de que los apoyos estén próximos a taludes habrá que prestar especial atención a las características del diaclasado y a la disposición de los planos de estratificación, ante la posibilidad de que haya que recurrir a realizar trabajos de anclaje y bulonado para mitigar la posible inestabilidad que la aplicación de cargas pudiera provocar.

b.Condiciones para obras de tierra.

*Excavabilidad. Según los criterios seguidos en la metodología, se trata de terrenos medios - duros. Los niveles margosos y calcomargosos son en general ripables y atacables por medios mecánicos.

*Estabilidad de taludes. Son rocas que, salvo que se encuentren en estado muy sano, conllevan problemas de estabilidad ya que el porcentaje de carbonatos disminuye con los procesos de meteorización. En las margas pueden darse fenómenos de reptación. Las calcarenitas pueden alterarse con facilidad sufriendo fenómenos de disgregación a favor de la fisibilidad. La posible existencia de fracturas perpendiculares a los bancos, más frecuentes en niveles margosos laminados, puede favorecer el desprendimiento de bloques y fenómenos de vuelco. Este fenómeno es muy frecuente en depósitos turbidíticos.

Taludes artificiales excavados en estos materiales con pendientes de 54° (1V: 0,75H), se han mostrado en la práctica inestables, produciéndose deslizamientos, vuelco de estratos y descalces. En estos casos, se ha adoptado como solución, la de perfilar estos taludes a 35° - 40° (1V: 1,425 H) y recubrir con escollera; en general, al proyectar taludes en esta zona habrá que prestar especial interés al espesor de los suelos (alteración o coluviales) y a la orientación e inclinación de los planos de anisotropía (estratificación, juntas, discontinuidades, diaclasas) respecto al plano de

talud, teniendo en cuenta que como norma, taludes superiores a 45° (1V: 1H) presentan problemas de estabilidad.

*Empujes sobre contenciones. Serán de tipo bajo, ocasionalmente medio en zonas margosas alteradas, o en taludes con problemas de estabilidad.

*Aptitud para préstamos. Las margas y calizas margosas se consideran rocas inadecuadas, a lo sumo marginales, para su uso en pedraplenes. Calizas, areniscas y calcarenitas constituyen por lo general terrenos adecuados y seleccionados.

*Aptitud para explanada en carreteras. En terraplenes y pedraplenes, las margas y margocalizas se consideran No Aptas para su utilización en coronación de los mismos. La categoría de explanada en desmontes de calcarenitas, calizas y areniscas es la E-3; se recomienda que la superficie de la explanada quede al menos 60 cm por encima del nivel más alto de la capa freática y el relleno de las depresiones que contengan agua se realicen con hormigón de tipo H-50. En el caso de terrenos margosos o margo-calcáreos, la categoría de explanada en roca puede ser la E-3, precisando en este caso la extensión sobre ella de un firme seleccionado.

*Obras subterráneas. Según los términos definidos en la metodología, se trata de un terreno medio. Utilizando la Clasificación de Bieniawski (1979) se encuadra entre las Clases III (Calidad media) y IV (Mala), jugando un papel importante la orientación de la estratificación. Al proyectar los valores de R.Q.D. en el ábaco de Merrit (1972) se observa que para anchuras de tunelación superiores a 5 m se deberá realizar sostenimiento mediante malla de bulones.

Zona II₆

-Localización

Se localiza en pequeños afloramientos asociados a depósitos del Triásico superior en la Zona diapírica de Anoz, así como en las inmediaciones de Aizcorbe y entre Izurdiaga y Ochovi, definiendo en este último caso un importante resalte topográfico que destaca morfológicamente en el paisaje.

-Características geológicas

Esta zona está integrada por materiales carbonatados competentes del Mesozoico. Se ha agrupado las calizas y dolomías tableadas en facies Muschelkalk junto con calizas recifales, calizas y calcarenitas del Cretácico.

-Características geotécnicas

Se dispone en este caso de ensayos de laboratorio de las calizas arrecifales masivas del Complejo Urgoniano (nivel geológico 14), incluido en la presente Zona.

Los ensayos existentes están realizados sobre roca en estado sano y hacen referencia a la caracterización geomecánica de los mismos en cuanto a sus valores de resistencia (Compresión Simple). Asimismo, se recogen valores del Índice de Calidad de la Roca (R.Q.D.). A continuación se describen los valores más representativos.

Cuadro Resumen de Características Geotécnicas

Densidad media: 2.675 gr/cm³

Resistencia Compresión Simple: 297,2 - 894,2 kp/cm²

Módulo de Young (Et): 234047 - 541933

Coefficiente de Poisson (μ): 0,23 - 0,16

R.Q.D.: 99%

A grandes rasgos se puede decir que se trata de una roca que oscila desde medianamente resistente (250-500 kp/cm²) a resistente (500-1000 kp/cm²). No obstante, los valores bajos de resistencia pudieran deberse a la existencia de algún plano de anisotropía o de debilidad en algunas de las muestras, que favoreciese su rotura, obteniéndose así unos resultados sensiblemente inferiores a los esperados a tenor de los reconocimientos de campo efectuados. La resistencia del macizo rocoso estará condicionada por las características de las discontinuidades.

Un aspecto importante en estos materiales y que deberá contemplarse en posteriores estudios geotécnicos, es el grado de carstificación que presentan y por consiguiente, se analizarán en las situaciones más desfavorables los posibles hundimientos de cimentaciones y desprendimientos en taludes.

-Características constructivas

a. Condiciones de cimentación. En función de los valores de resistencia a compresión simple y parámetros de deformabilidad, se han calculado las presiones admisibles en los términos que establece la metodología. Según el Código de Práctica Británico, este tipo de roca admite cargas superiores a 40 kp/cm^2 , mientras que la Norma DIN 1054 recomienda valores en torno a los 30 kp/cm^2 .

En la práctica habitual pueden considerarse cargas superiores a 10 kp/cm^2 según el grado de fracturación y carstificación. Presentan por tanto una buena capacidad portante, superior a los valores requeridos para la cimentación de edificios habituales.

El tipo de cimentación a realizar será con mayor probabilidad el superficial. En general, podrá realizarse mediante zapatas, no siendo necesario en principio, el empleo de losas, a no ser que las características particulares del edificio (altura) o del terreno (carstificación) así lo aconsejen.

No se espera presencia de sulfatos en estos materiales, con lo que los problemas de agresividad al hormigón quedan descartados.

b. Condiciones de obras de tierra.

*Excavabilidad. Según los términos expuestos en la metodología, se consideran unos materiales duros. Su excavación precisa el empleo de explosivos.

*Estabilidad de taludes. Se consideran estables, tanto los taludes naturales como los artificiales. Puntualmente pueden producirse desprendimientos puntuales de algunos bloques inestables. Al diseñar un talud en esta Zona, habrá que prestar especial interés a la orientación e inclinación de los planos de estratificación, respecto a la del plano del talud, porque pueden producirse desprendimientos importantes.

*Empuje sobre contenciones. Las contenciones no serán necesarias.

