



**Gobierno de Navarra**

Departamento de Obras Públicas,  
Transportes y Comunicaciones

CARTOGRAFÍA GEOLÓGICA DE NAVARRA

ESCALA 1:25.000

**HOJA 175-I**

**TIERMAS**

MEMORIA

---

La presente Hoja y Memoria, ha sido realizado por "Informes y Proyectos, S.A. (INYPSA)", durante el año 1997, con normas, dirección y supervisión del Gobierno de Navarra, habiendo intervenido en ella los siguientes técnicos:

**Dirección y Supervisión (Gobierno de Navarra)**

Faci Paricio, Esteban

Dirección del Proyecto

**Autores y Colaboradores**

López Olmedo, Fabian (INYPSA)

Cartografía y Memoria

Solé Pont, Javier (INYPSA)

Cartografía y Memoria

Gil Gil, Javier (INYPSA)

Memoria

Cabra Gil, Pilar.

Geomorfología

Juan Jose Gomez

Sedimentología

Alfredo Garcia de Domingo

Geología regional

Alberto Diaz de Neira

Geología regional

**.ÍNDICE**

<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>2. ESTRATIGRAFIA .....</b>	<b>4</b>
2.1. CRETACICO .....	4
2.1.1. Crétacico superior .....	4
2.1.1.1. Margas y margocalizas grises. (185). Campaniense - Maastrichtiense .....	5
2.1.1.2. Calcarenitas y calizas arenosas con intercalaciones de areniscas hacia techo.(191). Campaniense - Maastrichtiense.....	6
2.1.1.3. Areniscas y conglomerados. Areniscas de Arén.(192). Maastrichtiense .....	7
2.1.1.4. Lutitas rojas. Facies Garumniense. (201). Maastrichtiense superior-Daniense inferior8	
2.1.2. Análisis secuencial y paleogeografico del Cretácico superior.....	9
2.2. Terciario Marino .....	10
2.2.1. Paleoceno - Ilerdiense .....	11
2.2.1.1. Dolomías ocre y grises. (204). Daniense - Thanetiense inferior.....	11
2.2.1.2. Calizas grises con Alveolinas. Nivel (211). Thanetiense superior - Ilerdiense .....	12
2.2.2. Eoceno.....	14
2.2.2.1. Calizas ocre y grises de aspecto masivo. Calizas de Guara.(215). Cuisiense superior - Luteciense inferior .....	15
2.2.2.2. Alternancia de margas y margocalizas y ocre. Ritmita. Nivel (212). Cuisiense superior. Luteciense inferior .....	17
2.2.2.3. Margas y areniscas. Turbiditas. Grupo de Hecho.(218). Luteciense superior.....	18
2.2.2.4. Margas grises. Margas de Pamplona. (267). Bartonense .....	18
2.2.2.5. Margas grises con algunas intercalaciones de areniscas. (271). Alternancia de areniscas ocre y lutitas, (272) "Turbiditas de Yesa". Bartonense - Priabonense inferior .....	20
2.2.2.6. .Margas y lutitas rojas con pequeñas intercalaciones de areniscas. "Margas Fajeadas".(278). Priabonense superior.....	23
2.2.2.7. Areniscas ocre y lutitas grises (279) y Areniscas ocre y lutitas rojas (280). Areniscas de Liédena. Priabonense superior - Headonense.....	26
2.2.3. Análisis secuencial y paleográfico del Paleógeno marino (Paleoceno - Eoceno). .....	28
2.3. Terciario Continental. ....	31
2.3.1. Oligoceno.....	34
2.3.1.1. Alternancia irregular de lutitas rojas y ocre y areniscas con intercalaciones de calizas margosas (304) y Areniscas y lutitas rojas (305). "Areniscas y lutitas de Javier". Headonense - Sueviense. ....	34
2.4. Cuaternario .....	37
2.4.1. Pleistoceno .....	37

