



**Gobierno de Navarra**

Departamento de Obras Públicas,  
Transportes y Comunicaciones

CARTOGRAFÍA GEOLÓGICA DE NAVARRA

ESCALA 1:25.000

**HOJA 115-I**

**IRURZUN**

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

<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
<b>2. ESTRATIGRAFIA</b> .....	<b>4</b>
2.1. MESOZOICO .....	4
2.1.1. Triásico.....	5
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 .....	7
2.1.2. Jurásico .....	8
2.1.2.1. Calizas, dolomías y brechas calcáreas (113). Triásico superior - Sinemuriense .....	8
2.1.2.2. Margas y calizas margosas (114). Sinemuriense - Toarciense .....	9
2.1.2.3. Calizas y calizas margosas (115). Aalenense - Bajociense.....	10
2.1.2.4. Calizas (125). Bathoniense - Oxfordiense .....	11
2.1.2.5. Análisis secuencial del Jurásico.....	12
2.1.3. Crétacico.....	12
2.1.3.1. Calizas, margas y areniscas (126). Facies Purbeck. Portlandiense - Valanginiense ...	13
2.1.3.2. Arcillas y margas (128). Facies Weald. Valanginiense - Barremiense.....	13
2.1.3.3. Areniscas y conglomerados (135). Aptiense - Albiense .....	14
2.1.3.4. Margas micáceas oscuras (140). Aptiense - Cenomaniense inferior .....	15
2.1.3.5. Calizas arrecifales masivas (133). Margas con intercalaciones de calizas margosas y arenas (139). Aptiense - Albiense .....	16
2.1.3.6. Alternancia de margas, areniscas calcáreas y calizas (166). Brechas calcáreas (165). Calcarenitas y areniscas calcáreas (167). Cenomaniense - Santoniense .....	17
2.1.3.7. Margas y calizas margosas (185). Calcarenitas y margas (187). Campaniense .....	18
2.1.3.8. Margas y margocalizas (186). Campaniense .....	19
2.1.3.9. Margocalizas y margas (190). Maastrichtiense .....	19
2.1.3.10. Margas, calizas margosas y areniscas (184). Calcarenitas (191). Maastrichtiense ..	20
2.1.3.11. Análisis secuencial del Cretácico .....	22
2.2. TERCIARIO.....	23
2.2.1. Daniense - Montiense .....	23
2.2.1.1. Calizas y calizas con intercalaciones margosas (207). Daniense - Montiense .....	24
2.2.1.2. Análisis secuencial del Daniense - Montiense.....	25
2.2.2. Thanetiense - Ilerdiense .....	25
2.2.2.1. Calizas y margocalizas con intercalaciones margosas (215). Margas (214). Thanetiense - Ilerdiense .....	25
2.2.2.2. Análisis secuencial del Thanetiense - Ilerdiense.....	26
2.2.3. Cuisiense - Biarritziense inferior .....	27

2.2.3.1.	Margocalizas y margas (239). Luteciense .....	28
2.2.3.2.	Calcarenitas y margas (237). Luteciense .....	28
2.2.3.3.	Margas (254). Luteciense .....	28
2.2.3.4.	Calcarenitas (260). Lutecienese - Biarritziense inferior .....	29
2.2.3.5.	Análisis secuencial del Cuisiense - Biarritziense inferior .....	29
2.3.	CUATERNARIO .....	30
2.3.1.	Pleistoceno - Holoceno .....	30
2.3.1.1.	Arcillas de descalcificación (523). Fondos de dolina (Pleistoceno - Holoceno) .....	30
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 31	
2.3.2.	Holoceno .....	32
2.3.2.1.	Limos, arenas y gravas (530). Cauces abandonados. Holoceno .....	32
2.3.2.2.	Arcillas, arenas y gravas (543). Coluviones. Holoceno .....	32
2.3.2.3.	Gravas, arenas y arcillas (536). Conos de deyección. Holoceno .....	32
2.3.2.4.	Limos, arenas y gravas (526). Llanuras de inundación. Holoceno .....	33
2.3.2.5.	Brechas calcáreas (548). Canchales. Holoceno .....	33
2.3.2.6.	Arcillas, gravas y arenas (545). Deslizamientos. Holoceno .....	33
2.3.2.7.	Gravas, arenas y limos (527). Fondos de valle. Holoceno .....	34
<b>3.</b>	<b>TECTONICA.....</b>	<b>35</b>
3.1.	CONSIDERACIONES GENERALES .....	35
3.2.	DESCRIPCION DE LAS PRINCIPALES ESTRUCTURAS .....	36
3.2.1.	Discordancias .....	36
3.2.2.	Pliegues .....	37
3.2.3.	Fallas y cabalgamientos .....	38
3.3.	CRONOLOGIA DE LA DEFORMACION .....	40
<b>4.</b>	<b>GEOMORFOLOGIA.....</b>	<b>43</b>
4.1.	DESCRIPCION FISIOGRAFICA .....	43
4.2.	ANTECEDENTES .....	44
4.3.	ANALISIS MORFOLOGICO .....	45
4.3.1.	Estudio morfoestructural .....	45
4.3.2.	Estudio del modelado .....	47
4.3.2.1.	Formas fluviales .....	47
4.3.2.2.	Formas de ladera .....	49
4.3.2.3.	Formas cársticas .....	50
4.3.2.4.	Formas poligénicas .....	51
4.4.	FORMACIONES SUPERFICIALES .....	52

4.5. EVOLUCION GEOMORFOLOGICA.....	54
4.6. PROCESOS ACTUALES .....	56
<b>5. PETROLOGIA .....</b>	<b>58</b>
5.1. ROCAS IGNEAS.....	58
5.1.1. Rocas subvolcánicas (1). Ofitas.....	58
<b>6. HISTORIA GEOLOGICA.....</b>	<b>59</b>
6.1. EL CICLO HERCINICO.....	59
6.2. EL CICLO ALPINO .....	59
<b>7. GEOLOGIA ECONOMICA .....</b>	<b>65</b>
7.1. RECURSOS MINERALES.....	65
7.1.1. Minerales metálicos y no metálicos.....	65
7.1.1.1. Cinc.....	65
7.1.1.2. Hierro .....	65
7.1.2. Sustancias energéticas.....	66
7.1.2.1. Asfalto .....	66
7.1.3. Minerales y rocas industriales .....	66
7.1.3.1. Caliza .....	66
7.1.3.2. Ofita .....	67
7.1.4. Interés potencial de los recursos minerales .....	67
7.2. HIDROGEOLOGIA .....	68
7.2.1. Descripción de las formaciones .....	68
7.2.1.1. Dolomías y calizas. Facies Muschelkalk. Triásico medio .....	68
7.2.1.2. Arcillas yesíferas abigarradas. Facies Keuper. Triásico superior .....	69
7.2.1.3. Calizas, dolomías y brechas calcáreas. Triásico superior - Sinemuriense .....	69
7.2.1.4. Margas y calizas margosas. Sinemuriense - Toarciense .....	69
7.2.1.5. Calizas y calizas margosas. Aaleniense - Oxfordiense.....	70
7.2.1.6. Calizas, margas y areniscas. Facies Purbeck. Portlandiense - Valanginiense .....	70
7.2.1.7. Arcillas, margas con intercalaciones de calizas margosas y areniscas. Valanginiense - Maastrichtiense .....	70
7.2.1.8. Areniscas y conglomerados. Aptiense - Albiense.....	71
7.2.1.9. Calizas arrecifales. Aptiense - Albiense.....	71
7.2.1.10. Brechas calcáreas. Cenomaniense.....	71
7.2.1.11. Calcarenitas. Turoniense - Santoniense .....	72
7.2.1.12. Calcarenitas y margas. Campaniense .....	72
7.2.1.13. Calcarenitas. Maastrichtiense .....	72
7.2.1.14. Calizas con intercalaciones margosas. Daniense - Ilerdiense .....	73

7.2.1.15. Margas. Thanetiense .....	73
7.2.1.16. Margas, arcillas, margocalizas y calcarenitas. Cuisiense - Luteciense.....	73
7.2.1.17. Calcarenitas. Luteciense - Biarritziense inferior.....	74
7.2.1.18. Cuaternario. Formaciones superficiales .....	74
7.2.2. Unidades acuíferas .....	75
7.2.2.1. Acuífero de Latasa .....	75
7.2.2.2. Calizas del Cretácico superior.....	76
7.2.2.3. Calizas del Luteciense superior.....	77
7.2.2.4. Formaciones permeables del Cuaternario .....	77
7.3. GEOTECNIA .....	78
7.3.1. Introducción .....	78
7.3.2. Metodología .....	79
7.3.3. Zonación geotécnica.....	80
7.3.4. Características geotécnicas.....	82
<b>8. BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>132</b>

## 1. INTRODUCCIÓN

La Hoja a escala 1:25.000 de Irurzun (115-I), incluida en la Hoja a escala 1:50.000 de Ansoáin (115), se encuentra situada en el sector noroccidental navarro, concretamente en la zona de confluencia entre la comarca de La Ulzama y las estribaciones orientales de la sierra de Aralar (Fig. 1).

En este último dominio, ubicado en el sector occidental de la Hoja, se localiza su máxima elevación, el pico Trinidad (1.092 m), en tanto que su cota más baja se encuentra en el valle del río Araquil (425 m). Este contraste altimétrico da idea de los importantes desniveles y, en general, formas abruptas del sector occidental, especialmente en el ámbito de la sierra de Aralar; hacia el E, las formas del terreno se van suavizando, dando paso a un terreno elevado, pero poco contrastado correspondiente a la denominada Plataforma de Beunza a cuyo pie se localiza el valle del río Ulzama, algo más al E. Los terrenos más abruptos están acompañados por una cobertera de bosques, en tanto que los más suavizados se caracteriza por verdes prados, confiriendo ambos al paisaje el típico aspecto de la Navarra húmeda.

La red fluvial se encuentra articulada en torno a los cursos de los ríos Ulzama y Araquil, ambos afluentes del Arga. El primero discurre próximo al límite oriental de la Hoja, sin penetrar en ella, en tanto que el segundo aparece únicamente representado en el ángulo suroccidental de la misma. Los cursos del sector occidental se encuentran profundamente encajados, tal como puede apreciarse a lo largo del río Larráun, afluente del Araquil, encajamiento que resulta espectacular en el paso de Dos Hermanas. Por contra, el río Araquil, afluente del Ulzama, posee un valle mucho menos angosto, como consecuencia de su sustrato menos competente.

La densidad de población es muy baja, con numerosos núcleos dispersos y escasamente poblados, de entre los que destaca poderosamente Irurzun, con cerca de 1.000 habitantes, pudiendo señalarse Larráinzar y Santiago - Ichasperri, con algo más de 200. La principal ocupación de la población son las actividades rurales, fundamentalmente agricultura y ganadería, centrándose la actividad industrial en el sector de Irurzun. En general, las vías de comunicación son buenas, basándose en la red de carreteras; dentro de éstas cabe destacar la presencia de las autovías de

---

Leizarán (Pamplona - San Sebastián) y Vitoria - Irurzun, ambas en el sector suroccidental.

Desde un punto de vista geológico, la Hoja se enmarca en el Arco Vasco, en su confluencia con el Pirineo occidental (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 dispone 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 al Arco Vasco, se sitúa en el extremo oriental de la Cuenca Vasco-Cantábrica, considerada tradicionalmente con un sector marginal de la cadena pirenaica y constituida por materiales mesozoicos y paleógenos moderadamente deformados, que muestran cierta similitud con los de la Zona Norpirenaica. El límite entre el Pirineo occidental y la Cuenca Vasco-Cantábrica 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 del sector occidental está condicionada por el cabalgamiento frontal de la sierra de Aralar, vergente hacia el N, en tanto que en el sector oriental predominan las vergencias meridionales, siendo su máximo exponente el cabalgamiento de Músquiz (Fig. 3). Ambos dominios se encuentran separados por la citada falla de Pamplona, cuya traza aparece de forma difusa en la Hoja, si bien se trata del accidente que ha jugado un papel más destacado en su historia geológica.

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: VILLALOBOS et al. (1974), relativo al flysch del Cretácico superior navarro; 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; y 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.

## **2. ESTRATIGRAFIA**

Los materiales aflorantes en la Hoja de Irurzun (115-I) presentan una serie prácticamente continua entre el Triásico y el Eoceno medio, período a partir del cual se carece de registro sedimentario hasta el Cuaternario.

El Triásico aparece representado por arcillas yesíferas abigarradas depositadas en ambientes litorales, correspondientes a la facies Keuper, aflorando exclusivamente en el ámbito de la denominada "zona diapírica de Echalecu". 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".

El Jurásico está constituido por una serie calizo-margosa característica de la sierra de Aralar, dominio al cual se encuentran restringidos igualmente los afloramientos de materiales calcáreos y arcillosos de ambientes marinos y transicionales atribuidos a las facies Purbek y Weald, del tránsito Jurásico - Cretácico.

Los depósitos cretácicos se encuentran ampliamente representados, evidenciando con frecuencia un acusado carácter turbidítico, excepto en el ámbito de Aralar, donde se aprecia un notable desarrollo de las construcciones arrecifales urgonianas del Aptiense - Albiense. Por contra, los sedimentos paleógenos se encuentran escasamente representados en el sector suroriental, apreciándose intercalaciones turbidíticas en una serie calizo - margosa de plataforma - talud.

Por lo que respecta a los depósitos cuaternarios, su representación se encuentra prácticamente restringida a los principales valles fluviales, destacando los relacionados con el valle del río Arquil.

### **2.1. MESOZOICO**

A él corresponden la mayor parte de los afloramientos de la Hoja, predominando los de edad cretácica, sobre los triásicos y jurásicos.

### **2.1.1. Triásico**

La serie triásica está representada por dos de sus tres litotipos clásicos: facies Muschelkalk y Keuper. Su principal afloramiento corresponde a la tradicionalmente denominada "zona diapírica de Echalecu". 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.

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

Afloran exclusivamente en el "zona diapírica de Echalecu", 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, destacando en este sentido el afloramiento del kilómetro 4 de la carretera Latasa - Músquiz.

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 un extenso afloramiento en la "zona diapírica de Echalecu", así como dos pequeños afloramientos en el ángulo noroccidental de la Hoja.

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.

Tradicionalmente, los afloramientos de la facies Keuper desligados de las zonas de cabalgamiento han sido interpretados como manifestaciones diapíricas; sin embargo, algunos hechos invitan a modificar dicha interpretación, al menos para algunos de ellos, tal como es el caso del de Echalecu, incluido en la Hoja. Por una parte, los materiales cretácicos se apoyan indistintamente sobre cualquier término triásico, sugiriendo una intensa fase erosiva previa al depósito de aquéllos. Por otra, los sedimentos cretácicos dispuestos en torno a las arcillas triásicas en algunos afloramientos de la región, no presentan las deformaciones típicas de los bordes de diapiros, tales como verticalizaciones e inversiones. También a nivel regional, los materiales prealbienses parecen haber sufrido de plegamientos a los que son ajenos los materiales más modernos. Por último, algunos afloramientos de la facies Keuper

muestran disposiciones alargadas y no las subcirculares propias de los diapiros (Estella, Olo, etc.).

De acuerdo con todas estas consideraciones parece razonable suponer que afloramientos como el de Echalecu, y otros de sectores vecinos, corresponden a anticlinorios o al menos a zonas de umbral generadas por deformaciones tectónicas prealbienses, y no a diapiros. Tras esta fase tendría lugar una intensa etapa erosiva que tendería a nivelar el relieve, favoreciendo el depósito de materiales albienses sobre la facies Keuper en las zonas de umbral y sobre distintas unidades jurásicas o del Cretácico inferior en las zonas de surco. A este respecto, cabe señalar que los sedimentos cretácicos del borde occidental del afloramiento de Echalecu se encuentran intensamente deformados, pero no así los del borde oriental, lo que sugiere que dicha deformación no corresponde a un proceso diapírico sino puramente tectónico. No obstante, la complejidad del problema ha aconsejado que en la cartografía se conserve el carácter mecánico del borde oriental.

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 favorecieron la acumulación de evaporitas.

Su carácter azoico no permite precisión cronológica alguna, pero de forma tentativa se ha atribuido al Triásico superior, si bien los últimos episodios de éste se encuentran representados 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. Jurásico**

La serie jurásica aflora exclusivamente en el ámbito de la sierra de Aralar, donde presenta buenos cortes tanto en Goldáraz como en el paso de Dos Hermanas. Por contra, hacia el E de la región existe una total ausencia de materiales jurásicos, sin que pueda precisarse si tal ausencia responde a la acción de procesos erosivos intracretácicos o a una absoluta falta de depósito.

Su muro no es visible en el ámbito de la Hoja, en tanto que su techo está delimitado por una marcada discordancia, con frecuencia acompañada por procesos erosivos que han eliminado los materiales correspondientes al tránsito Jurásico - Cretácico, e incluso parte de la serie jurásica propiamente dicha.

#### **2.1.2.1. Calizas, dolomías y brechas calcáreas (113). Triásico superior - Sinemuriense**

Su principal afloramiento presentan una reducida superficie, dispuesta a modo de estrecha banda, cuyo mejor corte se ubica en el paso de Dos Hermanas. También se ha reconocido un pequeño asomo al NO de Ichaso.

En Dos Hermanas, la unidad aparece invertida y cabalgando sobre materiales carbonatados del Cretácico inferior, razón por la cual su base no es visible y el espesor medido, cercano a 150 m, no debe considerarse máximo. El techo coincide con una discontinuidad sedimentaria de envergadura regional que coincide con la aparición de niveles margosos.

El tramo inferior de la unidad está constituido por brechas calcáreas de colores grisáceos o rosados cuyo espesor visible se aproxima al centenar de metros. Por encima, se dispone un tramo de calizas, más o menos dolomíticas, ordenadas en niveles de orden decimétrico, cuyo espesor alcanza 30 m. En cuanto al tramo superior, incluye 30 m de calizas, calizas dolomíticas y dolomías grises en bancos gruesos, con niveles oolíticos a techo.

En zonas próximas, el tramo inferior incluye niveles carniolares, interpretándose su depósito dentro de ambientes costeros restringidos muy someros, bajo condiciones hipersalinas, donde las brechas son consecuencia del colapso provocado por la disolución de evaporitas interestratificadas con los carbonatos. El tramo medio incluye laminaciones de algas, interpretándose en un contexto de llanura mareal con salinidad normal. Por lo que respecta al tramo superior, presenta una mayor variedad de facies, con términos bioclásticos asimilados a corrientes tractivas submareales, términos laminados con ripples y algas, atribuidos a medios intermareales, y términos oolíticos relacionados con la formación de barras submareales.