*Aptitud para préstamos. Según el PPTG este tipo de materiales carbonatados duros se consideran terrenos Aptos para su uso en terraplenes y pedraplenes.

*Aptitud para explanada de carreteras. La categoría de la explanada en roca es la E-3, es decir, suelos adecuados y seleccionados. Se recomienda el relleno de las depresiones que contegan agua con hormigón de tipo H-50.

*Obras subterráneas. Según la Clasificación de Bieniawski, estos materiales se encuadran entre la Clase II y Clase III: Roca Media (RMR = 41-60) a Buena (RMR =

61-80) en función del grado de fracturación y de la intensidad de los procesos de carstificación. Si hacemos caso de los valores de RQD disponible, para anchuras de tunelación moderadas (0-8 m) no se esperan problemas de sostenimiento.

7.3.6. Area III

Zona III₁

-Localización

Se localiza en multitud de afloramientos distribuidos a lo largo de toda la Hoja, pero que se concentran fundamentalmente en el cuadrante SE, donde la naturaleza margosa de estos depósitos, unida a la presencia de materiales cuaternarios determinan la Zona topográficamente más deprimida y con un relieve más suavizado de toda la superficie de la Hoja.

-Características geológicas

Está constituida exclusivamente por margas de afloramiento deficiente. Se pueden reconocer dos grandes grupos: el primero abarca los depósitos del Thanetiense-Luteciense y corresponde a margas de cierta influencia turbidítica; el segundo corresponde fundamentalmente a las margas biarritzienses.

-Características geotécnicas

No se dispone de ensayos geotécnicos de estos materiales, pero sí de las Margas de Pamplona aflorantes en la vecina Hoja de Ansoáin (115-IV), de características litológicas y morfológicas comparables, lo que sugiere un comportamiento geomecánico similar.

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

Cuadro Resumen de Características Geotécnicas

Clasificación de Casagrande:CL

Densidad seca (margas no alteradas):1,69 - 2,6 gr/cm³

Densidad seca (margas alteradas): 1,70 - 1,87 gr/cm³ Porcentaje pasa tamiz nº 200: 82 - 95%

Límite líquido: 33 - 50

Índice plasticidad: 14 - 33

Humedad (margas no alteradas): 5,5 - 16%

Humedad (margas alteradas): 12 - 20%

Contenido en carbonatos (margas no alteradas): 20-54%

Contenido en carbonatos (margas alteradas): 45 - 52%

Contenido en sulfatos: < 0,01%

Densidad Proctor (margas no alteradas): 1,62 - 2,14 gr/cm³

Densidad Proctor (margas alteradas): 1,61 - 2,04 gr/cm³

Humedad óptima (margas no alteradas): 9 - 21%

Humedad óptima (margas alteradas): 10,6 - 18,8%

Índice C.B.R. (margas alteradas): 0,8 - 3,7

Resistencia a compresión simple (margas no alteradas): 188 - 308 Kp/cm²

Resistencia a compresión simple (margas alteradas): 1,5 - 4,5 Kp/cm²

R.Q.D. medio: 66%

Ángulo rozamiento interno (margas no alteradas): 25°

Ángulo rozamiento interno (margas alteradas): 28°

Cohesión (margas alteradas): 0,05

Módulo de deformación (margas no alteradas): 10.000

Módulo de deformación (margas alteradas):100 - 200

Coeficiente de Poisson (margas no alteradas):0,1

Coeficiente de Poisson (margas alteradas):0,3

Hinchamiento de Lambe:Marginal

En superficie y hasta una profundidad variable entre 2 y 12 m, las margas se encuentran alteradas y descomprimidas, con nódulos carbonatados dispersos y características de un suelo arcilloso. Se dispone de datos referentes a este nivel de alteración mezclado con materiales cuaternarios (suelos de alteración), cuyos valores de resistencia y compactación se han agrupado con las margas alteradas. Estos ensayos (identificación y estado) se resumen a continuación.

Cuadro Resumen de Características Geotécnicas

(Margas alteradas y depósitos cuaternarios)

Clasificación de Casagrande:CL

Porcentaje que pasa tamiz nº 200:23 - 89%

Límite líquido:31,2 - 45

Índice 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

Se observa como el contenido en carbonatos disminuye hasta niveles superficiales debido a la disgregación y alteración de las margas por procesos de meteorización. El contenido en sulfatos es muy bajo por lo que se descartan problemas de agresividad.

Una característica importante de estas margas es su elevada alterabilidad al ponerse en contacto con la atmósfera, de modo que, a corto plazo la roca sana expuesta a los agentes atmosféricos sufre procesos de disgregación y fragmentación que favorecen la erosión superficial y los desprendimientos en taludes. Asimismo, las variaciones de espesor del nivel superficial de alteración, unidas a la presencia de niveles blandos (arcillosos) pueden dar problemas de cimentación.

A partir de los valores obtenidos en el porcentaje de material que pasa por el tamiz nº 200 y de los resultados de la Clasificación de Casagrande (CL), se puede decir que los niveles superficiales de alteración están constituidos por suelos limo-arcillosos, pero con un cierto contenido en arenas y gravas que quedan retenidas en el tamiz nº 200. Pueden presentar grandes cambios de volumen entre los estados seco y húmedo. En general se consideran inadecuados para su uso en explanadas.

En función de los ensayos de compresión simple se observa que los materiales alterados presentan unos valores de resistencia comprendidos entre 2 y 6 kp/cm^2 , que de acuerdo con las normas establecidas en la metodología corresponden a terrenos de consistencia muy firme y dura, aunque ocasionalmente se observen valores de resistencia muy bajos ($0,8 \text{ kp/cm}^2$) relacionados con niveles de arcillas blandas intercaladas entre los paquetes de margas. En términos generales, a partir de los 5 m de profundidad (ensayos SPT dan rechazo) aumenta notablemente la resistencia del terreno, alcanzando valores superiores a los 200 kp/cm^2 .

En cuanto a la expansividad de las margas alteradas, los resultados del análisis de hinchamiento permite clasificar estos materiales como "marginales". No obstante es aconsejable investigar con detalle este parámetro mecánico si se prevén cambios de humedad importantes en los materiales que van a soportar una cimentación determinada.

Desde el punto de vista hidrogeológico, el carácter impermeable de estos materiales determina la ausencia de agua en profundidad. Únicamente cabe considerar una saturación posible de los niveles superficiales alterados y la infiltración a través de fisuras, factores estos que no deben crear problemas de drenaje en excavaciones.

-Características constructivas

a. Condiciones de cimentación. En función de los valores de 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,

varían generalmente para las margas alteradas (de consistencia firme y dura) entre 1,3 y 3 kp/cm².

En las margas sanas, según los valores normalizados que se dan en el Código Británico, puede considerarse una capacidad portante entre 6 y 10 kp/cm², y posiblemente superior dada la resistencia a compresión, que en muchos casos es mayor que 100 kp/cm²; a pesar de ello, para edificios habituales, suponen valores suficientes. No obstante, se aconseja que para edificios altos o cuando se prevean fuertes cargas concentradas se realicen estudios de resistencia y deformabilidad específica.