2.4.1.1.	Lutitas rojas con cantos. Arcillas de descalcificación (523). Pleistoceno-Holoceno. ...	37
2.4.1.2.	Gravas, arenas y lutitas con cantos y bloques. Glacis de acumulación (519).	
	Pleistoceno.....	38
2.4.1.3.	Gravas, arenas y lutitas con cantos y bloques. Terrazas. (508). Pleistoceno-Holoceno.	
	39	
2.4.2.	Holoceno.....	40
2.4.2.1.	Bloques y cantos con margas y lutitas. Coluviones de bloques (547). Holoceno. ....	40
2.4.2.2.	Lutitas con cantos y bloques. Coluviones (543). Holoceno .....	40
2.4.2.3.	Lutitas con cantos y bloques en ocasiones cementados. Conos aluviales (536)	
	Holoceno. 41	
2.4.2.4.	Lutitas y cantos. Aluvial-Coluvial. (537). Holoceno.....	41
2.4.2.5.	Lutitas, arenas y cantos. Fondos de valle (527). Holoceno. ....	42
2.4.2.6.	Se asigna estos depósitos por su relación con la red fluvial actual al Holoceno Gravas arenas y cantos. Cauces activos (526). Holoceno .....	42
<b>3.</b>	<b>TECTÓNICA.....</b>	<b>43</b>
3.1.	CONSIDERACIONES GENERALES .....	43
3.2.	DESCRIPCIÓN DE LAS PRINCIPALES ESTRUCTURAS .....	46
3.2.1.	Discordancias .....	46
3.2.2.	Pliegues .....	48
3.2.3.	Fallas y Cabalgamientos.....	50
3.3.	CRONOLOGÍA DE LA DEFORMACIÓN .....	52
<b>4.</b>	<b>GEOMORFOLOGÍA .....</b>	<b>55</b>
4.1.	SITUACIÓN GEOGRÁFICA .....	55
4.2.	ANTECEDENTES .....	56
4.3.	ANÁLISIS MORFOLÓGICO.....	56
4.3.1.	Estudio morfoestructural .....	56
4.3.2.	Estudio del modelado .....	58
4.3.2.1.	Formas fluviales .....	58
4.3.2.2.	Formas de ladera .....	59
4.3.2.3.	Formas kársticas .....	60
4.3.2.4.	Formas poligénicas .....	60
4.4.	FORMACIONES SUPERFICIALES .....	61
4.5.	EVOLUCIÓN GEOMORFOLÓGICA.....	65
4.6.	PROCESOS ACTUALES .....	66
<b>5.</b>	<b>HISTORIA GEOLÓGICA.....</b>	<b>68</b>

<b>6. GEOLOGÍA ECONÓMICA .....</b>	<b>74</b>
6.1. RECURSOS MINERALES.....	74
6.1.1. Minerales metálicos y no metálicos.....	74
6.1.1.1. Cobre.....	74
6.1.1.2. Hierro .....	74
6.1.2. Minerales energéticos. ....	75
6.1.3. Minerales y Rocas Industriales. ....	75
6.1.3.1. Sales potásicas. ....	75
6.1.3.2. Sal común. ....	77
6.1.3.3. Calizas .....	77
6.1.3.4. Areniscas. ....	77
6.1.3.5. Aguas minero-medicinales.....	77
6.2. HIDROGEOLOGIA .....	78
6.2.1. Descripción de las formaciones .....	78
6.2.1.1. Margas y margocalizas. Campaniense-Maastrichtiense. ....	78
6.2.1.2. Calcarenitas y areniscas, conglomerados silíceos a techo. Campaniense-Maastrichtiense. ....	79
6.2.1.3. Lutitas. Garumniense.....	79
6.2.1.4. Calizas y calcarenitas, dolomías en la base. Paleoceno- Luteciense inferior. ....	80
6.2.1.5. Margas y margocalizas. Cuisiense-Luteciense inferior.....	80
6.2.1.6. Margas y margocalizas , localmente con intercalaciones de areniscas. Eoceno medio y superior. 81	
6.2.1.7. Areniscas bioclásticas. Priaboniense inferior.....	82
6.2.1.8. Areniscas tableadas y lutitas. Priaboniense .....	82
6.2.1.9. Lutitas y Areniscas. Oligoceno.....	83
6.2.1.10. Areniscas y lutitas. Oligoceno-Mioceno .....	83
6.2.1.11. Gravas, arenas y limos.Cuaternario.....	84
6.2.1.12. Arcillas con bloques y cantos, y arenas.Cuaternario .....	84
6.2.1.13. Arcillas, arcillas con cantos dispersos y lutitas margosas. Cuaternario. ....	84
6.2.2. Unidades acuíferas. ....	85
6.2.2.1. Calcarenitas, areniscas y conglomerados silíceos del Cretácico superior, dolomías, calizas y calcarenitas del Paleoceno y Eoceno inferior y medio. Unidad de Leyre. ....	85
6.2.2.2. Areniscas tableadas. Areniscas de Liédena. Priaboniense superior-Headoniense. ....	87
6.2.2.3. Areniscas y lutitas. Formaciones permeables del Terciario continental. Oligoceno.Formaciones permeables del terciario continental. Oligoceno.....	89
6.2.2.4. Gravas, arenas y limos. Formaciones permeables del Cuaternario. ....	90
6.3. GEOTECNIA.....	91
6.3.1. Introducción .....	91
6.3.2. Metodología.....	91