Entre la escasa fauna hallada se han reconocido Lingulina, Lenticulina y Ostrácodos que no permiten la datación de la unidad. No obstante, el hallazgo de Aretites cf. bucklandi en zonas próximas (SOLER y JOSE, 1971) a techo de la unidad ha permitido asignar éste al Sinemuriense inferior - medio.

Los niveles de caliza aparecen al microscopio como micritas (90-95%) con fósiles (< 5%), cuarzo (< 2%) y pellets (< 5%), composición notablemente diferente de la observada en algunos niveles terminales, de elevado contenido esparítico (55-65%) y oolítico (20-30%), con fósiles (3-7%), intraclastos (5-10%) y pellets (< 4%).

#### **2.1.2.2. Margas y calizas margosas (114). Sinemuriense - Toarciense**

Afloran exclusivamente en el sector de Goldáraz - Dos Hermanas, donde aparecen en el terreno como una banda deprimida entre los resaltes jurásico - cretácicos adyacentes. El límite inferior viene marcado por la aparición de términos margosos sobre la serie carbonatada del Lías inferior, coincidente con una discontinuidad sedimentaria; en cuanto al techo, se establece a partir de un aumento en la proporción

de niveles carbonatados a expensas de los margosos, con un evidente carácter gradual. El espesor puede estimarse en 150 m.

Predominan las margas grises y azuladas, fosilíferas y con abundante pirita diseminada, alternantes con margocalizas y calizas margosas grises, de aspecto noduloso, dispuestas en niveles de orden decimétrico. La unidad se enmarca en un contexto de plataforma abierta pelágica, con desarrollo de fondos anóxicos.

Presentan un alto contenido fosilífero, con Ammonites, Braquiópodos, Belemnites y Lamelibránquios, así como abundante microfauna, que han permitido asignar la unidad al Sinemuriense superior - Toarciense.

Los estudios de lámina delgada de los niveles calizos han permitido su clasificación como biomicritas, con un contenido micrítico del 80-95% y fosilífero del 5-20 %, con presencia ocasional de cuarzo.

### **2.1.2.3. Calizas y calizas margosas (115). Aalenense - Bajociense**

Aparecen como un tramo de transición entre la unidad margosa anterior (114) y el resalte calizo suprayacente (125). Su base está constituida por una alternancia rítmica entre calizas y margas organizadas en niveles de orden decimétrico, apreciándose una disminución progresiva de los términos margosos que evolucionan en la vertical a margocalizas y calizas margosas, desapareciendo finalmente, de tal forma que la parte superior está constituida exclusivamente por calizas. En Goldáraz, donde la unidad presenta un buen corte, su espesor alcanza 140 m.

Las calizas se presentan en niveles bien estratificados, de color gris oscuro, con filamentos y un importante contenido bioclástico, en tanto que las margas muestran tonos grisáceos. Entre las estructuras observadas se encuentra estratificación cruzada planar y en surco, así como laminación paralela y ondulada. Su depósito se interpreta en un contexto de plataforma abierta poco profunda, generalmente de poca energía, pero con esporádicos episodios energéticos dentro de un sistema de barras y canales submareales.

El contenido fosilífero es relativamente abundante, destacando la presencia de *Ludwigia murchisonae* (SOW.), *Stephanoceras humphriesianum* (SOW.), *Teloceras blagdeni* (SOW.), *Cadomoceras cadomense* (BLAIM.) y *Sonninia* sp., que han permitido la asignación de la unidad al Aalenense - Bajociense.

Los análisis petrográficos han señalado el predominio de micritas y biomicritas con contenidos micríticos del 75-95%, frente al 5-25% de fósiles, si bien se han apreciado biopelmicritas, con valores del 45-50% de micrita, 15-25% de intraclastos y 25-35% de fósiles.

#### **2.1.2.4. Calizas (125). Bathoniense - Oxfordiense**

Configuran un destacado resalte morfológico, presentando buenos cortes en el paso de Dos Hermanas y Goldáraz, donde su espesor se aproxima a 150 m. Su límite inferior es gradual, a diferencia del superior, que coincide con una discordancia erosiva sobre la que se dispone cualquier término del intervalo Portlandiense - Aptiense.

A grandes rasgos, se trata de una sucesión de calizas blancas, cremas o grises, dispuestas en bancos de 40 a 50 cm, parcialmente dolomitizadas, con restos asfálticos y nódulos de sílex a techo. El paso de Dos Hermanas muestra un alto grado de dolomitización, que confiere aspecto masivo a la unidad. Entre las escasas estructuras sedimentarias se ha reconocido estratificación cruzada y ocasionalmente, laminación ondulada, interpretándose en relación con ambientes submareales tranquilos, con desarrollo de barras de alta energía.

El contenido faunístico es menos abundante que en las unidades anteriores, habiéndose reconocido *Belemnites*, *Crinoideos*, bivalvos y espículas. No obstante, la cita de LAMARE (1936) referente a la asociación de *Reineckeia auceps* (REIN.), *Perisphinctes* gr. *subbakeriae* (D'ORB.), *Spinoceras Calloviense* (MORRIS), *Cosmoceras* sp. y *Belemnites* gr. *hastati*, ha sugerido su inclusión en el Bathoniense - Oxfordiense.

Los estudios petrográficos han permitido el reconocimiento de micritas con contenidos fosilíferos del 3-5% y cuarzo ocasional, y biopelmicritas, con valores micríticos del 55-75%, 10-25% de fósiles y 15-25% de pellets.

### **2.1.2.5. Análisis secuencial del Jurásico**

El comienzo de la serie jurásica supone la continuidad de la tendencia transgresiva iniciada durante el depósito de la facies Keuper. No obstante, aunque poco puede decirse al respecto en la zona, parece posible la existencia de una discontinuidad con la que se relacionarían los niveles brechoides y carniolares. En cualquier caso, el depósito de los niveles tableados del Lías inferior se llevó a cabo en una extensa llanura mareal con salinidad normal, con desarrollo de facies submareales.

La estabilidad de la plataforma se perdió en el Sinemuriense, durante el cual un proceso de fragmentación dio lugar a su compartimentación, dentro de un régimen extensivo. La tendencia transgresiva anterior prosiguió durante el Lías medio-superior mediante la sedimentación de materiales margosos en un ambiente de plataforma externa pelágica, con desarrollo de fondos anóxicos.

A partir del Dogger se produjo un proceso de somerización, con facies de plataforma abierta poco profunda en la que se reconocen barras y canales submareales. La tendencia regresiva culminó durante el Malm como consecuencia de los movimientos neokiméricos, cuyo principal reflejo es una reestructuración de la región, antesala del régimen sedimentario característico del tránsito Jurásico - Cretácico.

### **2.1.3. Cretácico**

Corresponden al Cretácico la mayor parte de los afloramientos de la Hoja, pese a lo cual escasean los cortes de calidad, pudiendo destacarse los del paso de Dos Hermanas y Eraso. A grandes rasgos, pueden distinguirse tres grandes conjuntos, de muy desigual distribución superficial.

El conjunto inferior corresponde a los materiales atribuidos al tránsito Jurásico - Cretácico, apoyados sobre la serie jurásica mediante una acusada discordancia de carácter regional; engloba las tradicionales facies Purbeck y Weald. El intervalo Aptiense - Albiense, de difícil interpretación, está representado por las clásicas construcciones urgonianas en el ámbito de la sierra de Aralar y por típicos depósitos margosos de cuenca en el resto. Por lo que respecta al Cretácico superior, se manifiesta mediante sedimentos de tipo turbidítico, con un límite superior coincidente

---

con una discontinuidad que en algunas zonas posee carácter discordante; tan solo el sector meridional está representado por sedimentos de plataforma.

#### **2.1.3.1. Calizas, margas y areniscas (126). Facies Purbeck. Portlandiense - Valanginiense**

Afloran exclusivamente en el paso de Dos Hermanas, donde se disponen discordantemente sobre el resalte calizo constituido por el nivel 125, con respecto al que dan lugar a un relieve deprimido. Su techo es de carácter dudoso debido a la naturaleza arcillosa-margosa de la unidad suprayacente, atribuida a la facies Weald. A nivel regional, tanto su techo como su muro coinciden con discordancias que las separan de diversas unidades cretácicas y jurásicas, respectivamente.

Se reconocen algo más de 50 m de calizas con intercalaciones margosas fosilíferas, calizas compactas con restos asfálticos, calizas brechoides con intercalaciones margosas y calizas grises de grano fino muy fosilíferas, atribuyéndose a la facies Purbeck. Pese a las escasas estructuras sedimentarias observables en el citado afloramiento, la unidad se enmarca en un ambiente lagunar carbonatado salobre que evidencia una tendencia regresiva con respecto a los materiales jurásicos infrayacentes.

Se han reconocido Serpúlidos, Charáceas y Ostrócodos, así como una microfauna berriasiense entre la que destaca la presencia de *Cypridea* gr. *tumescens* praecursor, *Darwinula leguminella* y *Darwinula oblonga*, por lo que la unidad se ha atribuido al Portlandiense - Valanginiense, intervalo temporal característico de la facies Purbeck.

Al microscopio aparecen como biomicritas fosilíferas, con un contenido micrítico del 60-82% frente al 17-25% de fósiles, con pellets (< 2%) y cuarzo ocasional, pero que en algún caso ha alcanzado valores del 20 %.

#### **2.1.3.2. Arcillas y margas (128). Facies Weald. Valanginiense - Barremiense**

Sus afloramientos se restringen al sector oriental de la sierra de Aralar, apareciendo como un tramo deprimido entre los resaltes calcáreos jurásico-cretácicos, sin que se haya encontrado corte alguno que permita una descripción detallada de la unidad. En

el paso de Dos Hermanas aparece como un tramo cubierto, ligeramente superior al medio centenar de metros, fundamentalmente arcilloso-margoso y con esporádicas intercalaciones arenosas.

La mala calidad de afloramiento hace dudosa su atribución a la facies Weald, depositada en ambientes lagunares de carácter salobre, con cierta influencia continental, durante el intervalo Valanginiense - Barremiense.

### **2.1.3.3. Areniscas y conglomerados (135). Aptiense - Albiense**

Su único afloramiento se encuentra situado en el paraje de Unzateigañe, donde la unidad se apoya tanto sobre materiales jurásicos como del Cretácico inferior. A nivel regional se disponen igualmente sobre diversas unidades mesozoicas, marcando el límite de la cuenca cretácica, apreciándose una disminución granulométrica con la distancia a dicho límite.

En los niveles basales más próximos a los relieves, predominan los conglomerados y areniscas de grano grueso, de composición silícea y tonos claros, entre los que se observan algunos restos carbonosos. Por encima, y en zonas más alejadas de los relieves, la unidad aparecen como un conjunto arenoso cuarzo-feldespático de grano medio a fino y matriz arcilloso-micácea; con frecuencia aparecen muy alteradas, con pátinas ferruginosas.

No se ha hallado corte alguno que aporte datos sedimentológicos sobre el depósito de la unidad, si bien su naturaleza litológica y disposición paleogeográfica sugieren que tuvo lugar en una zona costera bajo fuerte influencia de los relieves próximos; en relación con ello, en sectores cercanos (Hoja de Erro, 116-I) los niveles arenosos han sido interpretados como canales fluviomareales en régimen supra e intermareal.

En lámina delgada las areniscas presentan un predominio de cuarzo (60-70%) sobre fragmentos de rocas metamórficas (5-10%), con matriz arcillosa (5-10%) y cemento ferruginoso (15-20%).

Entre la fauna hallada se encuentran *Ammobaculites parvispira*, *A. subcretacea*, *Tritaxia pyramidata*, *Orbitolina (M) texana texana*, *Hyperammia*, *Haplophragmoides concavus* y *Trochamina oblicua*, que señalan el Albiense inferior. En la presente Hoja

se ha mantenido la edad Aptiense-Albiense asignada en trabajos previos, compatible con su posible asimilación a la Fm. Arrarás (GARCIA-MONDEJAR, 1982). Sin embargo, su posible depósito en relación con la fase austriaca, sugiere su pertenencia al Albiense exclusivamente.

#### **2.1.3.4. Margas micáceas oscuras (140). Aptiense - Cenomaniense inferior**

Se trata de una unidad muy típica en la región, cuyos afloramientos dan lugar a relieves suaves y alomados debido a su gran erosionabilidad; éstos contrastan con los relieves más destacados ligados a los afloramientos de las series suprayacentes, correspondientes al Cretácico superior, y a los materiales detríticos del Cretácico inferior, que representan su equivalente lateral hacia el borde de la cuenca (135).

Se presentan como una monótona serie de margas con un importante contenido micáceo que confiere aspecto pizarroso al conjunto, del que tan solo se han podido efectuar observaciones parciales, pudiendo apreciarse la inclusión de piritita y nódulos ferruginosos. Su espesor se aproxima a 2.000 m, pudiendo correlacionarse, al menos parcialmente con las formaciones Arrarás y Alto de Huici (GARCIA MONDEJAR, 1982).

Su carácter euxínico y marcada uniformidad, así como su elevada potencia, sugieren que su depósito tuvo lugar en una cuenca marina muy subsidente, abierta hacia sectores occidentales y que recibiría esporádicos aportes de los relieves emergidos al E y N.

Entre los restos faunísticos que alberga la unidad se han citado Ammonites piritosos, Lamelibránquios y Gasterópodos, además de una rica microfauna que ha proporcionado una edad Albiense para la unidad: *Ammobaculites parvispira*, *Thalmanniella ticinensis*, *Rotalipora apenninica*, *Dorothia gradatta*, *Epistomina spinulífera*, *Cytherella ovata*, *Dentalina nana*, *Gravelinella intermedia*, *Textularia cf. adkinsi* y *Arenobulimina macfadyeni*. Igualmente, la presencia de *Neoiraquia convexa* en los niveles superiores señala su pertenencia a la base del Cenomaniense. A pesar de las dataciones señaladas, la presente unidad se ha asignado al Aptiense - Cenomaniense basal en un intento de respetar las dataciones propuestas en trabajos anteriores.

### **2.1.3.5. Calizas arrecifales masivas (133). Margas con intercalaciones de calizas margosas y arenas (139). Aptiense - Albiense**

Sus afloramientos se encuentran restringidos al dominio de la sierra de Aralar, de la que constituyen la mayor parte de su superficie. La sierra se caracteriza por importantes resaltes calcáreos de naturaleza bioconstruida e intensamente carstificados, correspondientes al Complejo Urganiano, entre los que se intercalan pequeñas bandas deprimidas constituidas por materiales margosos, asimilables al Complejo Supraurgoniano; en la cartografía, ambos conjuntos han sido diferenciados como niveles 133 y 139, respectivamente. El mejor corte de ambos niveles se localiza en el paso de Dos Hermanas.

Los resaltes del nivel 133 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 granodecipientes de grainstones y rudstones con gravas de cuarzo, así como niveles de retrabajamiento de montículos de Rudistas.

En cuanto a la intercalaciones correspondientes al nivel 139, 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 Urganiano 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%).

**2.1.3.6. Alternancia de margas, areniscas calcáreas y calizas (166). Brechas calcáreas (165). Calcarenitas y areniscas calcáreas (167). Cenomaniense - Santoniense**

Se trata de un conjunto característico del ámbito septentrional navarro, integrado en el tradicional "flysch surpirenaico" (LAMARE, 1936) del Cretácico superior, siendo parcialmente equivalente de la Fm. Larráizar (GARCIA-MONDEJAR, 1982). Aparece en el terreno como un resalte morfológico respecto a los niveles, predominantemente margosos, del nivel 13. El tránsito entre ambos conjuntos se produce de una forma gradual, por la progresiva aparición de niveles areniscosos y calcáreos, acompañada de la desaparición de los tonos negruzcos característicos de la inferior; otro tanto puede decirse de su límite superior, si bien en este caso el tránsito tiene lugar de forma inversa, mediante la disminución en la proporción de los niveles competentes a expensas de los margosos.

Constituye la mayor parte de los afloramientos del sector septentrional de la Hoja, tratándose a grandes rasgos, de una monótona alternancia de margas, areniscas calcáreas y calizas, cuya proporción relativa puede variar según las zonas (166); la reducción del contenido margoso en algunos tramos ha permitido la individualización de paquetes areniscosos y calcareníticos diferenciados en la cartografía como nivel 167, de los que el más moderno podría correlacionarse con las formaciones Urriza y Latasa (GARCIA-MONDEJAR, 1982).

Su espesor alcanza 2.000 m en la Plataforma de Beunza, disminuyendo tanto hacia el E, en función de la proximidad al macizo de Quinto Real, como hacia el O, como consecuencia de la influencia del umbral de Echalecu - Zarranz. Como datos orientativos pueden señalarse los 950 m de Beramendi frente a los 750 m de Eraso.

Puntualmente, intercalados en el conjunto flyschoide, se encuentran niveles brechoides, diferenciados en la cartografía como nivel 165, si bien sus dimensiones

tan sólo lo han permitido en las proximidades de Zarranz. Se trata de brechas polimícticas

en la que predominan cantos calcáreos triásicos y jurásicos, así como ofíticos, que alcanzan 40 m de espesor.

La unidad 166 se presenta bajo el aspecto de una alternancia rítmica de margas azuladas o grisáceas, con areniscas calcáreas, calcarenitas y calizas, de tonos ocre y beige. Se han observado cicatrices erosivas, convolute-lamination, ripple marks y huellas de carga, con esporádicos lags microconglomeráticos y eventuales slumps, que confirman su apariencia turbidítica, interpretándose su depósito en el contexto de un surco abierto hacia el ONO.

Al microscopio, los tramos compactos presentan un alto contenido fosilífero (15-30%) e intraclástico (20-35%), con cemento esparítico (35-45%) y ocasional presencia de pellets (< 5%), cuarzo (< 10%) y micrita (< 20%). Los niveles calizos aparecen como micritas (55-75%) fosilíferas (15-20%), con cuarzo (< 10%) y fragmentos de roca (< 15%).

Entre los abundantes restos faunísticos, se ha observado *Praeglobotruncana stephani* y *Orbitolina* cónica, del Cenomaniense medio - superior, así como *Phitonella sphaerica*, *Globigerina* cf. *cretacea*, *Gaudryna rugosa* y *Globotruncana concavata caridota*, del Santoniense superior. Es preciso resaltar que en las finas dataciones micropaleontológicas existentes se ha puesto de manifiesto la presencia de hiatos en el intervalo Cenomaniense - Santoniense, cuya situación temporal y duración varían considerablemente según las zonas.