El tipo de cimentación a realizar depende del espesor del horizonte superficial y del grado de disgregación del material. En general será de tipo superficial (zapata o losa) o semiprofundo, mediante pozos. Para edificios bajos de menos de seis alturas, la cimentación podrá realizarse mediante zapatas. Para alturas de edificación superiores se podrá recurrir al empleo de losa si la capacidad portante del terreno se sitúa en torno a 1,5 kp/cm², o de lo contrario, habrá que buscar niveles resistentes más profundos, recurriendo en este caso a una cimentación semiprofunda siempre que esos niveles se encuentren entre 3 y 6 m de profundidad. Ocasionalmente, puede ser necesario el empleo de pilotes cuando el espesor del nivel alterado es superior a lo admisible en el punto considerado. El empleo de losa de cimentación puede ser particularmente adecuado cuando en el área se produzcan variaciones notables en el espesor del horizonte alterado, que pudieran dar asientos diferenciales no admisibles si se pretendiese cimentar mediante zapatas aisladas. No obstante, la cimentación por losa es una solución bastante costosa para edificios de baja altura.

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

Los problemas de cimentación que pueden presentarse están relacionados con: variaciones importantes de espesor del horizonte alterado que, como ya se ha dicho, pueden provocar asientos diferenciales; presencia de niveles arcillosos blandos intercalados entre los paquetes de margas sanas, que pueden producir fenómenos de punzonamiento; y presencia de niveles de areniscas duras no ripables que dificulten la excavación.

-Condiciones para obras de tierra

*Excavabilidad. Los horizontes de alteración se consideran terrenos Medios - Duros, es decir, atacables mediante medios mecánicos sin dificultad. Los niveles profundos de margas sanas se consideran, a efectos de ripabilidad, entre ripables y no ripables.

*Estabilidad de taludes. Algunos taludes naturales con alturas de 35 m y 70° de inclinación, se muestran estables. Pero por lo general, tanto los taludes naturales como los artificiales son inestables, observándose fenómenos de flujo de barro, desprendimientos de bloques y deslizamientos, todos ellos de pequeña magnitud, que afectan únicamente al nivel superficial de alteración.

La elevada alterabilidad de las margas al aflorar obliga en muchos casos a adoptar medidas encaminadas a mitigar los efectos de la erosión superficial y los procesos de acarreamiento (hidrosiembras, bermas, escalonamiento, etc.).

En función de los informes consultados se recomienda que en los taludes artificiales que se realicen donde la estratificación tenga una cierta componente hacia la excavación, la pendiente del talud en la dirección de buzamiento no supere el valor de dicho buzamiento, siempre que éste sea superior al ángulo de rozamiento entre los estratos, que para estos materiales se sitúa en 12 - 15°.

*Empuje sobre contenciones. Serán variables en función de la degradación del talud y del grado de alteración de los materiales. Pueden considerarse de bajos a altos en zonas muy meteorizadas.

*Aptitud para préstamos. Según los términos definidos en la metodología, los materiales superficiales procedentes de la alteración del sustrato margoso se consideran Inadecuados y ocasionalmente Marginales, por lo que no se recomienda su uso como material de préstamo en terraplenes y pedraplenes. Tampoco se recomienda el uso de las margas sanas en la ejecución de pedraplenes debido a su elevada alterabilidad.

*Aptitud para explanada en carreteras. En general, se trata de Suelos No Aptos, que precisan la extensión sobre ellos de una explanada mejorada.

*Obras subterráneas. Las obras subterráneas realizadas en esta zona afectarán al sustrato no alterado que de acuerdo con la Clasificación de Bieniawski (1979) varía de Clase III (Media) a Clase IV (Mala).

Zona III₂

-Localización

Se encuentra ampliamente representada a lo largo de toda la superficie de la Hoja. En general presenta una buena exposición morfológica en el paisaje, desarrollando relieves moderados.

-Características geológicas

Está constituida por depósitos variados del intervalo Thanetiense - Luteciense, entre los que se encuentran arcillas, margas, calizas, calizas margosas, areniscas y calcarenitas, que se disponen en alternancias, de naturaleza turbidítica en unos casos y de facies de plataforma externa, en otros. Se trata de un conjunto de materiales estratigráficamente complejos, que no admiten ser individualizados por razones de la escala de trabajo.

-Características geotécnicas

La característica fundamental del macizo rocoso que constituye esta zona, es la alternancia de materiales de diferente litología (y por tanto diferente comportamiento mecánico) en estratos y capas de espesor variable, factores estos que condicionan decisivamente el comportamiento geomecánico del conjunto.

En esta ocasión no se dispone de ensayos de laboratorio que permitan caracterizar las propiedades geomecánicas de los materiales. No obstante, una vez realizado el reconocimiento de campo y de acuerdo con los criterios establecidos por la Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas (ISRM), se estiman unos valores de resistencia a compresión simple para el conjunto de estos materiales entre muy baja ($< 50 \text{ kp/cm}^2$) y baja ($50 - 200 \text{ kp/cm}^2$), dependiendo del espesor de los bancos y de la proporción de niveles margosos.

Cabe esperar el desarrollo de niveles superficiales de alteración en los tramos margosos y calcomargosos, debido a la elevada alterabilidad que presentan estos materiales.

Desde el punto de vista hidrogeológico, dada la alta impermeabilidad del conjunto de estos materiales, no se espera la presencia de agua en profundidad.

-Características constructivas

a. Condiciones de cimentación. A falta de ensayos de laboratorio, se puede estimar la capacidad portante a partir de los valores normalizados en las diferentes Normas y Códigos. La Norma DIN 1054 establece para materiales sanos o poco alterados en medios estratificados y diaclasados, una presión admisible de 20 kp/cm^2 , valor éste que debe reducirse a la mitad cuando el espesor de los tramos margosos aumenta o la disposición de la estratificación y el grado de diaclasado son desfavorables. El Código Británico señala para rocas de la mismas características y arquitectura estratigráfica, presiones admisibles del orden de 20 kp/cm^2 . De esta forma y tomando valores conservadores, se estima que la capacidad portante de estos materiales se sitúa entre 6 y 10 kp/cm^2 , valores suficientes para el caso de edificios habituales en los que las cargas proyectadas son inferiores a $3 - 4 \text{ kp/cm}^2$.

El tipo de cimentación será en general, superficial, previa eliminación del recubrimiento superficial de alteración. Se recomiendan el uso de zapatas con una superficie no inferior a cuatro veces el área del pilar, para evitar así la concentración de tensiones, y el empleo de zapatas corridas cuando sea necesario evitar los posibles efectos que se producen por la presencia de niveles margosos blandos intercalados entre materiales más competentes (asientos diferenciales).