6.3.3.	Zonificación geotécnica .....	93
6.3.3.1.	Criterios de división .....	93
6.3.3.2.	División en Áreas y Zonas Geotécnicas.....	94
6.3.3.3.	Área I .....	100
6.3.3.4.	Área II .....	106
6.3.3.5.	Área III .....	121
6.3.3.6.	Área IV .....	127
<b>7.</b>	<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>135</b>

## 1. INTRODUCCIÓN

La Hoja a escala 1:25.000 de Tiermas (175-I), incluida en la Hoja a escala 1:50.000 de Sigüés, se localiza al Este de Navarra en el límite ya con la Comunidad Autónoma de Aragón, concretamente con la provincia de Zaragoza. Desde el punto de vista fisiográfico se encuentra situada en el sector meridional de la zona surpirenaica, concretamente abarcando un área delimitada por los relieves de la Sierra de Leyre al norte y la canal de Berdún al sur, esta última cubierta en parte por el embalse de Yesa.

La Sierra de Leyre se sitúa entre los valles del Roncal y Salazar y conforma las estribaciones más meridionales del Pirineo navarro-aragones en este sector y en ella se localiza la máxima elevación de la Hoja y de la sierra, concretamente el pico Escalar (1.200 m.), en el paraje conocido como Vallenegra y desde donde se observa una interesante panorámica de toda la región.

Por el contrario las cotas más bajas se localizan junto a la cerrada de Yesa, entorno a los 500 m de altitud ya en el sector más occidental de la canal de Berdún, depresión alargada de dirección este-oeste por la que discurre, aunque se encuentra embalsado, el río Aragón y en la que confluyen también otros afluentes de procedencia pirenaica. No obstante a ambos lados de la Sierra de Leyre se observa una disminución altimétrica, más acusada hacia el sur que hacia el norte.

La densidad de población es muy baja, prácticamente nula, encontrándose esta muy diseminada. Solo se localizan en la Hoja dos localidades, en la actualidad abandonadas: Ruesta y Tiermas, esta última dando nombre a la Hoja. La cerrada del embalse de Yesa se localiza en el límite más occidental de la cuadrícula.

La principal ocupación de la escasa población de la zona son las actividades rurales, principalmente la agricultura y ganadería, siendo nulo el desarrollo industrial. Las vías de comunicación discurren por la canal de Berdún siendo el principal eje la carretera que une Pamplona con Jaca, de donde parte también los accesos al valle del Roncal.

Desde el punto de vista geológico la zona estudiada se enmarca en las estribaciones meridionales del Pirineo occidental o navarro, unidad fisiográfica que forma parte de esa importante cadena montañosa lineal que se extiende desde el

Mediterráneo hasta el Cantábrico estructurada en un cinturón de pliegues y cabalgamientos de orientación aproximada E-O con vergencia meridional y desarrollada desde finales del Cretácico superior y hasta finales del Mioceno inferior como consecuencia de la colisión de las placas ibérica y europea. La cadena presenta una elevada simetría con respecto a su franja central, denominada Zona Axial en la que afloran los materiales más antiguos, paleozoicos, constituidos por rocas plutónicas y metamórficas, que conforman el zócalo regional. Flanqueando a la Zona Axial se disponen las Zonas Nor y Surpirenaica, constituidas por materiales mesozoicos y cenozoicos que integran la cobertura. Esta última zona cabalga sobre la Depresión del Ebro, que constituye la cuenca de antepaís del orógeno pirenaico y se encuentra rellena por sedimentos neógenos postorogénicos.