#### **2.1.3.7. Margas y calizas margosas (185). Calcarenitas y margas (187). Campaniense**

Se trata de un conjunto ampliamente representado, aunque generalmente de forma deficiente debido a su carácter fundamentalmente margoso, incluido en el denominado "flysch surpirenaico" (LAMARE, 1936). Las margas intercalan delgados niveles carbonatados, que confieren aspecto rítmico al conjunto (185); en ocasiones éstos llegan a ser la litología dominante, apareciendo en el terreno como un ligero resalte morfológico que ha permitido su diferenciación cartográfica como nivel 187.

Su paso a las unidades infra y suprayacente es gradual, habiéndose observado espesores que disminuyen desde los valores máximos de la plataforma de Beunza, próximos a 1.000 m, tanto hacia el E como hacia el O, en función de la proximidad al macizo de Quinto Real o al umbral de Echalecu, respectivamente. Los mejores cortes del conjunto se localizan en Eraso y Latasa, donde ofrece un aspecto típicamente turbídico, alternando margas gris-azuladas y calizas margosas o calcarenitas, dispuestas en niveles de orden decimétrico y centimétrico. Al microscopio, los niveles carbonatados aparecen fundamentalmente como biomicritas arcillosas.

Entre la abundante microfauna hallada se han reconocido *Pseudovalruneria monterelensis*, *Globotruncana elevata elevata*, *Tritaxia tricarinata* y *Guadomina rugosa*, que han permitido su atribución al Campaniense.

#### **2.1.3.8. Margas y margocalizas (186). Campaniense**

Aparecen en el sector suroccidental, al S de la sierra de Aralar, dando lugar a morfologías deprimidas. Su calidad de afloramiento es mala, pudiendo realizarse tan solo observaciones parciales de la unidad, por lo que para su descripción es necesario remitirse a los datos aportados por la vecina Hoja de Gulina (115-III).

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 calizos santonienses, en tanto que el superior es mucho menos acusado, apreciándose tan solo un incremento en la proporción de intercalaciones margocalcáreas.

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

#### **2.1.3.9. Margocalizas y margas (190). Maastrichtiense**

Se encuentran escasamente representadas en el sector meridional, concretamente en las inmediaciones de Cía. Aparecen en el terreno como una zona deprimida con

deficiente calidad de afloramiento, cuyo espesor disminuye hacia el E, debido a su relación de cambio lateral con respecto a los niveles 184 y 189 pudiendo alcanzar 400 m.

Se trata de 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 sobre la alternancia rítmica del nivel 184, en tanto que el superior es neto, coincidiendo con el resalte morfológico que proporcionan las calizas 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* y *Navarella joaquinii*, ha señalado una edad Maastrichtiense para la unidad.

#### **2.1.3.10. Margas, calizas margosas y areniscas (184). Calcarenitas (191). Maastrichtiense**

Afloran en el sector suroriental, presentando contactos graduales con las unidades infra y suprayacente, así como una relación de cambio lateral con el nivel 190. En general, su calidad de afloramiento es mala, localizándose su mejor corte en Músquiz, donde su espesor sobrepasa ligeramente 300 m, aumentando progresivamente hacia el E.

Su aspecto más común es el de una monótona alternancia entre margas y areniscas de tonos cremas a marrones, en niveles de orden centimétrico a decimétrico. También se aprecian intercalaciones de niveles métricos de calizas margosas, agrupadas en tramos de orden decamétrico. La serie intercala un nivel calcarenítico de espesor próximo a 50 m, que produce un resalte morfológico en el terreno que ha permitido su diferenciación cartográfica como nivel 191.

Entre las estructuras más frecuentes se encuentran slumps, estratificación cruzada a pequeña escala y laminación paralela, habiéndose interpretado como depósitos turbidíticos de naturaleza terrígena relacionados con el tradicional "flysch surpirenaico" (LAMARE, 1936).

El hallazgo de *Lepidorbitoides socialis*, *Nummofallotia cretacea*, *Orbitoides media*, *Globotruncana elevata stuartiformis* y *Clypeorbis mammillata*, entre los restos microfaunísticos, permite la asignación de la unidad al Maastrichtiense no terminal.

Los niveles calizos aparecen al microscopio como micritas (85-90%), apreciándose la inclusión de granos de cuarzo (2-4%) y fósiles (< 10%). Margas (189). Maastrichtiense

Afloran exclusivamente en el sector meridional, en general con baja calidad de exposición, pudiendo realizarse sus mejores observaciones en las proximidades de Músquiz. Su límite inferior es gradual, en tanto que el superior tiene carácter neto con respecto a las calizas de la base del Paleoceno; hacia el O evoluciona mediante cambio lateral al conjunto margocalcáreo del nivel 190. En los casos en que su espesor ha podido ser determinado, se sitúa próximo 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 areniscos 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.

### **2.1.3.11. Análisis secuencial del Cretácico**

Desde un punto de vista secuencial, la serie Cretácica puede ser dividida en cuatro ciclos de orden mayor: Portlandiense - Valanginiense, Valanginiense - Barremiense, Aptiense - Albiense y Albiense - Maastrichtiense, cuya representación e implicaciones paleogeográficas difiere notablemente.

El ciclo Portlandiense - Valanginiense corresponde al depósito de la facies Purbeck. Se inició tras la reestructuración regional producida tras los primeros movimientos neokiméricos, de finales del Jurásico. Con ella se centró la tendencia regresiva iniciada en el Dogger, instalándose ambientes marinos salobres con cierta influencia continental. No obstante, a lo largo del ciclo se aprecia una tendencia transgresiva culminada en el Valanginiense con el depósito de materiales carbonatados en un ambiente de lagoon.

Las últimas manifestaciones neokiméricas, acaecidas en el Valanginiense, propiciaron una nueva reestructuración y acentuaron la influencia continental en la cuenca, depositándose la facies Weald posiblemente hasta el Barremiense.

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 exclusivamente en el sector suroriental, con escasa representación superficial. Su depósito se encuentra relacionado con tres ciclos principales: Daniense - Montiense, Thanetiense - Ilerdiense y Cuisiense - Luteciense.

### **2.2.1. Daniense - Montiense**

Sobre los niveles margosos de techo de la serie cretácica se dispone un conjunto carbonatado característico de la zona, de gran continuidad en sentido ENE-OSO.

---

### **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, que presenta buenos cortes en las proximidades de Eguaras y Beorburu. El contacto entre ambas unidades, muy neto, posee carácter discordante, aunque resulta difícil de observar debido a la naturaleza de la unidad inferior. Por lo que respecta a su límite superior, regionalmente posee carácter erosivo, no observado dentro de los límites de la Hoja.

A grandes rasgos, la unidad se presenta como un conjunto de calizas bioclásticas grises y calizas margosas dispuestas en niveles de orden decimétrico, que le confieren aspecto tableado, con niveles de brechas calcáreas de aspecto masivo de orden métrico; en ocasiones, intercala delgados niveles margosos que acentúan su aspecto tableado. Su espesor varía entre 50 y 100 m.

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 triloculinoidea*, *Globorotalia compressa*, *G. trinidadensis*, *Gyroidina* cf. *gyardana* y *Planorbulina antiqua*, que señalan una edad Montiense. El hallazgo de *Globigerinoides* cf. *daubjergensis* en el sinclinorio de San Bartolomé ha hecho que la unidad se enmarque en el Daniense - Montiense, 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. Análisis secuencial del Daniense - Montiense**

La sedimentación paleocena supone un cambio notable con respecto al final del ciclo cretácico, cuyas últimas manifestaciones corresponden a margas con posibles rasgos edáficos. La instalación de la plataforma Daniense, de gran extensión regional, es un evento rápido, como se deduce del carácter neto de su límite inferior. En el ámbito de la Hoja no se aprecia una tendencia clara dentro de la secuencia, pudiendo señalarse únicamente que la sedimentación tuvo lugar en los sectores externos de la plataforma, con esporádicos episodios de talud.

Aunque en sectores orientales de la región el final de la secuencia sobreviene de forma brusca a comienzos del Thanetiense, coincidiendo con la creación de un surco turbidítico alimentado a expensas de los materiales carbonatados de las plataformas precursoras, este hecho no es claramente apreciable en la zona en cuestión, especialmente debido a la naturaleza litológica de la unidad suprayacente (214).

#### **2.2.2. Thanetiense - ilerdiense**

La estabilidad preponderante durante la secuencia del Paleoceno inferior se aborta bruscamente en la vecina Hoja de Olagüe (115-II) coincidiendo con el comienzo de la secuencia Thanetiense - Ilerdiense, hecho difícilmente apreciable en la Hoja donde persiste la sedimentación carbonatada en un ambiente de plataforma externa.

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

Sobre las margas maastrichtienses, se aprecia la existencia de un doble resalte calizo de disposición cartográfica alargada en el que se intercala una banda deprimida; el resalte inferior corresponde a la plataforma carbonatada paleocena ya descrita (207), en tanto que el superior (215) está integrado por unos 30 m de alternancia rítmica de calizas margosas blanco-grisáceas y margas grises dispuestas en niveles de orden decimétrico. Por lo que respecta al tramo blando intermedio (214), aparece

prácticamente cubierto, estando constituido por 50-60 m de margas con esporádicas intercalaciones de capas areniscosas ocre de espesor centimétrico a decimétrico.

Ya que el conjunto de las unidades 214 y 215 se sitúa entre los materiales carbonatados del Daniense - Montiense y las turbiditas terrígenas cuienses (nivel 218), se consideran equivalente laterales de los depósitos de turbiditas calcáreas, que aparecen al E de la región. Este hecho, unido a la superposición del tramo margoso sobre distintas unidades, ha aconsejado la representación de su base con carácter discordante.

La presencia de slumps, debris y mud-flow, así como su marco paleogeográfico, sugieren que el depósito de este conjunto tuvo lugar en un contexto de rampa distal carbonatada, con posible intercalación de episodios turbidíticos terrígenos en el nivel inferior (214) y carbonatados en el superior (215).

El hallazgo de *Globigerina triloculinoides*, *Globorotalia angulata* y *G. abundacamerata* ha permitido la asignación de la unidad 214 al Thanetiense; de igual manera, la presencia de *Discocyclina seunesi*, *Globorotalia macknnai*, *G. pseudomenardii* y *Operculina cf. canalifera* ha señalado la pertenencia de la unidad 215 al 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. Así, dentro de los límites de la Hoja, la nueva secuencia es poco evidente debido a la persistencia de los ambientes de plataforma externa, con eventual desarrollo de facies turbidíticas y de talud.

El final de la secuencia va acompañado por una nueva modificación paleogeográfica cuyo resultado es la ampliación del surco turbidítico, alimentado a partir de este momento por materiales terrígenos.

### 2.2.3. Cuisiense - Biarritziense inferior

Los depósitos correspondientes al ciclo Cuisiense - Biarritziense ocupan en la Hoja una posición intermedia entre las plataformas del O de la región y las cuencas turbidíticas orientales, de tal forma que en su evolución temporal, la serie estratigráfica local refleja la progradación de la plataforma hacia sectores orientales (Fig. 4). Así, este intervalo temporal está integrado por materiales muy variados: depósitos turbidíticos de naturaleza terrígena, correlacionables con el Grupo Hecho (MUTTI et al., 1972), alternancias rítmicas de calizas y margas, alternancias de margas y calcarenitas, depósitos margosos y niveles calcareníticos compactos. Alternancia de areniscas y arcillas (nivel 218). Cuisiense - Luteciense inferior

Afloran en el sector meridional, en los flancos del sinclinal de San Bartolomé, a modo de banda deprimida en el relieve con respecto al tramo calizo-margoso infrayacente (215). En general, su calidad de afloramiento es mala, pese a lo que pueden localizarse buenos cortes parciales en las inmediaciones de Eguaras y Beorburu.

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.

**2.2.3.1. Margocalizas y margas (239). Luteciense**

Se localizan a lo largo del sinclinal de San Bartolomé, al S de la Hoja, aflorando en general con calidad deficiente, pese a lo cual se pueden realizar buenas observaciones parciales al SO de Eguaras.

La unidad aparece como una monótona alternancia próxima a 150 m de espesor, de calizas y calizas margosas de tonos blanquecinos, y amarillentos en alteración, con margas grises, dispuestas en niveles de orden decimétrico. Son escasas las estructuras sedimentarias halladas, pese a lo cual la unidad se ha atribuido a un ambiente de rampa distal carbonatada, reflejando el retroceso de los sistemas turbidíticos hacia sectores orientales de la región. Su atribución a la zona de Textularia praetopilensis ha aconsejado su inclusión en el Luteciense (PUJALTE et al., 1994).

**2.2.3.2. Calcarenitas y margas (237). Luteciense**

Se encuentran escasamente representadas en el ámbito del sinclinal de San Bartolomé, encontrándose su mejor corte al NO de Beorburu. A grandes rasgos, se trata de un tramo fundamentalmente margoso en el que se intercalan niveles calcareníticos de espesor métrico a decimétrico. Tanto su límite superior como el inferior poseen carácter gradual, habiéndose establecido en función de su resalte morfológico con respecto a las unidades infra (239) y suprayacentes (254). El espesor, muy variable en función de su relación lateral como la unidad 239 puede alcanzar el medio centenar de metros.

La unidad se ha atribuido a un ambiente de plataforma con desarrollo de barras. En cuanto a su edad, de acuerdo con su posición estratigráfica, se ha incluido en el Luteciense.

**2.2.3.3. Margas (254). Luteciense**

Afloran exclusivamente 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.

#### **2.2.3.4. Calcarenitas (260). Lutecienese - Biarritziense inferior**

Su único afloramiento se localiza en el ámbito del monte San Bartolomé, donde aparecen culminando la serie terciaria de la zona. Se presenta como un destacado resalte morfológico con respecto a los tramos margosos infrayacentes, de los cuales aparece separado por una discontinuidad de orden menor; su espesor, que no debe considerarse máximo al encontrarse erosionada la parte alta de la unidad, sobrepasa el centenar de metros.

Se trata de un conjunto de calcarenitas agrupadas en niveles de orden métrico que presentan sucesivas estructuras de erosión y relleno, así como estratificación cruzada, interpretándose como facies de plataforma somera.

La presencia de *Alveolina* cf. *tenuis*, *Asterodiscus stellaris* y *Nummulites laevigatus*, señala su pertenencia al Luteciense medio, si bien por criterios regionales (PUJALTE et al., 1994) se ha sugerido su asimilación al Luteciense - Biarritziense inferior.

#### **2.2.3.5. Análisis secuencial del Cuisiense - Biarritziense inferior**

El ciclo Cuisiense - Biarritziense, de marcado carácter regresivo, se encuentra limitado a muro y techo por dos discontinuidades de gran envergadura. Su inicio coincide con una reconstrucción paleogeográfica que implica la instalación de aparatos turbidíticos alimentados por depósitos terrígenos, que erosionarían la plataforma característica del ciclo Thanetiense - Ilerdiense.

Ya en el Luteciense se produjo un primer impulso progradante de las plataformas occidentales que marcan el final de la secuencia Cuisiense - Luteciense inferior,

registrándose una monótona serie rítmica de margocalizas y margas de rampa distal. Una tercera secuencia proporciona un nuevo impulso regresivo inicial que supone la aparición de facies de plataforma con desarrollo de barras, si bien en sus últimas etapas vuelven a registrarse ambientes de rampa distal.

La cuarta y última secuencia culmina la tendencia regresiva del ciclo, con la instalación de una plataforma somera, caracterizada por el depósito de potentes series carbonatadas. El fin del ciclo coincide con una discordancia de envergadura regional, relacionada con los movimientos orogénicos pirenaicos y que, por tanto, ocasiona una nueva distribución paleogeográfica.

## **2.3. CUATERNARIO**

Son escasos los depósitos cuaternarios de la Hoja de Irurzun (115-I), si bien ofrecen una gran variedad genética, con formas fluviales, cársticas, de gravedad y poligénicas. En particular, cabe destacar el modelado cárstico de la sierra de Aralar y las diferentes formas fluviales relacionadas con los valles de los ríos Larráun, Basaburúa y Arquil.

### **2.3.1. Pleistoceno - Holoceno**

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

Son abundantes los depósitos de origen cárstico, pudiendo agruparse en dos grandes conjuntos. Por una parte, resulta espectacular el sistema cárstico desarrollado sobre las calizas arrecifales del Complejo Urgoniano en la sierra de Aralar, perfectamente visible en las inmediaciones de Goldáraz. Por otra, aunque menos espectaculares, son más numerosas y de mayores dimensiones las dolinas generadas sobre los materiales carbonatados del Creácico superior, especialmente en la plataforma de Beunza.

Su forma es muy variada, apreciándose con frecuencia una orientación preferente, de carácter estructural, especialmente en el sector de Aralar. En detalle, se aprecia una gran variedad de formas menores (lapiaces, surcos, crestas, alveolos, etc.), en buena parte de los casos rellenas por arcillas de descalcificación.

A nivel cartográfico, las arcillas de descalcificación rellenan el fondo de dolinas y uvalas. En general, se trata de "terras rossas" o "terras fuscas", con colores que varían desde rojo vinoso a pardo-rojizo; contienen además un cierto contenido en limos y arenas, así como fragmentos de rocas carbonatadas desprendidas de las paredes de las dolinas. Su espesor, es muy difícil de calcular en la mayor parte de los casos, siendo muy variable, desde algunos centímetros hasta varios metros.

La edad asignada es Plioceno - Holoceno, dando la impresión de que el proceso es activo actualmente.

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

Tan solo se ha reconocido un pequeño depósito correspondiente a este grupo, relacionado con el barranco del Alcomorro, localizado en el sector oriental. Posee reducidas dimensiones y por su posición, podría relacionarse con la primera o segunda terraza. Predominan las gravas, fundamentalmente calcáreas, dispuestas en una matriz areno-arcillosa roja, cuyo espesor se aproxima a 1 m.

Por su disposición en relación con los depósitos fluviales próximos, se ha asignado al Pleistoceno.

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

Los depósitos de terrazas se hallan relacionados con la actividad de los ríos Larráun, Araquil y Arquil, habiéndose agrupado en tres sistemas, con cotas de +3-7 m (bajas), +10-15 m (medias) y +20 m (altas). El mayor desarrollo superficial corresponde a las terrazas del río Arquil, siendo quizá las más interesantes las del río Larráun, entre las que se ha diferenciado una terraza alta afectada por una falla de dirección NO-SE, que denuncia actividad neotectónica (MARTINEZ TORRES, 1989).

Están constituidas por un conjunto de gravas con abundantes bloques de naturaleza carbonatada fundamentalmente, con presencia de cantos de cuarzo, cuarcita y arenisca. La matriz es arcillo-arenosa, de tonos pardos o pardo-rojizos. La potencia

observada en depósitos del río Larráun alcanza 2,5 - 3 m, sin que deban descartarse valores mayores en otros afloramientos.