Los problemas de cimentación que pueden surgir son básicamente de tres tipos: presencia de niveles margosos que dan un comportamiento mecánico desigual al del conjunto, circunstancia ésta que, como ya se ha dicho, puede corregirse mediante el empleo de zapatas corridas; presencia de niveles arcillosos blandos intercalados entre niveles de margas o areniscas sanas, que pueden provocar fenómenos de punzonamiento; cuando los apoyos están próximos a taludes, la aplicación de cargas puede provocar la inestabilidad de los mismos, en cuyo caso habrá que estudiar las características y disposición espacial de la estratificación y diaclasado, y recurrir en caso necesario a trabajos de anclaje y bulonado del talud, para garantizar su estabilidad.

b. Condiciones para obras de tierra.

*Excavabilidad. Según los criterios seguidos en la metodología se trata de Terrenos Duros, atacables por medios mecánicos. Las margas, arcillas y niveles calcomargosos son en general ripables.

*Estabilidad de taludes. Se consideran en conjunto estables, según las definiciones dadas en la metodología. Puntualmente se producen desprendimientos superficiales de los niveles margosos muy laminados, y fenómenos de vuelco de estratos, muy frecuentes en depósitos turbidíticos. Al proyectar un talud en esta zona, debe tenerse especial cuidado en la relación entre la estratificación, el plano del talud y la

pendiente del mismo. Como norma general la pendiente del talud no ha de superar el ángulo de rozamiento entre los estratos.

*Empuje sobre contenciones. Será de tipo bajo, ocasionalmente de tipo medio en zonas margosas alteradas o en taludes con problemas de estabilidad.

*Aptitud para préstamos. Las arcillas, margas y calizas margosas se consideran rocas inadecuadas para su uso en terraplenes y pedraplenes. Los niveles de areniscas, calizas y calcarenitas constituyen por el contrario, terrenos adecuados y seleccionados.

*Aptitud para explanada en carreteras. Los terrenos margosos, arcillosos y calcomargosos se consideran No Aptos para su utilización en la coronación de terraplenes y pedraplenes. En el caso de desmontes, la categoría de la explanada en calizas, areniscas o calcarenitas es la E-3. Se recomienda el relleno con hormigón de tipo H-50 de las depresiones que contengan agua. La explanada deberá tener la inclinación y regularidad necesaria, de modo que se asegure la evacuación del agua infiltrada a través de las capas o juntas del firme de la calzada y arcenes.

*Obras subterráneas. Según los Criterios de la Clasificación de Bieniawski (1979), estos terrenos se encuadran entre la Clase III (Calidad Media) y Clase IV (Calidad Mala), jugando un papel importante la orientación de la estratificación y el grado de diaclasado.

Zona III₃

-Localización

Los principales afloramientos de esta Zona se disponen en forma de bandas alargadas con distinta orientación, que se reparten a lo largo de toda la Hoja, aunque son más abundantes en el dominio occidental. En general, conforman importantes resaltes morfológicos.

-Características geológicas

Está integrada por materiales carbonatados, en general bastante competentes, agrupando un amplio número de unidades geológicas que presentan características litológicas, estratigráficas y morfológicas similares, y por tanto, con un mismo comportamiento geomecánico. Incluye un conjunto calcáreo de edad Daniense -

Montiense de calizas bioclásticas y dolomías de plataforma someras, junto con niveles calcareníticos y biarritzienses de origen variado.

-Características geotécnicas

No se dispone en este caso de ensayos de laboratorio que permitan caracterizar geotécnicamente los materiales de esta Zona. No obstante, presentan una asociación de facies y arquitecturas deposicionales similares a la de los materiales que definen la Zona II6, por lo que cabe suponer unas características constructivas similares.

En función de los criterios establecidos por la Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas (ISRM) se consideran estos materiales como resistentes ($> 600 \text{ kp/cm}^2$). No obstante, la resistencia del macizo rocoso dependerá de las características de las discontinuidades.

Un aspecto importante en estos materiales, y que deberá interpretarse en posteriores estudios geotécnicos, es el grado de carstificación que presenten aquellas formaciones rocosas con potencia adecuada. Se analizarán en los casos más desfavorables los posibles hundimientos de cimientos y desprendimientos en taludes.

-Características constructivas

a. Condiciones de cimentación. Según el Código de Práctica Británico este tipo de roca admite cargas superiores a 40 kp/cm^2 , mientras que la Norma DIN 1054 recomienda valores en torno a los 30 kp/cm^2 . En aquellos casos donde el grado de fracturación o carstificación sea elevado, se aplicarán cargas inferiores.

En cualquier caso, la capacidad portante de estos materiales queda asegurada para edificios habituales (6-9 plantas) en los que se estiman cargas proyectadas entre $3-4 \text{ kp/cm}^2$. El tipo de cimentación a realizar será con mayor probabilidad el superficial, utilizando zapatas individuales con una superficie nunca inferior a cuatro veces el área del pilar, evitando la concentración de tensiones. En principio, no se estima necesario el empleo de losas a no ser que las características particulares del edificio (altura) o del sustrato rocoso (carstificación) así lo aconsejen.

No se ha observado presencia de sulfatos en estos materiales, con lo cual se descartan problemas de agresividad al hormigón.

b. Condiciones para obras de tierra.

*Excavabilidad. Según los términos expuestos en la metodología, se consideran materiales Duros. Su excavación precisa el empleo de explosivos.

*Estabilidad de taludes. Se consideran estables, tanto los taludes naturales como los artificiales. Puntualmente pueden producirse desprendimientos puntuales de algunos bloques inestables. Al diseñar un talud en esta Zona, hay que prestar especial interés a la orientación e inclinación de los planos de estratificación respecto al plano del talud, ya que pueden producirse desprendimientos importantes.

*Empujes sobre contenciones. Las contenciones no se consideran en principio necesarias.

*Aptitud para préstamos. Según el PPTG, este tipo de materiales se consideran Terrenos Adecuados y Seleccionados para su uso en pedraplenes y terraplenes.

*Aptitud para explanada en carreteras. La categoría de explanada en este tipo de rocas es la E-3, es decir suelos adecuados y seleccionados. Se recomienda el relleno con hormigón de tipo H-50 de las depresiones que pudieran contener agua. La explanada deberá tener la inclinación y regularidad necesarias, de modo que se asegure la evacuación del agua infiltrada a través de las capas o juntas del firme de la calzada y arcenes.

*Obras subterráneas. Según la Clasificación de Bieniawski, estos materiales se enmarcan entre la Clase II y Clase III, Rocas Medias (RMR = 41-60) a Buenas (RMR = 61-80), en función del grado de fracturación y de la intensidad de los procesos de carstificación.

Por otro lado, son rocas que presentan un Índice de Calidad (R.Q.D.) alto, por lo que para anchuras de tunelación moderadas (6-8 m) no se esperan problemas de sostenimiento.

7.3.7. Area IV

Zona IV₁

-Localización

Aparece representada únicamente en dos dolinas situadas en el ámbito del diapiro de Olo.

-Características geológicas

Está definida por arcillas de descalcificación, un producto residual de la disolución de carbonatos en procesos cársticos, que carecen de una morfología determinada, ya que se disponen en afloramientos discontinuos tapizando el fondo de dolinas. Litológicamente se trata de arcillas pardo-rojizas con un cierto contenido en limo y arena, así como fragmentos de rocas carbonatadas. Presentan una potencia variable que está en función de la intensidad del proceso de carstificación y del tamaño de la forma que rellenan.