A grandes rasgos el Pirineo en el sector estudiado se ha dividido clásicamente según una transversal N-S y de acuerdo a sus características fisiográficas y geológicas en Sierras Interiores y Sierras Exteriores.

Las Sierras Interiores están constituidas por la Zona Axial y una cobertura muy potente mesozoica y paleógena marina imbricada hacia el sur, constituida fundamentalmente por materiales carbonatados y margosos. Las Sierras Exteriores, las más meridionales de todas cabalgan a la Cuenca del Ebro y presentan características estratigráficas similares a las Interiores, aunque las series son mucho menos potentes. Entre ambas se desarrolla una importante estructura: el sinclinal de Guarga, constituido por potentes series detríticas paleógenas continentales.

La zona objeto de estudio se localiza en las estribaciones meridionales de las Sierras Interiores, entre los valles del Roncal y Salazar, constituyendo la Sierra de Leyre la lámina cabalgante aflorante más baja de dicha unidad morfoestructural. Esta lámina de dirección E-O cubre a las margas eocenas que constituyen el relleno de la cuenca de Jaca-Pamplona y en particular a las que rellenan la canal de Berdún, conformando en este sector estos materiales una suave estructura anticlinal de igual dirección. Más al sur en el cuadrante suroccidental, afloran series continentales paleógenas que se sitúan discordantemente sobre las series marinas infrayacentes y forman parte del relleno de la depresión de Sangüesa.

En general son muy numerosos los trabajos geológicos que existen sobre el Pirineo si bien la mayoría de ellos tienen un carácter regional, correspondiendo la mayor parte

de ellos a tesis doctorales. Tales referencias aparecen en el capítulo correspondiente a la Bibliografía. De todos ellos han sido del máximo interés los trabajos de PUIGDEFABREGAS (1975), LEON (1985), CHAVEZ (1985), CAMARA Y KLIMOWITZ (1985). También resultan interesantes, por los datos que aportan los trabajos específicos relacionados con la exploración de potasas de Navarra elaborados por ROSELL (1983), ADARO (1989) y DEL VALLE (inedito) así como los procedentes de la cartografía y memoria del PLAN MAGNA. (1975) de la Hoja 175 (Sigües). Finalmente hay que destacar que la cartografía geológica de la Hoja está basada en la realizada por la DIPUTACION DE NAVARRA. actualizada y puesta al día en base a criterios sedimentarios y tectónicos.

## **2. ESTRATIGRAFIA**

La cartografía de esta Hoja se ha realizado en base a criterios modernos de estratigrafía secuencial, definiendo unidades tectosedimentarias limitadas por rupturas deposicionales con expresión cuencal. En cada unidad así definida y delimitada se ha cartografiado distintos cuerpos litológicos, determinando hasta donde ha sido posible, las variaciones espaciales y relaciones de facies que presentan.

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

### **2.1. CRETACICO**

#### **2.1.1. Crétacico superior**

La serie cretácica reconocida presenta notables afinidades litoestratigráficas con las unidades descritas por TEIXELL (1992) en la zona de Candanchú, correspondientes de muro a techo a: Fm. Calizas de los Cañones atribuida al Turoniense - Santoniense, Fm. Margas de Zuriza del Campaniense - Maastrichtiense y Fm. Areniscas de Marboré de edad esencialmente Maastrichtiense.