Tan solo es posible la datación relativa de los tres sistemas, que por su relación con la red fluvial se han considerado pleistocenos, si bien es posible que el más reciente sea, al menos parcialmente, holoceno.

### **2.3.2. Holoceno**

#### **2.3.2.1. Limos, arenas y gravas (530). Cauces abandonados. Holoceno**

Se encuentran representados en los valles en los ríos Larráun y Basaburúa, con formas curvadas que indican la existencia de antiguos meandros. Desde un punto de vista litológico, lógicamente, estos depósitos son similares a los de las terrazas y fondos de valle.

Por su relación con la red fluvial se consideran holocenos no actuales.

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

Sus principales representantes se encuentran localizados en las vertientes de los barrancos Zatarre y Alcomorro. En general, se trata de depósitos de poca entidad, relacionados geográficamente con los conos de deyección (536).

Su litología está relacionada con la del área madre, observándose cantos angulosos a subangulosos heterométricos en una 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 interdestacados con los depósitos fluviales más recientes, se asignan al Holoceno.

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

Se encuentran relacionados con los fondos de valle y las llanuras de inundación, localizándose sus principales afloramientos en los valles de los ríos Larráun y Arquil.

Se forman en la salida de barrancos y arroyos a valles de rango superior. Cuando los barrancos se encuentran próximos entre sí, los conos se solapan, dando lugar a formas coalescentes de mayor desarrollo.

Se trata de depósitos heterométricos poco consolidados cuya litología depende del área madre, por lo que predominan los cantos de composición calcarenítica y caliza en una matriz arcillo-arenosa. La potencia es muy variable en función de la propia morfología 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. Limos, arenas y gravas (526). Llanuras de inundación. Holoceno**

Están mínimamente representadas en relación con el valle del río Ulzama. 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 poco evolucionado. Se atribuye al Holoceno.

#### **2.3.2.5. Brechas calcáreas (548). Canchales. Holoceno**

Este tipo de depósitos se encuentran relacionados con grandes desniveles, habiéndose observado pocos casos en que su envergadura haya permitido su diferenciación cartográfica, todos ellos en el sector meridional. Se trata de brechas calcáreas heterométricas procedentes de los crestos de calizas paleocenas adyacentes, asignadas al Holoceno.

#### **2.3.2.6. Arcillas, gravas y arenas (545). Deslizamientos. Holoceno**

Sus manifestaciones se relacionan con zonas de elevadas pendientes constituidas por litologías blandas o alternantes. Aunque sus afloramientos más extensos se localizan en las laderas de monte San Bartolomé, sus representantes más evidentes se encuentran situados en los taludes de la autovía de Leizarán, concretamente en las inmediaciones de Urriza y Latasa, donde se aprecian claramente tanto la masa

deslizada como la cicatriz correspondiente, observándose tipos rotacionales y solifluidales.

Su espesor es muy variable, pudiendo sobrepasar la decena de metros. Aunque predominan los componentes arcilloso y margoso, su litología varía en función del área madre. Por su relación con el relieve actual, se han incluido en el Holoceno.

#### **2.3.2.7. Gravas, arenas y limos (527). Fondos de valle. Holoceno**

Se encuentran representados fundamentalmente en relación con los valles de los ríos Arquil y Larráun, así como sus principales afluentes. Predominan 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 se llegan a observar bloques superiores a 40 cm, debido a la alta competencia de los cursos, favorecida por el contrastado relieve de la región; aunque su potencia no es cuantificable en la mayor parte de los casos, no parece superar los 8 m. Se han asignado al Holoceno.

### 3. TECTONICA

#### 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 pirenaico y el Arco Vasco, si bien la falla de Pamplona, límite entre ambos dominios, no presenta una traza bien definida. No obstante, el sector suroriental muestra el claro estilo de deformación pirenaica, con pliegues y cabalgamientos de dirección E-O, vergentes hacia el S, destacando el cabalgamiento de Músquiz, considerado la prolongación

más occidental del cabalgamiento de Roncesvalles; este estilo contrasta con el observado en la sierra de Aralar, afectada por cabalgamiento vergentes hacia el NE. Por lo que respecta al sector central, se caracteriza por pliegues de dirección NO-SE, interrumpidos por una estructura de interpretación dudosa denominada "zona diapírica de Echalecu", de dirección N-S (Fig. 3).

## **3.2. DESCRIPCIÓN 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 cabalgamientos.

### **3.2.1. Discordancias**

Atendiendo a su orden cronológico, las principales discordancias son las relacionadas con las facies Purbeck y Weald, así como con los depósitos aptienses, albienses, danienses, thanetienses y cuisienses, de envergadura variable.

La facies Purbeck se dispone discordante sobre materiales jurásicos, evidenciando, a nivel regional, un período erosivo previo. Otro tanto puede decirse de la facies Weald, que se apoya sobre diversos sustratos. La génesis de ambas discordancias está relacionada con los movimientos neokiméricos, acaecidos en el Malm y el Valanginiense respectivamente, y relacionados con la apertura del Golfo de Vizcaya.

También en relación con el proceso de rifting del Golfo de Vizcaya se encuentra la discordancia de la base del Complejo Urgoniano, que se dispone tanto sobre niveles carbonatados jurásicos como sobre cualquiera de las unidades del tránsito Jurásico-Cretácico.

Los materiales atribuidos al intervalo Aptiense - Albiense se disponen sobre cualquier unidad triásica en la comarca de La Ulzama, lo que implica una etapa deformativa seguida de erosión, previas a su depósito. Por criterios regionales es sabido que dicha etapa, denominada fase prealbiense (MARTINEZ TORRES, 1989) abarca en realidad varias fases durante el intervalo Oxfordiense - Albiense, la última de las cuales es conocida como fase austriaca. De acuerdo con lo expuesto, parece razonable suponer que los materiales depositados tras dicha etapa son de edad Albiense y no Aptiense-

Albiense como se había señalado anteriormente. No obstante, la discontinuidad relacionada con la fase austriaca tan solo es observable en la "zona diapírica de Echalecu", cuyos bordes poseen un importante grado de mecanización; gradualmente, la falta de dataciones paleontológicas precisas de los materiales implicados en el problema, ha aconsejado que en la leyenda del mapa geológico se respeten las atribuciones de trabajos previos.

El límite Cretácico - Terciario coincide con una nueva discordancia, tal como se ha señalado en otros puntos de la región, pero que no es evidente en la Hoja, debido en buena medida a la deficiente calidad de afloramiento de los niveles margosos maastrichtienses; esta discordancia cretácico-terciaria está relacionada con los tradicionales movimientos larámicos, mucho más evidentes en el sector pirenaico oriental.

La existencia de una discordancia relacionada con el paso Montiense - Thanetiense también ha sido señalada en algunos puntos de la región; sin embargo, en la Hoja no se aprecia una geometría discordante por lo que dicho límite debe ser considerado una paraconformidad.

La discordancia más reciente de la Hoja marca el límite Ilerdiense - Cuisiense y coincide con la aparición de episodios turbidíticos de naturaleza terrígena. Se trata de una discordancia poco pronunciada, puesta de manifiesto exclusivamente por un ligero cambio en el buzamiento de los estratos infra y suprayacentes; su génesis está relacionada con los primeros episodios de la orogenia pirenaica propiamente dicha, en la zona.

### **3.2.2. Pliegues**

El gran espesor de la cobertera cretácico - paleógena ha favorecido la génesis de pliegues de amplio radio, lo que a su vez ha implicado la existencia de un bajo número de ellos, muy espaciados entre sí. De E a O se observa una sucesión de pliegues de orientación NO-SE integrada por el anticlinal de Lizaso, sinclinal de Beunza, anticlinorio de Echalecu, sinclinal de Beramendi y anticlinal de Urriza. Junto a éstos, cabe destacar el sinclinal de San Bartolomé, de orientación E-O (Fig. 3).

El anticlinal de Lizaso es una estructura de geometría poco evidente, únicamente deducible por la presencia de materiales albienses entre los sinclinales de Urrizola (Hoja de Olagüe, 115-II) y Beunza, constituidos por materiales del Cretácico superior.

El sinclinal de Beunza es la estructura de mayor longitud, siendo el condicionante estructural fundamental de la plataforma del mismo nombre. Afecta a materiales del Cretácico superior y sus flancos muestran buzamientos suaves a moderados, de valores similares; pese a ello, su flanco occidental es más corto debido fundamentalmente a la fracturación que le afecta.

La tradicional "estructura diapírica de Echalecu" posee un carácter dudoso, aflorando en una zona de relieve poco pronunciado constituido fundamentalmente por materiales arcilloso-yesíferos triásicos de orientación próxima a N-S. Pese a la clásica interpretación como manifestación diapírica, algunos hechos invitan a modificarla. Así, la existencia de deformaciones prealbienses (MARTINEZ TORRES, 1989) seguidas por procesos erosivos, ha sugerido que algunos asomos triásicos son núcleos anticlinales o zonas de umbral erosionados, y los materiales del Cretácico superior se disponen sobre ellos discordantemente; de acuerdo con ello, la estructura de Echalecu podría considerarse un anticlinal cuyo borde occidental está afectado por una falla inversa. Pese a ello, el carácter dudoso de esta interpretación y la mala calidad de afloramiento de su borde oriental han aconsejado que el límite del afloramiento triásico sea representado con carácter mecánico.

Tanto el sinclinal de Beramendi como el anticlinal de Urriza poseen menor longitud que los pliegues anteriores, evidenciando una vergencia suroccidental y un moderado grado de fracturación, debido a la alta proporción de niveles competentes.

Por lo que respecta al sinclinal de San Bartolomé, su eje discurre sobre afloramientos de materiales eocenos con una dirección E-O que hacia el sector oriental pasa a NE-SO.

### **3.2.3. Fallas y cabalgamientos**

Tres son los sistemas de fracturación principales: el cabalgamiento de Músquiz, la falla de Pamplona (no aflorante) y el cabalgamiento frontal de la sierra de Aralar (Fig. 3). Con menor entidad cabe señalar las fallas de Echalecu y Urriza.

El cabalgamiento de Músquiz constituye la terminación occidental de una serie de cabalgamientos relacionados con el de Roncesvalles, que supone el avance de la Zona Axial sobre la Zona Surpirenaica. Lógicamente, la estructura de Músquiz posee un salto menor, afectando a materiales campanienses y maastrichtienses, si bien separa dos dominios de orientaciones diferentes: al N, el sinclinal de Beunza, de orientación NO-SE se interrumpe bruscamente en ella, en tanto que al S, los pliegues se disponen paralelos al cabalgamiento, sugiriendo su relación genética.

La falla de Pamplona, integrante de un sistema de fracturación de escala continental, constituye una falla de zócalo orientada según NE-SO. Su papel en la historia geológica de la región ha sido decisiva, habiendo actuado de forma compleja durante diversas etapas (MARTINEZ TORRES, 1989). Su traza en la Hoja tan solo parece delimitable por la terminación oriental de la sierra de Aralar y la desaparición occidental del cabalgamiento de Músquiz; por otra parte, la génesis del conjunto de pliegues de dirección NO-SE, denominados "virgación de Ulzama", podría estar relacionada con la actuación de la falla.

El cabalgamiento frontal de la sierra de Aralar, de dirección NO-SE implica el avance del conjunto carbonatado cretácico de la sierra sobre el flysch Campaniense. Algo más al S y con dirección paralela al accidente frontal, se observa el cabalgamiento del conjunto carbonatado jurásico sobre el del Cretácico inferior. El buzamiento invertido hacia el N de los materiales implicados en los cabalgamientos señala la génesis de la estructura en dos etapas: la primera supuso el avance hacia el NE del dominio de Aralar mediante los cabalgamientos, y la segunda dio lugar a la retrovergencia de las estructuras previas.

La abundancia de materiales competentes en la sierra de Aralar ha favorecido la creación de una densa red de fracturación, mereciendo la pena destacarse la falla normal que limita la sierra por el S, de gran continuidad hacia el O y que pone en contacto los depósitos margosos campanienses y los calizo-margosos del dominio de Aralar.

El cabalgamiento de Echalecu, de dirección próxima a N-S, limita al O la "zona diapírica de Echalecu". Los materiales del Cretácico superior en contacto con los de la facies Keuper se encuentran muy verticalizados e incluso invertidos, con un pequeño pinzamiento de sedimentos albienses bien visibles al NE de Eraso. Ya que el borde

oriental del afloramiento triásico muestra escasa deformación, hace descartar el carácter perforante de los típicos diapiros, razón por la que dicho afloramiento ha sido interpretado como un anticlinorio, en el que la acusada vergencia hacia el O ha dado lugar a la creación del cabalgamiento.

La falla de Urriza, de dirección NO-SE, posee unas dimensiones modestas, al menos al ser comparadas con las de las estructuras citadas. Su interés reside en sus implicaciones neotectónicas, ya que mientras que la terraza más alta de la zona está afectada por aquélla, las medias y bajas la fosilizan; de ello se deduce su movimiento durante el Pleistoceno.

### **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.

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.

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

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 encuentra el de Echalecu cuya posterior evolución dio lugar a una de las estructuras más destacadas de la Hoja.

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 cuyo representante principales el cabalgamiento de Músquiz, en relación al cual se generaron pliegues paralelos de dirección E-O, como el sinclinal de San Bartolomé. Al O de la falla, el principal resultado de esta fase es la retrovergenza de las estructuras generadas en la sierra de Aralar durante la fase de vergencia N. Por lo que respecta a la estructura de Echalecu, su génesis debe remitirse a la etapa prealbiense, si bien su reactivación en la etapa de vergencia meridional propiciaría la mecanización de su flanco occidental.

Poco puede decirse de la evolución tectónica posterior a la segunda fase, si bien la falla de Urriza, activa durante el Pleistoceno, evidencia actividad neotectónica caracterizada por un campo de esfuerzos compresivos de orientación E-O (MARTINEZ TORRES, 1989).

## 4. GEOMORFOLOGIA

### 4.1. DESCRIPCION FISIOGRAFICA

Como se ha señalado, la Hoja a escala 1:25.000 de Irurzun (115-I) se encuentra situada en el sector septentrional de Navarra, en una zona de grandes relieves con importantes contrastes altimétricos. Fisiográficamente comprende dos sectores bien diferenciados: la sierra de Aralar, en sus estribaciones más orientales, y La Ulzama.

Aralar es una sierra de medianas dimensiones que se encuentra a caballo entre Guipúzcoa y Navarra y cuyas mayores alturas superan en muy poco los 1.400 m. Dentro de la Hoja, no llegan nunca a los 1.100 m pero su aspecto es muy agreste ofreciendo grandes escarpes, cumbres rocosas y espectaculares entalladuras producidas por el encajamiento de la red de drenaje. Hay que señalar que la parte Navarra es la que ofrece el bosque más abundante, estando poblada de numerosas hayas, además de tejos, serbales y una gran variedad de arbustos y plantas herbáceas. En los rasos, como sucede en el sector de Goldáraz, existen zonas con praderas de apariencia alpina. En Aralar, llama la atención la escasez de arroyos, a pesar de que las precipitaciones son copiosas. Ello se debe a la naturaleza carbonatada de este relieve, afectado por un proceso cárstico que provoca la infiltración de la mayor parte de las aguas meteóricas.

El otro sector, conocido como La Ulzama, presenta dos zonas de relieve diferente: la plataforma de Beunza, al N, y los relieves estructurales de San Bartolomé, al S. La primera consiste en una llanura elevada, con una altura máxima de 836 m en Iromuga, y vertientes escarpadas e incididas por la red de drenaje en todos los vientos. La naturaleza mayoritariamente calcárea de los materiales sobre los que se labra este relieve, da lugar a la formación de un intenso carst, manifiestamente patente en la superficie más alta, regada de numerosas formas de disolución como dolinas, uvalas, simas, sumideros, etc.

Los relieves estructurales del borde S, corresponden al flanco N del sinclinal de San Bartolomé, estructura de dirección aproximada E-O, con buzamientos, en este flanco, entre 30 y 50°. Los niveles de caliza, más competentes, originan escarpes y crestas muy características en el paisaje, con desniveles superiores a los 100 m. La altura media de estos resaltes es de 850 m.

La red de drenaje se ordena en torno a dos afluentes del río Arga, que son el Araquil, al O, y el Ulzama, en el extremo NE. Tanto uno como otro, discurren con una dirección general N-S, aunque sus cursos ofrecen una morfología bastante sinuosa, con tramos rectilíneos. Destacan además los ríos y arroyos de Basaburúa, Gasarrita, Zatarre y Uldepré, afluentes del Larráun, y Beunza-Larrea, Alcomorro, Ocoberri y Bagadizar que desaguan en el Ulzama. 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 líneas de debilidad debidas a fallas y fracturas (Fig. 5).

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 1.000 y 1.400 mm, correspondiendo los valores más bajos al sector meridional y los más altos, al septentrional. Las temperaturas medias oscilan entre los 10-12°C, con máximas de 37°C y mínimas de -8°C. Aunque estos datos definen un tipo climático Mediterráneo Templado, con un régimen de humedad Mediterráneo Húmedo, lo cierto es que hay una cierta tendencia a la continentalidad y en el sector septentrional hay influencia de clima de montaña con importantes precipitaciones de carácter sólido.

La red de comunicaciones es muy variable con sectores en los que la cobertura de caminos es buena, y otros en los que los accesos son muy difíciles. Esto es debido a lo accidentado del terreno, pues como puede observarse, la mayoría de las carreteras, ya sean nacionales, comarcales o locales, discurren casi siempre por los valles. Destaca la autovía de Leizarán, en la mitad oeste, que une Pamplona con San Sebastián, construida en gran parte por el valle del río Larráun. La red de caminos no tiene un amplio desarrollo y el acceso a algunos puntos de la Hoja es, en ocasiones, de gran dificultad.

## **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 proyecto 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 ITGE y ENRESA del "Mapa Neotectónico y Sismotectónico de España, a escala 1:1.000.000" arroja algunos datos complementarios sobre este sector de Navarra.

De nuevo hay que destacar la tesis doctoral de MARTINEZ TORRES (1989), que señala la presencia de movimientos recientes en el área, reconociendo una terraza cuaternaria trastocada por la falla de Urriza. Otros datos sobre este hecho se aportarán más adelante, en el apartado correspondiente a las formas fluviales.

### **4.3. ANALISIS MORFOLOGICO**

En este apartado se tienen en cuenta dos aspectos fundamentales: uno de carácter estático o morfoestructural y otro dinámico. El primero considera el relieve como una consecuencia del sustrato geológico y la disposición del mismo y el segundo analiza la importancia de los procesos exógenos sobre dicho sustrato y las características de los mismos.