Desde un punto de vista hidrogeológico se estima una permeabilidad baja a muy baja, debido a su carácter predominantemente arcilloso, dato que contrasta con la permeabilidad media-alta que presentan en general las formaciones carbonatadas sobre las que se desarrolla el carst.

-Características geotécnicas

No se han realizado reconocimientos geotécnicos detallados en estos materiales. No obstante, las observaciones de campo indican que se trata de depósitos arcillosos de extensión reducida y poco consolidados que se comportan como un suelo de consistencia media - blanda.

Dada su estrecha relación con procesos de carstificación, un aspecto importante a considerar y que deberá completarse en cualquier reconocimiento geotécnico de detalle es la intensidad de los procesos de cársticos que presentan los materiales carbonatados subyacentes, y por consiguiente, se analizarán en las situaciones más desfavorables los posibles hundimientos en cimentaciones.

-Características constructivas

a. Condiciones de cimentación. A falta de ensayos más precisos pueden considerarse los valores contenidos en las diferentes Normas y Códigos. Así, el Código de Práctica Británico establece para este tipo de materiales presiones admisibles entre 0,75 y 3 kp/cm², esperándose asientos de consolidación a largo plazo. Para la Norma DIN 1054 a una profundidad de cimentación de 2 m, las cargas admisibles en este tipo de arcillas son del orden de 2,5 - 3 kp/cm², esperándose asientos en torno a 4 cm.

No obstante aunque presenten una capacidad portante suficiente en algunos casos para determinados tipos de edificios, se localizan en emplazamientos muy desfavorables para proyectar sobre ellos cargas concentradas. Por este motivo, y a

falta de estudios detallados, se aconseja no utilizar estos materiales como terrenos de cimentación.

b.Condiciones para obras de tierra.

*Excavabilidad. De acuerdo con los criterios establecidos en la metodología, estos materiales se consideran terrenos Medios - Blandos; su excavación puede realizarse por medios mecánicos sin ningún tipo de problemas.

*Estabilidad de taludes. En general depende de la extensión del afloramiento y del espesor de los materiales. Pueden producirse pequeños deslizamientos de carácter superficial.

*Empuje sobre contenciones. Son variables en función del grado de saturación de los materiales. Pueden considerarse de bajos a medios.

*Aptitud para préstamos. Se consideran materiales Inadecuados según los criterios reflejados en la metodología. En algunas situaciones pueden constituir terrenos marginales en cimientos y núcleos de terraplenes, pero nunca en la coronación de los mismos.

*Aptitud para explanada en carreteras. Se trata de Materiales No Aptos, como máximo marginales; precisarán por tanto la extensión sobre ellos de un firme mejorado.

*Obras subterráneas. En general, las obras subterráneas importantes afectarán al sustrato. Obras de menor entidad, encontrarían un terreno difícil, según lo expuesto en la Metodología.

Zona IV₂

-Localización

Presenta una amplia distribución con afloramientos de extensión muy variable, relacionados fundamentalmente con los relieves importantes.

-Características geológicas

Corresponden a depósitos cuaternarios contituidos por canchales, coluviones y deslizamientos. Están formados por arcillas limosas o areniscas con abundantes

cantos y gravas de materiales carbonatados y areniscosos que se presentan sueltos, sin ningún tipo de cementación. En el caso de los canchales se trata de una acumulación de bloques muy heterométricos, sin apenas elementos finos. Merecen mención especial las masas deslizadas, que se forman a partir de recubrimientos coluvionares, zonas de alteración superficial y litologías blandas o alternantes.

Aunque en conjunto son depósitos relativamente frecuentes, poseen un reducido espesor (3 - 7 m) y carácter errático.

-Características geotécnicas

Se trata de depósitos escasamente consolidados, donde los problemas geotécnicos están condicionados con la disposición geomorfológica y estratigráfica de los materiales. En esta ocasión se dispone de ensayos geotécnicos procedentes de catas realizadas en depósitos coluvionares. A continuación se describen los valores más significativos.

Cuadro Resumen de Características Geotécnicas

Clasificación de Casagrande:CL

Clasificación de ASSHTO:A-7-6

Índice de grupo:15

P.G.-3Suelo tolerable

Densidad:1,55 gr/cm³

Humedad:22%

% pasa tamiz nº 200:68%

Límite líquido:55

Índice plasticidad:35

Densidad máxima Proctor:1.583 gr/c1091

Humedad óptima Proctor:22,5%

Indice C.B.R. 100% densidad Proctor:6

Indice C.B.R. 90% densidad Proctor:0,75

Hinchamiento de Lambe:1,71

A grandes rasgos y en base a los datos existentes, los materiales analizados están constituidos por suelos limo-arcillosos de alta plasticidad, que presentan un cierto contenido en grava y arena. Son materiales que constituyen terrenos tolerables. En cuanto a la expansividad, los resultados del análisis de hinchamiento permiten clasificar estos materiales como No Críticos. No obstante, es aconsejable investigar este parámetro mecánico si se prevén cambios de humedad importantes de los materiales que vayan a soportar una cimentación determinada.

Desde un punto de vista hidrogeológico, estos depósitos carecen, en conjunto, de un nivel freático continuo.

-Características constructivas

a.Condiciones de cimentación. A falta de ensayos geotécnicos puntuales que permitan caracterizar los distintos tipos morfológicos de los depósitos que definen esta Zona, se pueden considerar los valores normalizados que contienen las diferentes Normas y Códigos. De esta forma, pueden considerarse presiones admisibles entre 1,5 - 2 kp/cm². En general, se debe cimentar sobre el sustrato rocoso, mediante cimentación superficial o semiprofunda por pozos, todo ello en función de la profundidad de los materiales, con el fin de evitar posibles fenómenos de inestabilidad, sobre todo en áreas con pendientes apreciables.

Los problemas que se pueden plantear en obras de cimentación están relacionados con fenómenos de inestabilidad y erosión en aquellos depósitos que presenten pendientes acusadas.

b.Condiciones para obras de tierra.

*Excavabilidad. De acuerdo con los conceptos establecidos en la Metodología, se trata de un Terreno Medio; su excavación puede realizarse por medios mecánicos sin dificultad.

*Estabilidad de taludes. En estos depósitos, taludes con alturas superiores a 4 m no deberán superar los 30°.

*Empuje sobre contenciones. Se consideran de tipo medio.

*Aptitud para préstamos. En función de los criterios expuestos en la metodología, y previa eliminación de la cubierta vegetal, los materiales de esta zona se consideran Marginales (suelos unas veces inadecuados y otras tolerables, incluso adecuados).