#### **4.3.1. Estudio morfoestructural**

Desde el punto de vista morfoestructural, la Hoja de Irurzun se sitúa sobre la falla Pamplona, a caballo entre el Arco Vasco y la Zona Surpirenaica. Las características del relieve, bastante accidentado, están muy condicionadas por la estructura, además de litología y la tectónica.

Los relieves más acusados corresponden al sector de Aralar, donde importantes masas de calizas dan lugar a grandes crestas y otros resaltes estructurales. El río Larráun se encaja profundamente en este conjunto rocoso, adquiriendo en algunos tramos un trazado rectilíneo, como si se acomodara a zonas de fractura. Los resaltes estructurales ofrecen gran continuidad y una dirección preferente NO-SE. Existen además una serie de formas cársticas como son dolinas y uvalas que también presentan orientaciones preferentes según la dirección general de las estructuras e incluso de la fracturación.

En La Ulzama, en el sector conocido como plataforma de Beunza, la existencia de un sinclinal de amplio radio y asimétrico, condiciona la formación de esta llanura elevada en el flanco de mayor desarrollo. A partir de esta plataforma, el drenaje se desarrolla hacia el N y hacia el S. Los relieves estructurales son escasos, pues el desarrollo de un importante carst homogeneiza, en superficie, los niveles más y menos competentes.

La mitad S de La Ulzama también presenta resaltes estructurales, cuestas, crestas y hog backs con direcciones E-O y NO-SE, siguiendo las estructuras de los materiales cretácico - paleógenos. Estos resaltes estructurales corresponden mayoritariamente a niveles de calizas.

Otro ejemplo de que el relieve está íntimamente relacionado con la litología y la estructura, lo constituyen los materiales del sector de Echalecu, de edad triásica. Si se superpone el mapa geomorfológico al geológico se observa la adaptación de la red de drenaje a esta estructura, encajándose los principales caudales en los materiales arcillosos. Asimismo resaltan dentro de esta masa algunos relieves positivos debidos a la presencia de calizas, dolomías y productos subvolcánicos. En general, el relieve de este sector es mucho más suave que el de los conjuntos carbonatados que lo rodean.

Otro aspecto a tener en cuenta es la morfología general de la red de drenaje, pues es habitual que se den direcciones preferentes y tramos muy rectilíneos, a favor de estructuras y fracturación. En la figura 5 se presenta un esquema de la red fluvial a escala 1:100.000 donde se indican las principales direcciones de flujo y su relación con la estructura.

Existen varias familias de direcciones entre las que se pueden destacar la NO-SE, más frecuente en el sector O, acorde con la dirección principal de la sierra de Aralar; se acoplan a ella algunos afluentes importantes del río Larráun. La dirección complementaria NE-SO es la que presentan la mayoría de las fallas y fracturas que aparecen en la Hoja; esta dirección es seguida también por ríos de la red secundaria de largo recorrido, aunque no es muy frecuente. La dirección N-S, es la dirección de máxima pendiente de acceso al colector principal, en este caso el Ebro y a ella se acoplan tramos importantes del Larráun. En el cuadrante NE, numerosos arroyos adoptan esta misma dirección, partiendo de la plataforma de Beunza, para dirigirse al

N y al S; este alto de Beunza semeja un domo con desarrollo de drenaje centrífugo. Por último, la dirección E-O, es la que ofrecen las estructuras de los sedimentos eocenos y del cabalgamiento de Músquiz.

En cuanto a la morfología general de la red de drenaje es muy variada en los diferentes sectores. En la mitad meridional es de tipo dendrítico y densidad media, en el cuadrante NO es meandriforme con tendencia angular y de densidad baja, y en el sector de la plataforma de Beunza tiene carácter centrífugo con una densidad media.

#### **4.3.2. Estudio del modelado**

Se analizan aquí todas las formas cartografiadas en el mapa, tanto de carácter erosivo como sedimentario y que han sido originadas por la acción de los procesos externos. También se describen dichos procesos y su importancia en el modelado del relieve. Tres son las morfologías más significativas: la estructural y las debidas a la acción fluvial y a los procesos de disolución.

##### **4.3.2.1. Formas fluviales**

En la Hoja de Irurzun, el desarrollo de la morfología fluvial es bastante importante pero dominando, siempre, la de carácter erosivo. La escasez de depósitos es patente, limitándose a fondos de valle, conos de deyección, cauces abandonados y algunos niveles de terrazas.

Los fondos de valle están constituidos por un conjunto de cantos y gravas de calizas, dolomías, cuarcitas, areniscas y otros, envueltos en una matriz de carácter arcilloso. Su morfología, en planta, es estrecha y alargada, con un trazado sinuoso en el que se intercalan tramos rectilíneos. En algunos puntos, como sucede en el barranco Alcomorro, estos depósitos alcanzan mayor desarrollo, llegando a tener hasta 600 m de ancho. Esto es debido a que se trata de una zona de sustrato más blando y relieve más suave, por donde el río puede desarrollarse con mayor amplitud.

En general, asociados a los fondos de valle aparecen los conos de deyección, instalados a la salida de algunos barrancos y arroyos, al desembocar en un cauce de rango superior. Son frecuentes en los valles de los principales cauces como el río Larráun y los barrancos de Basubarúa, Zatarre, Alcomorro y Beunza-Larrea. En el

valle del Larráun y en el barranco de Alcomorro, es donde se encuentran los conos de mayor desarrollo. Su morfología es muy característica, en abanico, y pueden aparecer como formas aisladas o solapándose unas con otras cuando en una misma ladera aparecen muy próximas unas a otras. La litología es similar a la de los fondos de valle, puesto que el área madre es el mismo, aunque la textura puede variar, incluso de unos conos a otros y dentro del mismo depósito, pues el tamaño de grano disminuye de la zona apical a la distal. Su génesis suele ser contemporánea a la de los fondos de valle puesto que es frecuente que unos y otros depósitos aparezcan interdentados. También es habitual en los valles la asociación lateral con los depósitos de ladera.

Por lo que a las terrazas se refiere, se han distinguido tres niveles diferentes: el más bajo, desarrollado entre +3 -7 m, el segundo entre +10 -15 m, y el tercero, por encima de 20 m; sólo aparecen en los valles del Larráun y Alcomorro, siendo en este último donde adquieren un desarrollo mayor. La morfología de su superficie es plana y en aquellos valles estrechos, donde el encajamiento ha sido muy brusco, ofrecen una cierta inclinación hacia el cauce. El escarpe suele ser neto y su dispositivo morfológico es el de terrazas colgadas, es decir que dejan ver el sustrato por debajo de sus depósitos. Esto es lo que ocurre en el valle del Larráun, al contrario de lo que sucede en el valle del Alcomorro donde el dispositivo es el de terrazas solapadas o encajadas.

Un dato que hay que considerar aquí es el que MARTINEZ TORRES (1989) aporta en su tesis doctoral, relativo a una terraza del río Larráun situada al NO de Urriza. Según este autor puede observarse como esta terraza está afectada por una falla subvertical, claramente visible en foto aérea y que ha denominado falla de Urriza. Se trata de un accidente de salto en dirección sinextroso, con una pequeña componente vertical que hunde levemente el bloque N de la terraza. Sin embargo esta falla no llega a afectar a las terrazas más recientes. La datación de estas terrazas no es posible pero se han ordenado en el tiempo, al menos de forma relativa.

Otra de las formas con depósito cartografiada es la de los cauces abandonados que aparece en el río Larráun y en el barranco de Errotasar, dando formas casi circulares que indican la existencia de antiguos meandros.

Por lo que se refiere a las formas fluviales de carácter erosivo, destaca una importante red de incisión que da lugar a barrancos en "v" y que a veces desarrolla hoces como sucede en algunos tramos del barranco de Basaburúa y del río Larráun. Este acusado

proceso de erosión se debe a que se trata de un área de montaña próxima a una gran divisoria y donde las pendientes son muy acusadas, superando en general el 20% es decir los 10-12°. En estas condiciones, las aguas de escorrentía producen fuertes incisiones y entalladuras, dando lugar a una abrupta morfología donde alternan los barrancos con los interfluvios agudos en arista; la existencia de materiales blandos intercalados en otros más duros, favorece el desarrollo de estas formas. En algunos puntos la incisión puede ser acelerada por el desarrollo del carst.

#### **4.3.2.2. Formas de ladera**

Dentro de este conjunto de formas se han reconocido: coluviones, deslizamientos, desprendimientos o caídas de bloques, canchales y movimientos de solifluxión.

Los coluviones aparecen al pie de las laderas, originados por la acción conjunta del agua y de la gravedad. Son frecuentes en muchos de los valles, dando una serie de bandas estrechas y alargadas paralelas a los cauces. Los de mayor tamaño aparecen en los valles del río Arquil, del barranco Alcomorro, y en el valle del barranco Zatarre. Se relacionan lateralmente con los conos de deyección que, por medio de pequeños barrancos, vierten a estos valles. Otras veces, en áreas de fuertes pendientes y con cualquier morfología, pueden reconocerse derrubios de depósitos ordenados. Como no siempre son fáciles de observar se han incluido en el mismo conjunto.

También se han cartografiado los canchales, muy comunes en este tipo de relieve accidentado de naturaleza calcárea. Algunos buenos ejemplos se localizan al N de Irurzun, pudiendo observarse a lo largo de la carretera que discurre por el valle del Larráun. Son depósitos con escasa matriz, constituidos por una acumulación de bloques y clastos angulosos, desprendidos de los escarpes superiores. Cuando las caídas se limitan a unos cuantos bloques de gran tamaño se han representado como desprendimientos o bloques caídos.

Los deslizamientos también se producen por las altas pendientes y por la presencia de litologías blandas o alternantes. Aparecen en el sector meridional y en el valle del río Larráun, donde se encuentran magníficos ejemplos, algunos de pequeño tamaño, difíciles de representar en la cartografía. Este tipo de movimientos ha originado algunos problemas en la construcción de la autovía de Leizarán, siendo frecuentes en

los taludes abiertos como consecuencia de la obra. En algunos de ellos se puede observar con claridad la cicatriz de despegue y la masa deslizada. Algunos son de carácter rotacional y otros solifluidades; por lo general son de pequeñas dimensiones, entre 100 y 200 m<sup>2</sup>.

Finalmente se han reconocido movimientos de solifluxión en alguna ladera, no descartando la posibilidad de que existan muchos más de los representados, aunque difíciles de ver por la espesa vegetación de algunos sectores.

#### **4.3.2.3. Formas cársticas**

Son una de las morfologías más características de los sectores occidental y septentrional. Hay que decir que el proceso de disolución es uno de los que produce resultados más espectaculares en el relieve, desde el punto de vista geomorfológico. Los dos complejos cársticos existentes en la Hoja son los de la sierra de Aralar y la plataforma de Beunza. Este último aporta formas de mayores dimensiones dando lugar, a techo, a una superficie algo irregular, desarrollada entre los 780 y los 820 m. La superficie se encuentra totalmente perforada, ofreciendo un gran número de formas exocársticas de diferente envergadura. La densidad de vegetación y el abundante tapiz vegetal definen a este complejo como un carst cubierto o semicubierto; aun así, en la fotografía aérea se han podido separar las formas mayores. La más representativa de entre ellas es la dolina, que puede ser redondeada, ovalada, alargada, en artesa, en embudo, etc. Otra de las observaciones que puede tener interés es la orientación y alineación de muchas de estas formas, según direcciones preferentes que, en la mayoría de los casos tiene que ver con la dirección de las estructuras o de la fracturación, hecho reconocible en el sector de Aralar. También se pueden ver formas menores del carst como son los lapiaces, con sus pasillos, surcos, crestas, senos, alveolos, huecos, etc., muchas veces rellenos por arcillas de descalcificación.

Los procesos cársticos se desarrollan muy influenciados por la estructura y la fracturación, puesto que la existencia de líneas de discontinuidad o de debilidad favorecen la penetración del agua y la circulación de la misma dentro del macizo rocoso. En el caso de la Hoja de Irurzun, existen una serie de factores que facilitan los procesos de disolución como son una superficie relativamente llana y suave, como en el caso de la plataforma de Beunza, una intensa fracturación y una litología

carbonatada. A todo ello hay que añadir la existencia de una estación fría con precipitación sólida, lo que acelera el proceso de disolución debido a que las aguas de fusión son muy agresivas.

Hasta aquí sólo se han tenido en cuenta las formas erosivas, pero considerando la tipología sedimentaria, no se pueden olvidar las arcillas de descalcificación, producto final y residual de la disolución de los carbonatos. Dicho material no tiene una morfología definida puesto que igual rellena huecos o alveolos que tapiza el fondo de uvalas y dolinas.

Por lo que se refiere al tiempo de actuación de dichos procesos, no es fácil precisar, pero se supone que pueden iniciarse a finales del Terciario o al principio del Cuaternario siendo, en la mayoría de los casos, funcionales en la actualidad.

#### **4.3.2.4. Formas poligénicas**

Están representadas por una superficie de erosión denominada Superficie de Erosión Inferior (S2) y por algún pequeño depósito de glacia. El nombre de poligénicas se aplica a todas aquellas formas en las que ha intervenido más de un proceso de formación.

Al observar la cartografía geomorfológica puede verse que existen una serie de replanos que seccionan diversos materiales y que se sitúan entre los 700 y 800 m. Estos replanos corresponden a la denominada Superficie de Erosión Inferior. Se le ha asignado este nombre puesto que existe otra superficie que, aunque no aparece en esta Hoja, si lo hace en Hojas vecinas entre los 1.000 y 1.100 m y que se ha asimilado a la Superficie de Erosión Fundamental, definida para todo el ámbito de la Cordillera Ibérica por PEÑA et al. (1984) y en numerosas zonas de la Cantábrica. A esa superficie se le asigna una edad amplia Vallesiense - Plioceno, pero es muy posible que no sobrepase el Turolense, por lo que la superficie que aquí se desarrolla, tendría que ser algo más moderna, quizás pliocena o incluso cuaternaria. La ausencia de datos que permitan datar estos aplanamientos dificulta su posición en el tiempo, por lo que sólo es posible asignarle una edad relativa.

La Superficie de Erosión Inferior se localiza en el sector oriental, al E de Beunza-Larrea y en los parajes de Amezti y El Uso. Existe la duda si la parte superior de la plataforma de Beunza pudiera asimilarse a esta superficie, pero su gran irregularidad, debido al carst que le afecta, y a la espesa vegetación, impide una definición clara de este hecho a pesar de la coincidencia de las cotas.

Por lo que a los glacis se refiere, sólo se ha cartografiado un pequeño depósito en el extremo oriental, en relación con el valle del barranco de Alcomorro. Por su posición, en relación con el cauce, podría relacionarse con la primera o la segunda terraza. Por sus dimensiones y desarrollo, este depósito carece de importancia dentro del ámbito de la Hoja.

#### **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). Sus características principales son 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. Entre ellas se destacan los fondos de valle, constituidos por un conjunto de gravas de naturaleza calcárea y dolomítica, fundamentalmente, aunque también de cuarcita, cuarzo, areniscas y otros, empastados en una matriz arcilloso-arenosa. Esta matriz posee 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 clastos está comprendido ente 5 y 8 cm, y el tamaño máximo observado es de 35 cm. Estos bloques son abundantes y quizás en otros puntos puedan alcanzar mayores tamaños. Ello es debido a que se trata de una zona montañosa, donde la capacidad erosiva de los cursos es muy elevada por las grandes diferencias altimétricas y por la alta pluviometría. La presencia, además, 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 parece superar los 4-5 m. El aluvial de mayor desarrollo corresponde al del río Arquil seguido del barranco de Alcomorro, que desemboca en el anterior. A estos

depósitos se les asigna una edad holocena por representar la última etapa sedimentaria de la red fluvial actual.

Asociados a estos depósitos aparecen los conos de deyección con diferente envergadura según la amplitud de los valles. Los de mayor tamaño son los de los valles del río Arquil, barranco de Alcomorro, barranco de Zatarre y río Larráun. Son también depósitos de textura granular, heterométrica y muy poco consolidados. Su litología es muy similar a la de los fondos de valles, puesto que en la mayoría de los casos el área madre es común, aunque pueden presentarse diferencias locales. Por lo que se refiere al tamaño de los granos, existen grandes variaciones dentro de un 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 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.

Las terrazas son formaciones superficiales que, aunque no demasiado frecuentes, alcanzan cierta importancia en los valles de los ríos Arquil, Larráun y del barranco Alcomorro. Se han diferenciado, en líneas generales, tres niveles de terrazas, a +3-7 m, +10-15 m y +20 m. Las observaciones realizadas sobre el terreno permiten definirlos como un conjunto de gravas con abundantes bloques de naturaleza fundamentalmente calcárea (calizas y dolomías), aunque también aparecen de cuarcita, cuarzo y areniscas. La matriz es arcilloso-arenosa, de tonos pardos o pardo rojizos. La potencia, no siempre visible, en algunos afloramientos del Larráun alcanza entre 2,5 - 3 m, no descartándose la posibilidad de que en algunos puntos pueda alcanzar valores más altos. Se observan además estructuras típicas de un medio fluvial de carácter "braided" con cicatrices erosivas, imbricación de cantos, etc. El tamaño medio de los cantos se sitúa entre 4 y 8 cm, con abundantes bloques. El tamaño máximo, observado en campo, es de unos 40 cms. Como puede observarse, sus características son muy similares a las de los fondos de valle; las únicas diferencias existen en el color de los sedimentos y en el suelo que desarrollan a techo, siendo menos evolucionados en los fondos aluviales y con un mayor contenido en materia orgánica. La edad de estos depósitos es Pleistoceno superior.

Entre las formaciones superficiales de ladera se describen solamente los coluviones y los canchales. Los primeros son de naturaleza arcillosa con numerosos clastos de carácter anguloso, dispuestos en lechos que indican los diferentes aportes que van dando origen al depósito. Son clastos casi siempre calcáreos y muy angulosos. La potencia es muy heterogénea pudiendo variar desde un tapiz superficial de pocos centímetros, hasta acumulaciones de varios metros. Normalmente se ubican al pie de las vertientes, en bandas alargadas paralelas a los cauces. Los canchales aparecen por lo general a distintas alturas de la ladera y están constituidos por una abundante acumulación de clastos y bloques de gran heterometría que a veces pueden llegar a alcanzar más de un metro. La potencia de estos depósitos suele variar entre 0,5 y 3 m, no descartándose la posibilidad de mayores potencias puntualmente.