*Aptitud para explanada en carreteras. Según los términos establecidos en la metodología, se consideran Marginales. En el caso concreto de los suelos coluviales, de los que se tienen datos de ensayos, se pueden clasificar como suelos tolerables, en los que para conseguir una categoría de Explanada E-3, será necesaria la extensión sobre ellos de un firme de 50 cm de Suelo Seleccionado con C.B.R. ≥ 20 o bien, 35 cm de Suelo Adecuado y, por encima 15 cm más de Suelo Adecuado estabilizado in situ con cemento.

*Obras subterráneas. En general, dado el reducido espesor de los materiales que integran esta Zona, las obras subterráneas afectarán a materiales del sustrato. No obstante, para obras de pequeña envergadura, según los criterios de la Clasificación de Bieniawski, nos encontraremos con Terrenos Difíciles, que en principio necesitarán entibación total.

Zona IV₃

-Características geológicas

Corresponden a depósitos de llanuras de inundación, terrazas, conos de deyección y depósitos de fondo de valle, es decir, materiales relacionados con la red fluvial actual.

Desde el punto de vista litológico, se trata de materiales formados por gravas y cantos de naturaleza calcárea y cuarcítica, arenas, limos y arcillas. Su proporción y distribución es muy variable, desde los niveles de terraza, constituidos por gravas dentro de una matriz arenosa que presenta cierto contenido en finos, hasta los depósitos de llanuras de inundación, constituidos por materiales limo-arcillosos con niveles de arenas intercalados. Los depósitos de fondo de valle son litológicamente muy similares a los de terraza, pero con un mayor porcentaje de finos. En estos materiales, la naturaleza de la fracción gruesa depende del área de procedencia.

-Características geotécnicas

En general, se trata de depósitos escasamente consolidados, donde los problemas geotécnicos están condicionados por la disposición geomorfológica y estratigráfica.

Se dispone de ensayos geotécnicos procedentes de catas realizadas en materiales pertenecientes a esta Hoja Los resultados citados obtenidos fundamentalmente sobre depósitos arcilloso-limosos, son los siguientes.

Cuadro Resumen de Características Geotécnicas

Clasificación de Casagrande:CL

Clasificación de ASSHTO:A-7-6

Índice de grupo:15

P.G. 3Suelo tolerable

Densidad:1,63 gr/cm³

Humedad:16%

% pasa tamiz nº 200:68%

Límite líquido:50

Índice plasticidad:29

Densidad máxima Proctor:1,64 gr/cm³

Humedad óptima Proctor:16,4%

Índice C.B.R. 100% densidad Proctor:3,85

Índice C.B.R. 90% densidad Proctor:2,6

Hinchamiento de Lambe:3,24

A grandes rasgos, y en función de los datos existentes, los materiales analizados están constituidos por suelos limo-arcillosos de plasticidad alta o baja según los casos, que presentan cierto contenido en arena y gravas, retenido en el tamiz nº 200. El comportamiento de estos materiales en explanadas puede clasificarse en general de regular a malo. Para constituir explanadas de tipo E-1, precisan sobre ellos la

extensión de 50 cm de Suelo Adecuado. Los niveles de gravas, previa eliminación de los tamaños gruesos, pueden constituir Suelos Adecuados e incluso Seleccionados.

En cuanto a la expansividad, los resultados del análisis de hinchamiento permiten clasificar estos materiales como Marginales. No obstante, es aconsejable investigar este parámetro mecánico si se prevén cambios de humedad importante en los materiales que vayan a soportar un cimentación determinada.

Cabe considerar, antes de acometer cualquier tipo de obra en esta zona, el alto riesgo de avenidas periódicas e inundaciones torrenciales, debido a precipitaciones importantes concentradas, que presentan los principales cursos fluviales, tanto en áreas de llanuras de inundación, como en fondos de valle y terrazas bajas. Por otro lado, pueden producirse pequeños desprendimientos de cantos de escasa relevancia en los bordes de taludes subverticales.

En general, la permeabilidad de estos materiales es muy variable, desde términos permeables a impermeables en aquellas áreas donde exista un alto contenido en finos. El drenaje se realiza bien por escorrentía (zonas de baja permeabilidad), infiltración (terrazas) o por la unión combinada de ambos (depósitos de fondos de valle).

Son materiales de fácil excavación, que presentan una capacidad de carga de baja a media, valor que varía en función del tamaño del grano, la naturaleza de la matriz y, en conjunto, de su densidad relativa.

El hecho de que afloren materiales agresivos en áreas circundantes, hace prever que puedan existir concentraciones de sulfatos que provoquen problemas de agresividad al hormigón. No obstante, el condicionante geotécnico más importante que puede presentar este tipo de depósitos es la presencia de asientos diferenciales, debido a la variabilidad litológica que muestran, tanto en la vertical como en la horizontal. Otro problema a tener en cuenta, sobre todo en la ejecución de zanjas, es la presencia de un nivel freático somero, que origina en muchas ocasiones problemas de agotamiento. En estos casos, se hace necesario el empleo de drenajes y otras técnicas para rebajar el nivel freático.

-Características constructivas

a. Condiciones de cimentación. A falta de un mayor número de ensayos geotécnicos, se pueden considerar los valores normalizados que continen las diferentes Normas y Códigos. De esta forma, en aquellas áreas donde predominan niveles arcillo-arenosos, con espesores apreciables (> 3 m) para una profundidad de cimentación de

1,5 m, se pueden considerar presiones admisibles entre 1,3 y 2 kp/cm². En los niveles de gravas, suponiendo un espesor no inferior al ancho de la zapata y en ausencia del nivel freático, se pueden considerar presiones admisibles entre 2,5 y 3,5 kp/cm², valores que quedan reducidos a 1,5 - 2,1 kp/cm², en presencia del nivel freático. Así, para el conjunto de los materiales que definen la Zona, se estima una capacidad portante variable entre 1 y 3,5 kp/cm², dependiendo de que se trate de un limo de consistencia más o menos rígida o una grava de compacidad alta.

No obstante, cuando no se reúnen las condiciones anteriores, las cargas proyectadas son superiores a las dadas; igualmente, en el caso de depósitos aluviales (con alto riesgo de avenidas) es necesario encontrar niveles profundos más resistentes (incluso el sustrato). En estos casos, el tipo de cimentación será semiprofunda, mediante pozos, o si la profundidad de éstos es superior a 5-6 m, mediante pilotes perforados. Por otro lado, la ejecución de pozos puede presentar problemas de agotamiento.

De lo dicho hasta ahora se deduce que los principales problemas de cimentación están relacionados con la posición del nivel freático, que puede dar lugar a subpresiones y fenómenos de inestabilidad en excavaciones y obras, así como agotamientos importantes. Por otro lado, la presencia de intercalaciones de arcillas blandas puede provocar asentamientos diferenciales no admisibles.

b. Condiciones para obras de tierra.

*Excavabilidad. En general, todos los materiales que definen la Zona se consideran Terrenos Medios; su excavación podría realizarse por medios mecánicos, sin dificultad. Las paredes de zanjas, en función de su localización y profundidad pueden experimentar problemas de inestabilidad y agotamiento en presencia del nivel freático.

*Estabilidad de taludes. Los taludes naturales en depósitos de terraza se mantienen estables; los artificiales, en ausencia del nivel freático, se mantienen verticales con alturas de 2 a 3 m; para alturas mayores deben proyectarse taludes 3H: 4V, tomando eventualmente medidas correctoras.

Los taludes artificiales en material aluvial se mantienen estables, cuando se sitúan por encima del nivel freático; si se corta el nivel freático se producen desmoronamientos.

*Empujes sobre contenciones. En áreas de predominio de materiales finos son de tipo Medio. En zonas de gravas varían de Altos a Bajos en función de la posible presencia del nivel freático.

*Aptitud para préstamos. Los depósitos de materiales finos (limos, arcillas) se consideran Marginales de acuerdo con las definiciones establecidas en la metodología. Los niveles de gravas se consideran Aptos, si bien precisan una clasificación que elimine los tamaños gruesos (8-10 cm).

*Aptitud para explanada en carreteras. En general los depósitos de terraza se consideran entre Aptos y Marginales; los materiales aluviales, se consideran Marginales.

*Obras subterráneas. En general, las obras subterráneas de envergadura afectan al sustrato. Sin embargo, en obras de menor diámetro (conducciones subterráneas) encontrarán Terrenos Dificiles, según lo establecido en la metodología, que precisarán entibación total.

8. 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.

ARCE, R.; OLMEDO, F., PESQUERA, A. y VELASCO, F.

1984

Metamorfismo de grado bajo y muy bajo en la mitad occidental del macizo de Alduides (Navarra).

I Congr. Esp. Geol. T-II. 15-25.

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-Guía Excursión n 1, Vic, 1991, 123 pp.

BARNOLAS, A. y TEIXELL, A.

1992

La cuenca surpirenaica de Jaca como ejemplo de cuenca de antepaís 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.

BOER, H.V.; KRAUSE, H.F.; MOHR, K.; MULLER, R.; PILGER, A. y REQUADT, H.

1974

La région de magnesite d'Eugui dans les Pyrénées Occidentales. Pirineos (C:S:I:C:) 111:21-39.

CAMARA, P. y KLIMOWITZ, J.

1985

Interpretación geodinámica de la vertiente centro-occidental surpirenaica

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'Eocène moyen à l'Oligocène inférieur.

Rev. de Micropl., 31.

CARBAYO, A.; LEON, L. Y VILLALOBOS, L.

1978

Mapa Geológico de España. E. 1:50.000, 2ª Ser., Hoja nº 115 (Gulina).

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.; NIÑEROLA, S. y OTAMENDI, A.

1982

Las aguas subterráneas en Navarra. Proyecto hidrogeológico

Diputación Foral de Navarra, 230 pp.

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.

COLOM, G.

1945

Estudio preliminar de las microfaunas de foraminíferos de las margas eocenas y oligocenas de Navarra.

Est. Geol. nº 2, pp. 33-84. Madrid.

CORPAS, J.R.

1991

Guía de Navarra.

Ed. El País-Aguilar, 231 pp., Madrid.

DAMESTOY, G.

1961

Etude de la serie devonienne de la vallee du Quinto (Basses - Pyrénées)

C.R. sonom. S.G.F., p. 75-76.

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 - I.T.G.E.

EWERT, F.K.

1964

Geologie des Südteiles des Baskischeu Pyrenäen.

Diss. Univ. Münster, pp 223. Münster.

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.

1965

Contribution á la connaissance du Crétace moyen du Nord et de l'Oueste de la Navarre espagnole.

Actes 4^o Congrès Intern. Etudes Pyrénéenes, Pau-Lourdes, 11,16 sept.1962, 1, sect.1, pp.

FROUTE J.Y.

1988

Le rôle de l'accident d'Estella dans l'histoire géologique Cretace superiere u Miocene des Navarra-Alavais.

These. Université de Pau

GARCIA DE DOMINGO, A.; BLAS, I. y CABRA, P.

1993

Actualización e informatización de la Cartografía Geológica de Navarra a escala 1:25.000. Hoja nº 116-I (Erro). Gobierno de Navarra. Inédito.

GARCIA DE DOMINGO, A.; BLAS, I. Y CABRA, P.

1993

Actualización e informatización de la Cartografía Geológica de Navarra a escala 1:25.000. Hoja nº 116-III (Arce).

Gobierno de Navarra. Inédito.

GARCIA DE DOMINGO, A.; BLAS, I. y CABRA, P.

1993

Actualización e informatización de la Cartografía Geológica de Navarra a escala 1:25.000. Hoja nº 141-I (Cizur).

Gobierno de Navarra. Inédito.

GARCIA DE DOMINGO, A.; BLAS, I. y CABRA, P.

1993

Actualización e informatización de la Cartografía Geológica de Navarra a escala 1:25.000. Hoja nº 141-II (Pamplona).

Gobierno de Navarra. Inédito.

GARCIA - MONDEJAR, J.

1982

Aptiense - Albiense.

In: El Cretácico de España. Univ. Compl. Madrid, pp 63-84.

GARCIA SANSEGUNDO, J.

1991

Estratigrafía y estructura de la Zona Axial Pirenaica en la transversal del Valle de Arán y de la Alta Ribagorça.

Tesis Doct. Univ. de Oviedo.

GOMEZ DE LLARENA, J.

1950

La magnesita de Eugui (Navarra).

Bol. Soc. Esp. Hist. Nat. Madrid, 48.

HEDDEBAUT, C.

1965

Recherches stratigraphiques et paleontologiques dans le massif des Aldudes (Basses - Pyrénées).

Bul. Soc. Geol. France, 7.

HEDDEBAUT, C.

1967

Observations tectoniques sur le massif des Aldudes (Basses Pyrénées).

C.R. Somm Seances Soc. Geol. France.

HOTTINGER, L.

1961

Acerca de las Alveolinas paleocenas y eocenas

N. y C. IGME, nº 64, p. 37, Madrid.

JOHNS, D.R.; MUTTI, E.; ROSELL, J. y SEGURET, M.

1981

Origin of a thick, redeposited carbonate bed in the Eocene turbidites of the Hecho Group. South-Central Pyrénées.

Geology, 9, pp. 161-164.

KLARR, K.

1971

Der geologische Bau des südöstlichen Teiles vom Aldudes - Quinto Real - Massiv (Spanische Westpyrenäen).

Clausthaler Geol. Abh. II Clausthal - Zellerfeld.

KLARR, K.

1974

La structure géologique de la partie sud-est du Massif des Aldudes - Quinto Real (Pyrénées Occidentales).

Pirineos III.

KULLMANN, J.

1970

Oberdevonische und karbonische Goniatiten-Faunen in den Spanischen Westpyrenäen.

Clausthaler Geol. Abh. H. 12.

LABAUME, P.

1983

Evolution tectono-sedimentaire et megaturbidites du bassin turbiditique eocene sud-pyrénéen.

These 3 éme cicle, USTL, Montpellier, 170 p.

LABAUME, P.; MUTTI, E.; SEURET, M. y ROSELL, J.