Las arcillas de descalcificación son las únicas formaciones superficiales de origen cárstico. Estos materiales aparecen rellenando el fondo de las dolinas, uvalas y otras formas menores del carst como son los lapiaces. Se trata en general de "terras rossas" o "terras fuscas" con colores que varían desde un rojo vinoso a un pardo rojizo. Contienen además un cierto contenido en limos y arenas, así como algunos fragmentos de rocas carbonatadas que se desprenden de las paredes de las dolinas. Las potencias son difíciles de calcular por diversos motivos, entre los que destacan la inaccesibilidad del relieve y la excesiva vegetación, impidiendo la observación de la sección de una dolina con su relleno de fondo, pero siempre se le supone una gran variedad dependiendo de la intensidad del proceso, del tamaño de las formas y de la textura de la roca calcárea.

La intensidad del proceso, en este sector, es bastante alta por la conjunción de una serie de factores como: litología carbonatada, fracturación, superficies de suave pendiente y clima agresivo. La edad asignada a estos materiales es Plioceno - Actual, puesto que parece que el proceso sigue funcionando hoy en día.

#### **4.5. EVOLUCION GEOMORFOLOGICA**

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

Geomorfológicamente, no existen en la Hoja puntos de referencia conocidos 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 Turolense. 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 muy encajados, 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, glacis, deslizamientos, etc.

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.), así como en los valles (simétricos, asimétricos, en artesa, en "v", en "u", etc.) dependiendo 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 el área 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, destacan los de disolución, responsables en este caso del desarrollo del carst. Los mayores complejos cársticos se desarrollan en la denominada plataforma de Beunza, y en la Sierra de Aralar, ambos sobre los materiales carbonatados del Cretácico. Ya que las características de este carst han sido descritas en apartados anteriores, sólo hay que añadir aquí su funcionalidad actual favorecida por el clima.

Los procesos de ladera son los otros que 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.

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. Este tipo de movimientos ha originado numerosos problemas en los taludes abiertos en la construcción de la autovía de Leizarán.

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 fluviales.

## 5. PETROLOGIA

Dentro de la Hoja de Irurzun (115-I) 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 al único afloramiento de materiales triásicos, situado en la "zona diapírica de Echalecu". 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 se restringen a las proximidades de Echalecu.

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 Irurzun. 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**

No existe en la actualidad signo alguno de actividad minera en el ámbito de la Hoja de Irurzun (115-I), que no parece haber sido objeto de excesivo interés tampoco en épocas pasadas. Tan solo se reconocen cinco explotaciones abandonadas de calizas y una de ofita, en todos los casos de pequeña envergadura, junto a tres indicios asfálticos, dos de cinc y tres de hierro.

#### **7.1.1. Minerales metálicos y no metálicos**

Se incluyen en el presente apartado los indicios relativos a cinc y hierro, de escaso interés.

##### **7.1.1.1. Cinc**

Sus dos indicios se sitúan al O de Ichaso, correspondiendo a explotaciones abandonadas de mineralizaciones de aspecto masivo, encajadas en materiales del Cretácico superior. La morfología de la mineralización evidencia una génesis sinsedimentaria, siendo blenda la mena en todos los casos.

El mínimo interés despertado por la explotación de sustancias metálicas en Navarra se ve acentuado en el caso del cinc, del que existe un importante desconocimiento, debido en gran parte a la ausencia de estudios geológico-mineros. Se carece de cualquier tipo de datos que permitan estimar las leyes y reservas de los yacimientos, sin que exista hecho alguno que haga pensar en su futura explotación.

##### **7.1.1.2. Hierro**

Se trata de tres indicios de escaso interés, dos de los cuales encajan en las calizas aptienses del Complejo Urgoniano y, el restante, en materiales carbonatados del Cretácico superior. La mena corresponde a pirita y óxidos, siendo variable su morfología.

Entre las causas del abandono se encuentran el escaso conocimiento geológico-minero y la baja ley de los yacimientos. Ya que los datos referentes a aspectos económicos o de reservas son mínimos, no es posible realizar una estimación de su posible aprovechamiento futuro.

### **7.1.2. Sustancias energéticas**

Este grupo de sustancias está representado exclusivamente por los indicios de asfalto.

#### **7.1.2.1. Asfalto**

Presenta tres indicios localizados en la sierra de Aralar, concretamente dos de ellos se sitúan en las inmediaciones de Goldáraz y el restante, junto a Santiago-Ichasperrí. Los indicios encajan en materiales calizo-margosos del Aptiense-Albiense, a favor de fracturas.

No existen trabajos referentes a su génesis o distribución espacial, fundamentales para cualquier intento de aprovechamiento futuro. En principio puede suponerse que los cambios de facies de los Complejos Urgoniano y Supraurgoniano del Cretácico inferior deben constituir buenas trampas estratigráficas, aunque la importante tectonización de la zona sugiere que, en caso de existir zonas favorables, deben estar restringidas a pequeñas estructuras.

### **7.1.3. Minerales y rocas industriales**

Pertencen a este grupo las explotaciones abandonadas de calizas y ofitas.

#### **7.1.3.1. Caliza**

Al igual que en el resto de Navarra, es la sustancia con más evidencias de aprovechamiento, con cinco canteras abandonadas, ubicadas en la facies Muschelkalk y en los niveles carbonatados del Jurásico y Cretácico, estando concentradas en las proximidades de Latasa.

El tipo calizo explotado es muy variable según el nivel estratigráfico al que corresponda: calizas y dolomías negras, calcarenitas grisáceas, calizas bioclásticas, etc. Su utilización estuvo enfocada fundamentalmente hacia el campo de la construcción, especialmente como áridos de machaqueo.

En los últimos años, la explotación de calizas ha sido sustituida parcialmente en la región por otras sustancias que presentan ciertas ventajas según los casos (ofitas, gravas calcáreas, etc.). Pese a ello, la amplia representación superficial y volumétrica de los materiales calizos y su necesidad específica en algunos casos, hacen pensar en un posible aprovechamiento futuro, tal como ocurre en zonas próximas.

#### **7.1.3.2. Ofita**

Tan solo se ha constatado la existencia de una explotación abandonada de materiales ofíticos de reducidas dimensiones, localizada en las inmediaciones de Echalecu. La morfología de la masa ofítica es desconocida, pese a su aspecto superficial subglobular, hallándose rodeada por materiales arcilloso-yesíferos de la facies Keuper.

Entre los inconvenientes de su explotación, se encuentran la fracturación y la alteración. Aunque éstos invitan a la utilización de otras sustancias, las ofitas poseen propiedades más adecuadas para la construcción de carreteras, lo que hace que no se descarte su futuro empleo.

#### **7.1.4. Interés potencial de los recursos minerales**

Todas las sustancias que parecen poseer un interés potencial minero dentro de la Hoja de Irurzun, pertenecen al grupo de minerales y rocas industriales. Dentro de ellas cabe destacar: calizas, con una posible utilidad dentro de la construcción y los campos químico-industrial, metalúrgico, agrícola, etc.; dolomías, aplicables a los campos de la construcción y de las industrias metalúrgicas, química y agrícola; margas, cuyo uso primordial se relaciona con la fabricación de cemento; mármol, entendiendo por tal cualquier producto carbonatado utilizable con fines ornamentales; y ofitas, aplicables al campo de la construcción.

## 7.2. HIDROGEOLOGIA

Hidrologicamente, 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 no incluye ningún curso de agua importante, sólo pequeños cursos fluviales afluentes de los ríos Ulzama y Araquil. Entre ellos destaca el río Arquil, que aporta al Ulzama un caudal de 31 hm<sup>3</sup>.

En la zonación hidrogeológica realizada en el 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 Echulecu, 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 la "zona diapírica de Echalecu" y en varios pequeños afloramientos próximos al vértice noroccidental de la Hoja. La geometría de estos afloramientos es elongada en dirección N-S y aunque genéticamente se pueden asociar tanto a manifestaciones diapíricas como a procesos de cabalgamiento, 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. Calizas, dolomías y brechas calcáreas. Triásico superior - Sinemuriense**

Esta unidad comprende el nivel cartográfico 6, constituido por brechas calcáreas en la base, que pasan a calizas y dolomías hacia techo.

Este nivel forma parte de la Unidad Hidrogeológica de Aralar y se considera de permeabilidad media - alta. Esta característica está condicionada fundamentalmente por los procesos de carstificación, originados en una porosidad primaria, producto de los procesos diagenéticos de dolomitización, y secundaria, por los procesos de fracturación y diaclasado.

#### **7.2.1.4. Margas y calizas margosas. Sinemuriense - Toarciense**

Afloran en continuidad estratigráfica con la unidad anterior, situándose sus puntos de observación en el sector de Goldaráz - Dos Hermanas, formando parte de la Unidad Hidrogeológica de Aralar, con una potencia de 150 m. Litológicamente están

constituidas por un conjunto de margas grises y azuladas con pirita, que hacia techo pasan gradualmente a margocalizas y calizas margosas grises, de aspecto noduloso.

Se ha estimado una permeabilidad baja - muy baja para esta unidad, teniendo en cuenta la naturaleza impermeable de los materiales margosos y el espesor que adquiere en esta zona.

#### **7.2.1.5. Calizas y calizas margosas. Aalenense - Oxfordiense**

Este tramo comprende los niveles 8 y 9 de la cartografía geológica. El nivel 8 está constituido por una alternancia rítmica de calizas y margas, con predominio de las primeras en el techo de la unidad; el espesor de este tramo es del orden de 140 m. El nivel 9 está formado por unos 150 m de una sucesión de calizas parcialmente dolomitizadas, dispuesta sobre los tramos margosos descritos anteriormente.

Hidrogeológicamente se ha atribuido a estos materiales una permeabilidad media - alta por fisuración y carstificación, situándose las zonas con mayor permeabilidad en los sectores donde predominan los materiales dolomíticos.

#### **7.2.1.6. Calizas, margas y areniscas. Facies Purbeck. Portlandiense - Valanginiense**

Aflora exclusivamente en una estrecha franja localizada en el ámbito del paso de Dos Hermanas, dispuesta discordantemente sobre los niveles calcáreos descritos anteriormente. Asimismo este nivel se encuentra erosionado por el tramo arcilloso-margoso superior asignado a la facies Weald. Litológicamente está constituida por un conjunto de unos 50 m de calizas con intercalaciones margosas.

Hidrogeológicamente, se ha considerado de permeabilidad media-baja, en función de la naturaleza margosa de sus materiales.

#### **7.2.1.7. Arcillas, margas con intercalaciones de calizas margosas y areniscas. Valanginiense - Maastrichtiense**

. La característica común de todos estos niveles es su naturaleza arcilloso-margosa, dando lugar en general a afloramientos de mala calidad. Como se ha indicado anteriormente, se trata de un conjunto de arcillas y margas con intercalaciones de

niveles areniscosos, como en el nivel 139, o de calizas margosas, como en el nivel 185.

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

#### **7.2.1.8. Areniscas y conglomerados. Aptiense - Albiense**

Afloran en el vértice noroccidental, sobre materiales jurásicos y del Cretácico inferior. A nivel regional, estos materiales se disponen sobre diversas unidades mesozoicas. Litológicamente están formados por un conjunto de conglomerados y areniscas de grano grueso y composición silícea.

Aunque en general se encuentran muy cementados, se considera a este nivel con una permeabilidad media - baja por porosidad intergranular.

#### **7.2.1.9. Calizas arrecifales. Aptiense - Albiense**

Esta unidad hidrogeológica comprende el nivel cartográfico 133, que aflora en el sector oriental de la sierra de Aralar. 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 están sometida.

#### **7.2.1.10. Brechas calcáreas. Cenomaniense**

Esta unidad comprende el nivel cartográfico 165, con unos 40 m de espesor, que se intercala en los depósitos alternantes de margas y calizas del Cenomaniense. Se trata de un conjunto de brechas poligénicas con predominio de cantos calcáreos, geometría lenticular y por lo tanto, poca continuidad lateral.

Hidrogeológicamente se ha considerado de permeabilidad media - baja, ya que aunque este tipo de materiales pueden alcanzar permeabilidades de orden mayor en

función de su porosidad intergranular, su pequeño espesor y su reducida extensión, disminuyen su catalogación.

#### **7.2.1.11. Calcarenitas. Turoniense - Santiense**

Estos niveles se encuentran incluidos entre los materiales margosos de la unidad hidrogeológica comprendida entre el Valanginiense y el Maastrichtiense, correspondiendo al nivel cartográfico 167. Litológicamente está constituido por calcarenitas con intercalaciones areniscosas, con un espesor medio del centenar de metros, que se acuñan lateralmente.

Hidrogeológicamente se consideran con permeabilidad alta - media, por fisuración y carstificación, muy abundantes en algunos sectores, con amplio desarrollo de dolinas.

#### **7.2.1.12. Calcarenitas y margas. Campaniense**

Comprende el nivel cartográfico 187, que aflora como un nivel intercalado entre las margas del nivel 185. Este nivel, con una potencia media del centenar de metros, se acuña lateralmente tanto hacia el E como hacia el O. Litológicamente está compuesto por una alternancia de calcarenitas y margas, variando el porcentaje entre ellas según su posición geográfica; así hay zonas donde la abundancia de capas de calcarenitas, favorece el desarrollo de formas cársticas con desarrollo de dolinas.

Hidrogeológicamente se considera a este conjunto con una permeabilidad media - baja, variando según el contenido en niveles calcáreos.

#### **7.2.1.13. Calcarenitas. Maastrichtiense**

Comprende el nivel cartográfico 191, que se encuentra intercalando en el nivel 184. Litológicamente está formado por calcarenitas con una potencia aproximada de 50 m, acuñándose lateralmente hacia el O.

Hidrogeológicamente, se asigna a este tramo una permeabilidad media - alta.

#### **7.2.1.14. Calizas con intercalaciones margosas. Daniense - Ilerdiense**

Este tramo comprende los niveles cartográficos 207 y 215, aflorando en el límite meridional de la Hoja, en la alineación montañosa que discurre entre los parajes de Munoaundi y Bariain. Litológicamente se trata de un conjunto de calizas bioclásticas y calizas margosas con niveles de brechas calcáreas.

Hidrogeológicamente se considera a esta unidad con permeabilidad media - baja, ya que incluye una gran cantidad de niveles margosos.

#### **7.2.1.15. 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 a esta unidad con permeabilidad baja a muy baja.

#### **7.2.1.16. Margas, arcillas, margocalizas y calcarenitas. Cuisiense - Luteciense**

El nivel 218 está constituido por una serie alternante de areniscas ferruginosas ocre y arcillas grises, de carácter turbidítico. Los niveles 237 y 239 están constituidos por margas, margocalizas y calcarenitas, aflorando con mala calidad de observación; están relacionados con depósitos sedimentados en las zonas distales de rampas de plataformas carbonatadas. El nivel 254 es de una sucesión monótona margosa que puede asimilarse a sedimentos depositados en zonas similares a las descritas anteriormente.

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

**7.2.1.17. Calcarenitas. Luteciense - Biarritziense inferior**

Esta unidad comprende el nivel 260 de la cartografía geológica. Se trata de un conjunto de calcarenitas distribuidas en capas de orden métrico.

Hidrogeológicamente, se asigna a este tramo una permeabilidad media - alta por carstificación y fisuración.

**7.2.1.18. 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.

Los fondos de valle 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 media - alta, predominando la permeabilidad media cuando las facies lutíticas aumentan su proporción.

Las conos de deyección 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 glaciares, coluviones, canchales y 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 constituyen el producto residual de la disolución de los carbonatos y aparecen tapizando el fondo de muchas dolinas y rellenando huecos y cavidades de diferente tamaño. La naturaleza de estas formaciones suele ser mayoritariamente arcillosa, aunque es probable que contengan un cierto porcentaje de limo, arena e incluso algunos fragmentos de rocas carbonatadas desprendidos de las paredes de las dolinas. 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 en general, son 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 cuatro unidades con un funcionamiento hidrogeológico independiente; estas unidades son:

.Acuífero de Latasa

.Calizas del Cretácico superior

.Calizas del Luteciense superior

.Formaciones permeables del Cuaternario

#### **7.2.2.1. Acuífero de Latasa**

Geometría

Este acuífero es uno de los más importantes de los que se pueden observar en la zona. Forma parte de la unidad hidrogeológica de la sierra de Aralar, estando separado del acuífero de Iribar por una falla de dirección NNO-SSE.

Está formado por las calizas del Lías, las calizas del Dogger - Malm y por los sedimentos carbonatados del Complejo Urgoniano. En el sector oriental de este

acuífero, estos niveles calcáreos se encuentran independizados mediante tramos de arcillas y margas. En el sector occidental del acuífero, estos niveles calcáreos se encuentran interconectados ya que no existen los niveles margo-arcillosos del Purbeck-Weald encontrándose afectados por numerosa fracturas que ponen en contacto los distintos niveles calcáreos.

#### Funcionamiento Hidrogeológico

La recarga se realiza por infiltración directa procedente del agua de lluvia y la descarga por flujo directo del río Larráun, además de varios manantiales, de los que surgen caudales que varían entre 5 l/s y 7.000 l/s.

#### Parámetros Hidrogeológicos

Las transmisividades obtenidas mediante ensayos de bombeo están comprendidas entre 15 y 400 m<sup>2</sup>/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 varios niveles calcáreos, comprendidos entre el Turoniense y el Maastrichtiense. Litológicamente están formados por niveles de calcarenitas, incluidas entre grandes masas de margas y margocalizas. En conjunto, cada nivel carbonatado presenta una geometría lenticular con espesores del orden de los 100 m que se acuñan lateralmente tanto hacia el E como hacia el O.

#### 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; los principales puntos de surgencia se sitúan en Macurren (25 l/s), Oscoz con (140 l/s), Echalecu (15 l/s), además de numerosos manantiales con caudales del orden de 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 superior**

#### Geometría

Este acuífero sólo aflora en el sector centro meridional, encontrándose colgado sobre niveles margosos, en el eje del sinclinal de San Bartolomé.

#### Funcionamiento Hidráulico

En cuanto al funcionamiento, la recarga se produce mediante infiltración directa del agua de lluvia, y la descarga mediante manantiales de caudales pequeños, no llegando a alcanzar ninguno de ellos valores mayores de 1 l/s.

#### Parámetros Hidráulicos

No se tiene información procedente de ensayos o test hidráulicos realizados en la unidad acerca de parámetros hidrogeológicos que la definan. Al igual que el caso anterior, se estima para esta unidad una permeabilidad media - alta, siempre en relación con la densidad de fracturación y los procesos cársticos que se desarrollan a favor de ella.

### **7.2.2.4. Formaciones permeables del Cuaternario**

#### Geometría

Las formaciones permeables cuaternarias, que constituyen acuífero, están representadas fundamentalmente por los depósitos fluviales del río Arquil y los principales ríos y arroyos. La geometría de estos sedimentos es fundamentalmente lineal, a lo largo de dichos cursos fluviales presentando un desarrollo más amplio únicamente al E de la Hoja.

#### Funcionamiento Hidrogeológico

La recarga de estos acuíferos se produce por infiltración directa del agua de lluvia y por transferencia de los cursos superficiales. 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 cuaternarias.

#### 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 115-I, a escala 1:25.000, correspondiente a Irurzun 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**

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

En esta Hoja se concretan básicamente en los proyectos de explanación, construcción, y estudios geotécnicos complementarios de la autovía de Leizarán. Asimismo, se ha utilizado la información existente de algunas unidades geológicas de 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)

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

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

.Hinchamiento (E. de Lambe).

Igualmente se ha 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 anunciado 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**

##### **1.1.1.1 Criterios de división**

Se ha dividido la superficie de la Hoja en función de criterios geotécnicos, en cinco AREAS que presentan una entidad propia y una cierta homogeneidad. Posteriormente, estas áreas han sido divididas a su vez en un total de catorce 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.

##### **1.1.1.2 División en Areas y Zonas Geotécnicas**

AREA I: Representa los materiales Paleozoicos

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 I: ZONA I<sub>1</sub>

AREA II:ZONA II<sub>1</sub>, II<sub>2</sub>, II<sub>3</sub>, II<sub>4</sub>, II<sub>5</sub>, II<sub>6</sub>

AREA III:ZONA III<sub>1</sub>, III<sub>2</sub>, III<sub>3</sub>,

AREA IV:ZONA IV<sub>1</sub>, IV<sub>2</sub>, IV<sub>3</sub>, IV<sub>4</sub>

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

UNIDAD CARTOGRAFICA	ZONACION GEOTECNICA	DESCRIPCION
527, 536, 530, 525, 508, 524, 526	IV <sub>3</sub>	Gravas, arenas, limos, arcillas. Depósitos fluviales y aluviales
545, 548, 543, 518	IV <sub>2</sub>	Gravas, arenas y arcillas. Depósitos poligénicos y de gravedad
523	IV <sub>1</sub>	Arcillas de descalcificación
260, 207	III <sub>3</sub>	Brechas calcáreas, dolomías, calizas y calcarenitas
239, 237, 40, 215	III <sub>2</sub>	Alternancia de areniscas, margas, calcarenitas, calizas y margocalizas
254, 214	III <sub>1</sub>	Margas
191, 167, 165, 133, 125, 113, 107	II <sub>6</sub>	Calizas, dolomías, calcarenitas y brechas calcáreas
135	II <sub>5</sub>	Conglomerados, areniscas y lutitas
184, 190, 186, 187, 185, 166, 139, 126, 115, 114	II <sub>4</sub>	Alternancia de margas, margocalizas, calizas, areniscas y calcarenitas
189, 140, 128	II <sub>3</sub>	Lutitas y margas
109	II <sub>2</sub>	Arcillas yesíferas abigarradas
1	II <sub>1</sub>	Rocas subvolcánicas (Ofitas)

### 7.3.4. Características geotécnicas

#### 1.1.1.3 Introducción

De los materiales que se disponen ensayos se han realizado una caracterización geomecánica utilizando los criterios que se disponen 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. Cuando 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.

Como se dijo con anterioridad, en aquellas Zonas Geotécnicas en las que no se dispone de datos reales, la caracterización geotécnica de los materiales se realiza en función de las características geológicas, geomorfológicas e hidrogeológicas establecidas en capítulos anteriores.

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; 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 siguientes datos:

#### 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.

**Análisis químico**

**-Agresividad**

Se ha determinado la agresividad del terreno mediante el contenido de sulfato, valorado según la normativa que se expone a continuación:

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

**Análisis de Hinchamiento**

**-Expansividad**

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

<b>C.P.V.</b>	<b>Descripción</b>
0 - 2	No crítico

2 - 4	Marginal
4 - 6	Crítico
> 6	Muy crítico

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 con 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 pequeño 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.

Consistencia del terreno según NTE, CEG, 1975

<b>Tensión de rotura a compresión simple en Kg/cm<sup>2</sup></b>	<b>Consistencia</b>
< 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

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

<b>N<sub>30</sub></b>	<b>Compacidad del terreno</b>
< 3	Muy suelto
4 a 10	Suelto
10 a 30	Compacto
20 a 50	Denso
> 50	Muy denso

### Consistencia en arcillas

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

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

#### Módulo de deformación y coeficiente de Poisson

El módulo de deformación, en arcillas sobreconsolidadas se puede obtener, utilizando el valor de la resistencia al corte sin drenaje ( $C_u$ ) 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.

A parte 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 criterios expuestos en los códigos y normas (Código Británico y Norma DIN-1054). En suelos y debido a que no se dispone de datos sobre asientos, éstos han sido estimados, considerando la consistencia media del terreno.

Asimismo, se señala los problemas concretos de cimentación que pueden darse en cada Zona Geotécnica. Los más generalizados van a estar relacionados con asientos 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 y/o escarificador, pero no con pico, como terrenos de tránsito, rocas descompuestas, tierras muy compactas, 2) Medio. Atacable con el pico, pero no con la pala, como arcillas semicompactas, con o sin gravas o gravillas, 3) Blando. Atacable con la pala, como tierras sueltas, tierra vegetal, arenas.

Cuando en la excavación se encuentran mezclados los terrenos se establece el porcentaje de cada uno de los tres tipos.

-Estabilidad

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

En este apartado se evalúa la capacidad de soporte de los materiales para constituir una explanada, es decir, la resistencia que ofrece a la deformación bajo cargas. Esta resistencia dependerá 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 que suelo No Apto, aquel que no puede constituir en desmonte ni en terraplén explanadas tipo E-1 (Suelos tolerables al menos estabilizado en sus 15 cm superiores, con CBR de 5 a 10). Marginales son aquellos que cumplen a veces dicha condición; en especial suele referirse a terrenos tolerables, que no conviene que sean explanadas 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 el nivel freático o suelos potencialmente expansivos; "difícil" designa terrenos blandos o arenosos limpios bajo el nivel freático y; "medio", a suelos firmes, casi rocas blandas, que sólo a veces presentan problemas de nivel freático, con cierta capacidad de autosoporte y sin empujes fuertes.

En 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

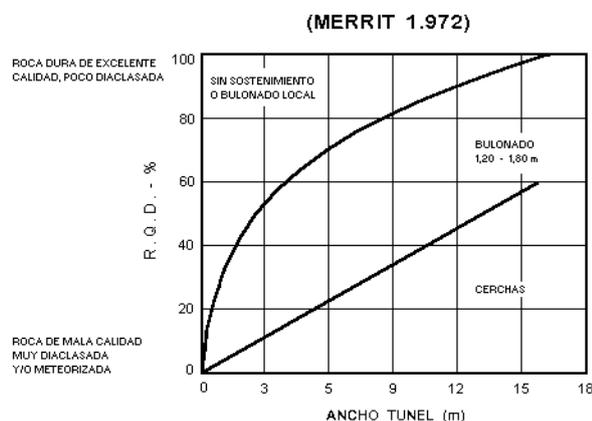
Clase II Roca buena: RMR = 61-80

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).



¡Error! Argumento de modificador no especificado.

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.

#### 1.1.1.4 Area II.

##### Zona II<sub>1</sub>

##### -Localización

Se localizan en afloramientos de pequeña extensión dentro de los materiales en facies Keuper que definen la zona diapírica de Echalecu.

##### -Características litológicas

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

### -Características geotécnicas

Como en otros casos 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, las cargas admisibles para este tipo de rocas en estado sano es de  $109 \text{ kp/cm}^2$ , mientras que la Norma DIN 1054 establece presiones admisibles  $> 30 \text{ kp/cm}^2$ . En los niveles superficiales alterados y degradados, estos valores disminuyen. Por lo tanto, puede considerarse para la Zona II<sub>1</sub>, tomando valores conservadores presiones admisibles superiores a  $80 \text{ kp/cm}^2$ , 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 Terrenos 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 serán necesarios

#### .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 menor a 10, ( $WP < 10$ ) carecen de materia orgánica y de tamaño de partículas > 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 va a ser 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 posible de la capa freática, y el relleno con hormigón de tipo H-50 de las depresiones que contengan agua.

#### .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 espera problemas de sostenimiento, aunque éste dependerá de la abundancia de familias de litoclasas.

### **Zona II<sub>2</sub>**

#### -Localización

Se localizan en un extenso afloramiento de dirección NNO-SSE que definen la zona diapírica de Echalecu, así como dos pequeños afloramientos en el extremo noroccidental de la Hoja.

#### -Características litológicas

Esta zona está definida por depósitos del Triásico superior en facies Keuper. Están constituidas 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, las arcillas del Keuper en superficie 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/cm<sup>2</sup>, esperándose asentamientos 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/cm<sup>2</sup>, esperándose unos asentamientos 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 asentamientos 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. En general 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 muchos 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 II<sub>3</sub>**

### -Localización

Se localizan en afloramientos de extensión variable, dispersos en toda la superficie de la Hoja, coincidiendo con áreas topográficamente deprimidas que presentan relieves en general suavizados.

### -Características geológicas

La Zona II<sub>3</sub> está constituida fundamentalmente por margas, si bien, secundariamente se incluyen arcillas. La integran el conjunto de margas micáceas de carácter euxínico que dan relieves alomados del Aptiense - Albiense, margas limolíticas micáceas que alternan con niveles areniscos a base, del Maastrichtiense, y arcillas y margas del Weald.

### -Características geotécnicas

Unicamente se dispone de ensayos geotécnicos de laboratorio del conjunto formado por arcillas y margas del Weald. No obstante, esta información es extrapolable al conjunto de materiales que definen esta zona ya que en función de sus similares características litológicas, estratigráficas y morfológicas, se espera de ellos un mismo comportamiento geomecánico.

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/cm<sup>3</sup>

Resistencia a compresión simple: 386,33 kp/m<sup>2</sup>

Módulo de Young (E<sub>t</sub>): 107604

Coefficiente de Poisson (ν): 0,13

R.Q.D.: 100%

Se puede decir que se trata de una roca blanda de rápida alteración, por lo que resulta fácil esperar un perfil de alteración importante. Se comportan como suelos de consistencia firme y dura (según 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/cm<sup>2</sup>).

#### -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 coincidirá generalmente con el nivel superficial de alteración, se moverá entre unos valores de 1,3 y 3 kp/cm<sup>2</sup>. En niveles de margas sanas los valores orientativos que aportan el Código Británico oscilan entre 6 y 10 kp/cm<sup>2</sup>, posiblemente superiores dada la resistencia a compresión simple superior a 100 kp/cm<sup>2</sup>, 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 dependerá 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 losas) 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 kp/cm<sup>2</sup>, o bien se deberán recurrir a niveles profundos más resistentes, 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 permiten suponer que tampoco existan problemas de afluencia de agua a las excavaciones.

En general, los problemas de cimentación van a estar 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.

#### b. Condiciones para obras de tierra

##### .Excavabilidad

De acuerdo con los términos designados en la metodología se trata de suelos medios, con una ripabilidad variable entre ripable y no ripable. Los niveles superiores de alteración al tener una estructura más floja y menor consistencia, van a ser 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

Serán variables en función de la degradación del talud y de la protección que se de a la coronación del mismo. Dependerán 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, 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 ofrecerán en principio problemas de sostenimiento (Merrit, 1972) para anchuras de tunelación moderadas.

## **Zona II<sub>4</sub>**

### **-Localización**

Su localización es sencilla, ya que se encuentra ampliamente representada con un extenso área de afloramiento, que supone el 60% de la superficie de la Hoja.

### **-Características geológicas**

La Zona II<sub>4</sub> está constituida por depósitos del Lías superior - Dogger inferior, Purbeck, Aptiense - Albiense y Cretácico superior. Están compuestos por margas, calizas margosas, calizas, areniscas calcáreas y calcarenitas, dando alternancias rítmicas de origen turbidítico en unos casos y facies de plataforma carbonatada en otros. Se trata

de un conjunto de materiales de composición litológica muy variada, que se encuentran mezclados y/o estratigráficamente alternantes, y que no admiten ser individualizados por razones de la escala de trabajo.

#### -Características geotécnicas

La característica fundamental del macizo rocoso que constituye esta Zona lo representa la alternancia de materiales de diferente litología, (y por tanto diferente comportamiento mecánico) en estratos y capas de espesor en general uniforme, factores estos que van a condicionar decisivamente el comportamiento geomecánico del conjunto.

Se dispone en esta ocasión de ensayos de laboratorio realizados en los materiales de la Unidad Geológica 24: Margas y calizas margosas del Campaniense. No obstante, esta información es extrapolable al conjunto de la Zona, ya que se espera de los materiales que los 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 plástico20,2

Índice de plasticidad:21,7

Densidad :2,55 - 2,69 gr/cm<sup>3</sup>

Resistencia a compresión simple:400,2 - 678,5 kp/cm<sup>2</sup>

Módulo de Young (E<sub>t</sub>):159279 - 628287

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

Coeficiente desgaste de los ángulos:28

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

Cohesión:0 - 2 T/m<sup>2</sup>

Angulo rozamiento interno (φ):26 - 30°

% CO<sub>3</sub><sup>=</sup>:38,06 - 79,45%

Se observan unos valores de resistencia a Compresión Simple que oscilan entre medianamente resistentes y resistentes (400 - 700 kp/cm<sup>2</sup>), aunque existe una alta dispersión de resultados con valores extremos que oscilan entre muy blandos (45,6 kp/cm<sup>2</sup>) y muy resistente (1030 kp/cm<sup>2</sup>). Se puede considerar por tanto, que en estado sano, estas rocas presentan una resistencia a Compresión Simple del orden de 250 - 300 kp/cm<sup>2</sup> y un R.Q.D. bueno, aunque una vez excavada sufre 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 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 su comportamiento en explanadas se considera de regular a malo. Presentan 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 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  $20 \text{ kp/cm}^2$  de presión admisible, valores estos que deben reducirse a la mitad si aumenta el grado de diaclasado a 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  $20 \text{ kp/cm}^2$ . Puede 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  $10 \text{ kp/cm}^2$ . 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/o 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 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 serán en general ripables 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  $54^{\circ}$  (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 entre otras, la de perfilar estos taludes a  $35^{\circ}$  -  $40^{\circ}$  (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  $45^{\circ}$  (1V: 1H) van a presentar 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 explanación en carreteras

En terraplenes y pedraplenes, las margas y margocalizas se consideran No Aptas para su utilización en coronación de los mismos.

En desmontes, la categoría de explanada en roca en 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 con hormigón de tipo H-50 de las depresiones que contengan agua. En el caso de terrenos margosos o margocalcáreos, la categoría de explanada en roca puede constituir la E-3, precisando para ello, 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 encuadran entre las Clases III (Calidad media) y Clase 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 II<sub>5</sub>

### -Localización

Se localizan en un único afloramiento situado en el Cerro de Unzateigañe, en el extremo noroccidental del área de estudio. Su marcado carácter detrítico determina una mayor resistencia y por tanto, un mayor resalte morfológico que los materiales que le rodean.

### -Características geológicas

Desde el punto de vista geológico, la Zona II<sub>5</sub> está constituida por los materiales de la Unidad Geológica 12, de edad Aptiense - Albiense. Se trata de un conjunto de conglomerados y areniscas de grano grueso y naturaleza silíceas, ocasionalmente con restos carbonosos. En general, hacia techo se encuentran más alterados y presentan un mayor número de superficies ferruginosas.

#### -Características geotécnicas

Como en casos anteriores, 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, se puede establecer de modo orientativo que la resistencia a compresión simple en los terrenos superficiales puede ser baja (limolítico-arcillosos) (60 - 200 kp/cm<sup>2</sup>), mientras que terrenos más profundos, pueden, considerarse como medianamente resistentes (250-500 kp/cm<sup>2</sup>).

#### -Características constructivas

##### a. Condiciones de cimentación

La Norma DIN 1054 da cargas admisibles para roca quebradiza o con huellas de alteración en un medio diaclasado iguales a 10 kp/cm<sup>2</sup>, valor este que puede considerarse como válido siempre que la cimentación se realice previa eliminación del recubrimiento superficial y de los niveles superiores más alterados. Además se supone un espesor mínimo de areniscas del orden de dos veces el grosor de cimentación por debajo de la cota de éstas, ante la transmisión de esfuerzos o la posible presencia de niveles arcillosos intercalados que pueden dar lugar a asentamientos totales o diferenciales no admisibles.

Los posibles problemas de cimentación están en relación con un comportamiento mecánico desigual de los materiales, como consecuencia del grado diaclasado y alteración de las areniscas, y de la distribución y espesor de los niveles arcillosos.

##### b. Condiciones para obra de tierra

.Según los criterios descritos en la metodología los niveles más superficiales de areniscas, por su alteración y diaclasado son ripables, pero en profundidad, precisarán

el empleo de explosivos para su excavación. Las superficies de alteración superficial se consideran como terrenos Medios.

.Estabilidad de taludes

En general, los taludes naturales sobre el conjunto de conglomerados y areniscas no ofrecen ningún tipo de inestabilidad, mientras que sobre el conjunto limolítico-arcilloso superior pueden producirse fenómenos de reptación.

La estabilidad de los taludes artificiales dependerá del grado de alteración y de la orientación espacial de los planos de diaclasado en las areniscas. En los tramos arcillosos, los taludes artificiales se degradan con el tiempo por la acción de procesos morfogenéticos (acarcavamiento, escorrentía, etc.).

.Empuje sobre contenciones

Las contenciones serán necesarias en los tramos arcillosos y en zonas de alteración fuerte de las areniscas. Pueden esperarse empujes de tipo medio.

.Aptitud para préstamos

De acuerdo con el P.P.T.G., los conglomerados y areniscas son rocas adecuadas para su uso en pedraplenes siempre que no se encuentren alterados y cumplan determinadas especificaciones relativas a granulometría y forma de las partículas. Por el contrario, limos y arcillas son considerados como No Aptos o a lo sumo marginales.

.Aptitud para explanada en carreteras

Los recubrimientos superficiales y niveles arcillosos se considerarn suelos No Aptos y Marginales. En el caso de conglomerados y areniscas hay que distinguir entre pedraplenes y desmontes. En el primer caso, la categoría de la explanada va a depender de las características del material utilizado para la coronación. En desmontes la categoría de explanada en roca corresponde a la E-3, es decir, suelos adecuados y seleccionados.

Se recomienda el relleno de las depresiones que existan y que retengan agua con hormigón de tipo H-50. La explanada tendrá la regularidad inclinación 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

Es difícil estimar el grado de fracturación y estado de las diaclasas en profundidad. No obstante, atendiendo a la Clasificación de Bieniawski, puede considerarse en conjunto como un terreno de Clase III (Media).