1983

Megaturbidites carbonatées du bassin turbiditique de l'Eocene inferieur et moyen sud-pyrénéen.

Bull. Soc. Géol. France, (6), 25 pp.

LABAUME, P.; MUTTI, E. y SEURET, M.

1987

Megaturbidites: A Depositional Model From the Eocene of the SW-Pyrenean Foreland Basin Geo-Marine.

Letters 7 pp. 91-101.

LABAUME, P.; SEURET, M. y SYEVE, C.

1985

Evolution of a turbidite foreland basin an analogy with an accretional prism: Example of the Eocene South-Pyrenean basin.

Tectonics 4 pp. 661-68.

LAMARE, P.

1927

Sur la structure des Pyrénées navarraisses.

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.

LAMARE, P.

1936

Recherches géologiques dans les Pyrénées Basques d'Espagne.

Mem. Soc. Geol. France (N.S.) 12, 27; pp 464. París.

LEON, I.; MARROCCO, R.; NEURDIN, J. y 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, O. I.

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, O. I.

1985

Etude sedimentologique et reconstitution du cadre geodynamique de la sedimentation detritique fini Eocene-Oligocene sud Pyreneen.

These. Université de Pau.

MAGNESITAS DE NAVARRA, S.A.

1985

Mineralizaciones de magnesita en el anticlinal de Asturreta (Navarra).

Informe interno.

MANGIN, J.P.

1960

Le Nummulitique sud.pyrénéen á l'Ouest de l'Aragon.

Pirineos, 51-58, 631 p., 113 figs. 19 pls., 1 Carte géol. au 1:200.000, Zaragoza.

MANGIN, J.P.

1965

Le segment Basco-Aragonais dun Front Sud-Pyrénéen.

Actes IV Congrès Intern. Etudes Pyrénéennes Pau-Lourdes, 11-16, Set. 1962, 1 (1), pp. 69-73, 1 fig., Toulouse.

MARTINEZ TORRES, L.M.

1989

El Manto de los Mármoles (Pirineo Occidental): Geología estructural y evolución geodinámica.

Tesis doctoral. Univ. País Vasco. 290 pp.

MATTAUER, M. y SEGURET, M.

1971

Les relations entre la chaîne des Pyrénées et le Golfe de Gascogne.

In: Histoire structurale du Golfe de Gascogne, t 1. Publ. Inst. Français Pétrole. Ed. Technip. Pp. IV-4-1 a IV-4-24.

MENSUAS, S.

1960

La Navarra media oriental. Estudio geográfico.

Inst. Príncipe de Viana, Dep. Geol. Aplic. Zaragoza, Serv. Reg. 8, 186, pp., 40 figs. y 25 láminas.

MIROUSE, R.

1967

Le Dévonien des Pyrénées occidentales et Centrales (France).

Interm. Sympos. Devonian System. Vol., I, pp. 153-170, 1 fig., Calgary.

MOHR, R. y PILGER, A.

1965

Das Nord-Süd-streichende Lineament von Elizondo in den westlichen Pyrenäen.

Geol. Rdsch., 54 (1964), 2, s. 1044-1060, 7 Abb., Stuttgart.

MULLER, J.

1967

Sur la superposition des déformations dans les Pyrénées occidentales.

C.R. Acad. Sc. 265, Sér. D. pp. 400-402, París.

MUTTI, E.

1977

Distinctive thin-bedded turbidite facies and related environments in the Eocene Hecho Group (south-central Pyrenees. Spain).

Sedimentology, 24.

MUTTI, E.

1984

The Hecho Eocene Submarine Fan System. South-Central Pyrenees Spain.

Geo-Marine Letters, 3.

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.

PAYROS, A.; ORUE-ETXEBARRIA, X.; BACETA, J.J. y PUJALTE, V.

1992

Las "megaturbiditas" y otros depósitos de resedimentación carbonatada a gran escala del Eoceno surpirenaico: Nuevos datos del área Urrobi - Ultzama (Navarra).

Geogaceta.

PILGER, A.

1974

Dévonien supérieur, Carbonifère inférieur et Namurien avec la magnésite d'Eugui au Sud Ouest du massif d'Aldudes Quinto Real dans les Pyrénées Occidentales espagnoles. Pirineos (C.S.I.C.) III: 129-145.

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.

PUIGDEFABREGAS, C.

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.

PUIGDEFABREGAS, C.; MUÑOZ, J.A. y MARZO, M.

1986

Thrust belt development in the eastern Pyrenees and related depositional sequences in the southern foreland basin.

In: P.A. Allen y P. Homewood (eds). Foreland Basins Secp. Publ. Int. Ass. Sediment., 8.

RAMIREZ, J.I.; OLIVE, A.; VILLALOBOS, L.; LEON, J. y CARBAYO, A.

1987

Mapa Geológico de España. E. 1:50.000, 2ª Ser., Hoja nº 114 (Alsasua).

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.

REQUADT, M.

1974

Aperçu sur la stratigraphie et le facies du Devonien inferieur et moyen dans les Pyrénées Occidentales d'Espagne.

Pirineos, III

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, 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.

ROBADOR, A.; SAMSO, J.M.; SERRA-KIEL, J. y TOSQUELLA, J.

1990

Field Guide. In: Introduction to the early Paleogene of the south Pyrenean basin. Field Trip Guidebook.

L.G.C.P. Project 286 (Early Paleogene Benthos), IUGS-UNESCO, Chap. 4, pp. 131-159.

ROSELL, J. y PUIGDEFRABREGAS, C.

1975

The sedimentary evolution of the Paleogene south Pyrenean basin.

IAS 9 th. International Congress. Nice, July 1975.

RUIZ DE AGONA, M.

1947

Nota preliminar. El Bartonense en la cuenca de Pamplona.

N. y C. IGME., nº 17, p. 159-166, Madrid.

RUPKE, N.A.

1976

Sedimentology of very thick calcarenite-marlstone beds in a flysch succession, southwestern Pyrénées.

Sedimentology 23.

SEGURET, M.; LABAUME, P. y MADARIAGA, R.

1984

Eoceno seismicity in the Pyrenees from megaturbidites in the south-Pyrenean Basin (North Spain).

Mr. Geol., 5, pp. 117-131.

SOLER y JOSE, R.

1971

Estudio geológico de la Sierra de Aralar (Cuenca Cantábrica Oriental).

Bol. Geol. Min. T. 82, V. Pp 406 - 428.

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, 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. y 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.

VILLALOBOS, L. y RAMIREZ DEL POZO, J.

1971

Estratigrafía del Jurásico del NO de Navarra

Cuad. Geol. Ibérica. Vol. 2. Pp, 541-558. Madrid.

VILLALOBOS, L. y RAMIREZ, J.

1974

Contribución al estudio del Cretácico superior de facies flysch de Navarra.

Pirineos III.

WALGENWITZ, R.

1976

Etude petrol. des roches intrusives trias. des ecailles du socle profond et gîtes de chlorite de la région d'Elizondo (Nav., Espag.).

These de l'Université de Besangon, pp. 172.