### Zona II<sub>6</sub>

#### -Localización

Incluye los materiales carbonatados que con una dirección NO-SE afloran en el paraje de Dos Hermanas, así como los niveles calcareníticos santonienses y maastrichtienses que se disponen en extensas bandas a lo largo de toda la superficie de la Hoja. Se incluyen también los materiales carbonatados en facies Muschelkalk que afloran en la zona diapírica de Echalecu englobados por las arcillas del Keuper.

#### -Características litológicas

Esta zona está integrada por materiales carbonatados duros del Mesozoico. Se han agrupado un amplio conjunto de unidades geológicas que presentan unas características litológicas, estratigráficas y morfológicas similares, y que por tanto, van a presentar un comportamiento geomecánico parecido. Se incluyen calizas y dolomías tableadas en facies Muschelkalk calizas, dolomías y brechas calcáreas del Triásico superior - Lías inferior, calizas masivas que dan importantes resaltes morfológicos, del Bathoniense - Oxfordiense, calizas arrecifales urgonianas de aspecto masivo y con una importante expresión morfológica en el paisaje, y brechas calcáreas, calizas y calcarenitas del Cretácico superior.

#### -Características geotécnicas

Se dispone en este caso de ensayos de laboratorio únicamente del conjunto formado por la Unidad Geológica 14: Calizas arrecifales masivas del Urgoniano (Aptiense - Albiense). No obstante, estos datos son extrapolables al conjunto de materiales que definen la Zona II<sub>6</sub>, ya que como se ha dicho anteriormente, se espera de ellos un mismo comportamiento geomecánico.

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/cm<sup>3</sup>

Resistencia Compresión Simple:297,2 - 894,2 kp/cm<sup>2</sup>

Módulo de Young (E<sub>t</sub>):234047 - 541933

Coefficiente de Poisson (ν):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/cm<sup>2</sup>) a resistente (500-1000 kp/cm<sup>2</sup>). 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  $40 \text{ kp/cm}^2$ , mientras que la Norma DIN 1054 recomienda valores en torno a los  $30 \text{ kp/cm}^2$ .

En la práctica habitual pueden considerarse cargas superiores a  $10 \text{ kp/cm}^2$  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 en principio necesario el empleo de losas a no ser que las características particulares del edificio (altura) o del terreno (carstificación) así lo aconseje.

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 precisará 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, por que pueden producirse desprendimientos importantes.

##### .Empuje sobre contenciones

Las contenciones no serán necesarias.

##### .Aptitud para préstamos

Según el PPTG este tipo de materiales carbonatados duros (calizas, dolomías, brechas, etc.) 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 con hormigón de tipo H-50 de las depresiones que contegan agua.

.Obras subterráneas

Según la Clasificación de Bieniawski, estos materiales se encuadran entre la Clase II y Clase III: Rocas medias (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.

#### 1.1.1.5 Area III

### **Zona III<sub>1</sub>**

#### -Localización

Esta Zona aflora a lo largo de una estrecha banda de dirección E-W en el cuadrante suroriental. Asimismo constituye los depósitos margosos que afloran bordeando el Cerro de San Bartolomé, muy próximo al límite meridional de la Hoja.

#### -Características geológicas

Está constituida exclusivamente por margas, definiendo un conjunto de pobre expresión morfológica en el paisaje, donde los afloramientos son escasos y de mala calidad al estar normalmente cubiertos. Se pueden reconocer dos grandes grupos: el primero abarca los depósitos del Thanetiense - Luteciense y corresponden a margas de naturaleza turbidítica con algunas intercalaciones centimétricas de niveles calcareníticos. El segundo conjunto está formado por margas grises nodulares de plataforma, del Biarritziense.

#### -Características geotécnicas

Se dispone de una amplia relación de ensayos de laboratorio de la Unidad Geológica 82: Margas de Pamplona, materiales éstos que se encuentran extensamente caracterizados en multitud de estudios geotécnicos. Estos datos son extensibles al conjunto de los materiales de la Zona, ya que su misma composición litológica y comportamiento mecánico no permite una diferenciación clara entre ellos.

De los ensayos recopilados se disponen datos de los niveles sanos y alterados, por lo que hacemos referencia 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/cm<sup>3</sup>

Densidad seca (margas alteradas):1,70 - 1,87 gr/cm<sup>3</sup> 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/cm<sup>3</sup>

Densidad Proctor (margas alteradas):161 - 12,04 gr/cm<sup>3</sup>

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/cm<sup>2</sup>

Resistencia a compresión simple (margas alteradas): 1,5 - 4,5 Kp/cm<sup>2</sup>

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

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

Coefficiente 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

Humedad11,2 - 21,3%

Densidad seca:0,84 - 2,13 gr/cm<sup>2</sup>

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, unido 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 queda retenido 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 comprendida entre 2 y 6 kp/cm<sup>2</sup>, 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 (0,8 kp/cm<sup>2</sup>) muy bajos 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<sup>2</sup>.

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 preven cambios de humedad importante 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/cm<sup>2</sup>. 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/cm<sup>2</sup>, posiblemente superior dada la resistencia a compresión superior en muchos casos a los 100 kp/cm<sup>2</sup>, pero que 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 dependerá del espesor del horizonte superficial y del grado de disgregación del material. En general serán de tipo superficial (zapata o losa) o semiprofunda mediante pozos. Para edificios bajos de más 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/cm<sup>2</sup>, 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 produzca 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 van a estar relacionados con variaciones importantes de espesor del horizonte alterado que, como ya se ha dicho, puede 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 obligará en muchos casos a adoptar medidas encaminadas a mitigar los efectos de la erosión superficial y 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, 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 precisarán 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 III<sub>2</sub>**

#### **-Localización**

Se localiza en los términos de Beorburu y Eguaras, en el sector suroriental de la Hoja. Su naturaleza calcárea determina una buena expresión morfológica en el paisaje, de manera que junto con los materiales de la Zona III<sub>3</sub> definen un área elevada topográficamente, con una dirección general E-O.

#### **-Características geológicas**

La Zona III<sub>2</sub> está constituida por depósitos del Paleoceno superior (Thanetiense) y del Eoceno inferior y medio (Ilerdiense - Biarritziense). Están formados por arcillas, margas,

calizas, calizas margosas, areniscas y calcarenitas que se disponen dando alternancias de naturaleza turbidítica en unos casos, y facies de plataforma externa en otros. Se trata de un conjunto de materiales de composiciones litológicas muy variables y 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 todo ello 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 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 estratigráficos y diaclasados, una presión admisible de  $20 \text{ kp/cm}^2$ , valores estos que deben reducirse a la mitad cuando 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  $20 \text{ kp/cm}^2$ . De esta forma y tomando valores conservadores, se estima que la capacidad portante de estos materiales se sitúa entre  $6$  y  $10 \text{ kp/cm}^2$ ,

valores estos suficientes para el caso de edificios habituales en los que las cargas proyectadas son inferiores a 3 - 4 kp/cm<sup>2</sup>.

El tipo de cimentación será en general, superficial, previa la eliminación del recubrimiento superficial de alteración. Se recomienda 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 (asientos diferenciales) que se producen por la presencia de niveles margosos blandos intercalados entre materiales más competentes.

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 de materiales, 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 pueden provocar la inestabilidad de los mismos. En estos casos 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 si la estratificación se encuentra a favor o no del plano del talud y de 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

Serán 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 III<sub>3</sub>**

#### **-Localización**

Aflora a lo largo de una estrecha banda de dirección E-O en el cuadrante suroriental, que define un importante resalte morfológico en el paisaje. Asimismo constituye los depósitos calcareníticos que conforman el Cerro de San Bartolomé, muy próximo al límite meridional de la Hoja.

#### **-Características geológicas**

Esta zona 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. Se incluye un conjunto de edad Daniense - Montiense de calizas bioclásticas y dolomías de plataforma externa somera, al que le suceden bancos de areniscas, brechas calcáreas y calcarenitas que forman parte de las diferentes secuencias turbidíticas (megaturbidíticas) que tuvieron lugar desde el Thanetiense (Paleoceno inferior) al Biarritziense (Eoceno medio).

#### -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 II<sub>6</sub>, 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 (calizas y dolomías del Daniense - Montiense; Calcarenitas del Luteciense superior - Biarritziense inicial). 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  $40 \text{ kp/cm}^2$ , mientras que la Norma DIN 1054 recomienda valores en torno a los  $30 \text{ kp/cm}^2$ . En aquellos casos donde el grado de fracturación y/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 unos materiales Duros. Su excavación precisará 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.

#### 1.1.1.6 Area IV

### **Zona IV<sub>1</sub>**

#### **-Localización**

Se localizan en multitud de pequeños afloramientos distribuidos a lo largo del dominio Cretácico en toda la superficie de la Hoja. Se presentan rellenando fondos de dolinas, uvalas y otras formas menores del carst.

#### **-Características geológicas**

Esta zona 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, uvalas y formas menores del carst.

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 rellena.

Desde el punto de vista hidrogeológico se estima que presentan una permeabilidad baja a muy baja, debido a su carácter predominantemente arcilloso, dato este 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 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/cm<sup>2</sup>, esperándose asentamientos 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 es del orden de 2,5 - 3 kp/cm<sup>2</sup>, esperándose asentamientos 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 (zonas de recarga del carst: dolinas, sumideros, etc.) 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 podrá realizarse por medios mecánicos sin ningún tipo de problemas.

###### .Estabilidad de taludes

En general van a depender de la extensión del afloramiento y del espesor de los materiales (normalmente pequeño). Pueden producirse pequeños deslizamientos de carácter superficial.

###### .Empuje sobre contenciones

Serán 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 IV<sub>2</sub>**

### **-Localización**

Los materiales coluvionares aparecen fundamentalmente al pie de los valles y barrancos principales, interdentando sus depósitos con los de conos de deyección y fondos de valle. También pueden encontrarse a media ladera (proximidades de Zarranz). Los canchales aparecen a pie de los principales escarpes, y las masas deslizadas en zonas de alta pendiente y sobre litologías blandas (recubrimientos superficiales y zonas de alteración) o alternantes.

### **-Características geológicas**

Los materiales de la Zona IV<sub>2</sub> corresponden a depósitos cuaternarios contituidos por canchales, coluviones, deslizamientos y formas poligénicas (glacis de acumulación y de cobertera). Desde un enfoque litológico, son depósitos 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 van a formarse a partir de

recubrimientos coluvionares, zonas de alteración superficial y litologías blandas o alternantes.

Aunque en conjunto son depósitos relativamente frecuentes desarrollan un escaso espesor (3 - 7 m). Presentan un carácter errático.

#### -Características geotécnicas

Se trata de depósitos escasamente consolidados, donde los problemas geotécnicos van a estar condicionados con la disposición geomorfológica y estratigráfica de los materiales. En esta ocasión se dispone de ensayos geotécnicos procedentes de catas realizadas en depósitos coluviales. 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/cm<sup>3</sup>

Humedad22%

% pasa tamiz nº 200:68%

Límite líquido:55

Índice plasticidad:35

Densidad máxima Proctor:1.583 gr/cm<sup>3</sup>

Humedad óptima Proctor:22,5%

Índice 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 permite clasificar estos materiales como No Críticos. No obstante, es aconsejable investigar este parámetro mecánico si se preven cambios de humedad importantes de los materiales que vayan a soportar una cimentación determinada.

Desde el punto de vista hidrogeológico, estos depósitos van a carecer en conjunto de un nivel freático continuo.

#### -Características constructivas

##### a.Condiciones de cimentación

A falta de ensayos geotécnicos puntuales que nos permitan caracterizar los distintos tipos morfológicos de 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/cm<sup>2</sup>. 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 van a estar 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 podrá realizarse por medios mecánicos sin dificultad.

###### .Estabilidad de taludes

En depósitos aluviales, 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, serán necesario la extensión sobre ellos de un firme de 50 cm de Suelo Seleccionado con C.B.R.  $\geq 20$  o bien, 35 cm de Suelo Adecuado y 15 cm más por encima 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 IV<sub>3</sub>**

#### **-Localización**

Constituyen los depósitos fluviales y aluviales de los principales valles y barrancos de la Hoja, alcanzando su máxima expresión en el río Arquil.

#### **-Características geológicas**

Los materiales de la Zona IV<sub>3</sub> corresponden a depósitos cuaternarios constituidos por llanuras de inundación, cauces abandonados, abanicos aluviales, conos de deyección y depósitos de fondo de valle. Se incluyen también en este grupo, por presentar unas

características morfológicas (pendiente suave) y litológicas similares, los depósitos aluviales - coluviales.

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 fino; 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 dependerá del área madre de donde proceden.

#### -Características geotécnicas

En general, se trata de depósitos escasamente consolidados, donde los problemas geotécnicos están condicionados a la disposición geomorfológica y estratigráfica. En esta ocasión se dispone de ensayos geotécnicos procedentes de catas realizadas en la Unidad Geológica 95: Arcillas, arenas y gravas (aluvial - coluvial). Esta información no puede hacerse extensiva a los materiales que definen la Zona. 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:1,63 gr/cm<sup>3</sup>

Humedad16%

% pasa tamiz nº 200:68%

Límite líquido:50

Índice plasticidad:29

Densidad máxima Proctor:1,64 gr/cm<sup>3</sup>

Humedad óptima Proctor:16,4%

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

Indice 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 que queda 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, precisarán 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 permite 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, en áreas de llanuras de inundación, 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 realizará bien por escorrentía (zonas de baja permeabilidad), infiltración (terrazas) o por la unión combinada de ambos (depósitos de fondos de valle).

Son unos materiales de fácil excavación, que presentan una capacidad de carga de baja a media, valor éste que varía en función del tamaño del grano, 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 del nivel freático somero, que origina en muchas ocasiones problemas de agotamiento. En estos casos se hará necesario el empleo de drenajes y 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  $\text{kp}/\text{cm}^2$ . En los niveles de gravas, suponiendo un espesor de las mismas no inferior al ancho de la zapata y en ausencia del nivel freático, se pueden considerar presiones admisibles entre 2,5 - 3,5  $\text{kp}/\text{cm}^2$ , valores estos que quedan reducidos a 1,5 - 2,1  $\text{kp}/\text{cm}^2$  en presencia de nivel freático. Así, para el conjunto de los materiales que definen la Zona IV<sub>3</sub> se estima una capacidad portante variable entre 1 y 3,5  $\text{kp}/\text{cm}^2$  dependiendo de que se trate de un limo de consistencia más o menos rígida a una grava de compacidad alta.

No obstante, cuando no se reúnen las condiciones anteriores, las cargas proyectadas sean superiores a las dadas, o también, cuando nos encontremos con 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 estos 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 van a estar relacionados con la posición del nivel freático, que pueden 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 pueden provocar asientos diferenciales no admisibles.

##### b. Condiciones para obras de tierra

.Excavabilidad

En general, todos los materiales que definen la Zona IV<sub>3</sub>, 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 pequeñas de 2-3 m; para alturas mayores deben proyectarse taludes 3H: 4V, tomando eventualmente medidas correctoras.

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

#### .Empujes sobre contenciones

En áreas de predominio de materiales finos serán de tipo Medio. En zonas de gravas variarán de Altos a Bajos en función de la presencia o no 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 gruesos (8-10 cm).

#### .Aptitud para explanada en carreteras

Los depósitos de terraza se consideran entre Aptos y Marginales. Los materiales aluviales en general, se consideran Marginales.

#### .Obras subterráneas

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

### **Zona IV<sub>4</sub>**

#### -Características geológicas

Esta zona está definida por depósitos antrópicos constituidos por vertidos procedentes de derribos y desmontes, así como por escombreras y almacenamientos abandonados de áridos y explotaciones mineras. Son depósitos que por su naturaleza presentan un marcado carácter errático.

#### -Características geotécnicas

En esta ocasión no se dispone de ensayos de laboratorio. No obstante, se puede decir que la marcada erraticidad de sus propiedades geomecánicas como consecuencia de la naturaleza de los materiales y de su heterogénea distribución, determina unos valores de compresibilidad medios - altos según los criterios establecidos en la metodología.

Desde el punto de vista hidrogeológico, son materiales permeables en su conjunto, aunque pueden desarrollarse zonas saturadas por encima de vertidos impermeables. Asimismo pueden producirse fenómenos de subsidencia por procesos de compactación progresiva.

#### -Características constructivas

##### a. Condiciones de cimentación

Los materiales que integran esta zona, no deben constituir en principio, terrenos de cimentación debido a la baja resistividad que se les supone. No obstante, sí sobre ellos se realizasen obras de cimentación, éstas deberían asentarse sobre el sustrato rocoso mediante el empleo de pozos o pilares. También, después de un estudio previo detallado y con una mejora del terreno podría ser de tipo superficial, siempre que las cargas proyectadas sean inferiores a  $1 \text{ kp/cm}^2$

##### b. Condiciones para obras de tierra

###### .Excavabilidad

Se trata de Terrenos Blandos - Medios, fácilmente excavables.

###### .Estabilidad de taludes

Los taludes que se observan se mantienen estables. Se estima que los taludes definitivos no deberían superar ángulos de  $30^\circ$ .

###### .Empuje sobre contenciones

Su magnitud dependerá de la naturaleza de los materiales. En general deben considerarse medios - altos.

.Aptitud para préstamos

Se trata de materiales No Aptos. Puntualmente, en el caso de escombreras o almacenamiento de áridos, según los términos que recoge la metodología, podrían considerarse aptos dependiendo de su naturaleza.

.Aptitud para explanada en carreteras

Por su composición y heterogeneidad se consideran No Aptos. Precisarán la extensión sobre ellos de una explanada mejorada.

.Obras subterráneas

En función de la Clasificación de Bieniawski, los materiales de esta Zona se encuadrarían en la Clase V: Roca muy Mala (RMR = 20). La ejecución de obras subterráneas requeriría el empleo de métodos especiales.

## 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<sup>o</sup> 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 paléontologiques 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 - Zefferfeld.

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-sédimentaire et mégaturbidites du bassin turbiditique éocène sud-pyrénéen.

Thèse 3<sup>ème</sup> cycle, USTL, Montpellier, 170 p.

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

1983

Mégaturbidites carbonatées du bassin turbiditique de l'Eocène inférieur et moyen sud-pyrénéen.

Bull. Soc. Géol. France, (6), 25 pp.

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

1987

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

Letters 7 pp. 91-101.

LABAUME, P.; SEGURET, 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 navarraises.

C.R. XIV<sup>o</sup> Congr. Geol. Intern., T. 2, p. 693-698, Madrid.

LAMARE, P.

1931

Sur l'âge des couches à faciès flysch de la zone sudpyrénéenne en Navarre.

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. Paris.

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).

Intern. 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, Paris.

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.

94° 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. Proyect 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 Bartoniense 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 region d'Elizondo (Nav., Espag.).

These de l'Université de Besangou, pp. 172.