La primera de las formaciones mencionadas no aflora dentro de la zona de estudio si bien se distingue en sectores colindantes pertenecientes a la comunidad autónoma de Aragón, por lo que la Fm. Margas de Zuriza constituye la primera de las unidades cartográficas descritas en el capítulo de estratigrafía. La Fm. Areniscas de Marboré presenta una parte inferior compuesta por calcarenitas y areniscas calcáreas y una parte superior de areniscas y conglomerados silíceos que se ha asignado por su similitud litoestratigráfica a la Fm. Areniscas de Arén descrita en el sector central de la cuenca surpirenaica (provincias de Huesca y Lérida).

**2.1.1.1. Margas y margocalizas grises. (185). Campaniense - Maastrichtiense**

Aflora esta unidad en la Sierra de Leyre a favor de uno de los cabalgamientos sobre calizas del Eoceno. Se reconoce en el camino de ascenso al Coll de Leyre que parte desde el Monasterio.

Corresponde a un tramo esencialmente margoso de unos 80 m de potencia media, correlacionable con la Fm. Margas de Zuriza (TEIXELL, 1992).

Litológicamente está constituido por margas gris-azuladas con intercalaciones eventuales de margas calcáreas nodulosas y limolitas calcáreo-margosas de grano fino. A techo suele intercalar capas tabulares de calcarenitas bioclásticas y areniscas calcáreas. El contenido paleontológico es elevado, la unidad contiene abundantes restos de bivalvos, equínidos, braquiópodos y foraminíferos pelágicos y bentónicos, (distinguiéndose *Echynocorys pyramidale* (PORTLOCK), *E. Vulgaris*, (BREYNUS) y *Ostrea cf. Canaliculata* (SOW).

El conjunto tiende a organizarse en ciclos de somerización de rango métrico - decamétrico compuestos por margas homogéneas en la base y margas calcáreas o limolitas a techo, donde pueden desarrollarse superficies ferruginosas y de condensación de fauna. Las intercalaciones calcareníticas y areniscosas de la parte superior de la unidad presentan laminaciones tractivas (wave ripples y hummoky cross stratification) asimilándose a capas de tormenta.

En localidades próximas a la zona cartografiada, ya en la Comunidad Autónoma de Aragón se observa que la unidad presenta un contacto neto con la Fm. carbonatada infrayacente (Fm. Calizas de los Cañones) desarrollándose una superficie ferruginosa y de condensación sedimentaria a techo de esta última. Por el contrario el contacto con la unidad suprayacente es más transicional de acuerdo con un esquema de somerización general y progradación deltaica.

La unidad se enmarca en un contexto de plataforma abierta -prodelta con rasgos pelágicos en la parte baja y con influencia de tormentas en la parte alta.

La edad se establece en el Campaniense - Maastrichtiense, por comparación con localidades próximas (Sierra de Alaiz y Macizo de Oroz - Betelu esencialmente), dado el carácter banal de la fauna determinada.

**2.1.1.2. Calcarenitas y calizas arenosas con intercalaciones de areniscas hacia techo.(191). Campaniense - Maastrichtiense**

Esta unidad se corresponde con los materiales que dan origen al gran escarpe rocoso que destaca en el paisaje sobre la vertiente meridional de la Sierra de Leyre.

Los cortes de esta unidad son bastante buenos si bien resultan ser inaccesibles dado los farallones que conforman, por lo solo se puede llevar a cabo observaciones parciales de esta unidad. Un buen corte se tiene en el camino de acceso al Coll de Leyre, ya en las proximidades de este.

Se correlaciona con la Fm. Areniscas de Marboré (SOUQUET, 1967) y litológicamente se distingue como un conjunto de calcarenitas que hacia techo pasan a areniscas calcáreas. Presenta un contacto transicional con la unidad precedente, estimándose una potencia de unos 100 - 150 m.

Los niveles de calcarenitas se presentan en bancos de potencia decimétrica a métrica, pueden alternar con margas calcáreas y limolitas en la parte inferior de la Fm. y tienden a organizarse en secuencias estratocrecientes de orden decamétrico, caracterizando complejos de barras submareales en contextos de frente deltaico. Texturalmente corresponden a packstones - grainstones y granstones - rudstones con cemento esparítico, bioclastos, granos de cuarzo y glauconita como principales aloquímicos, y con la presencia característica de opacos e impregnaciones de óxidos metálicos.

El contenido fósil es variado distinguiéndose restos de bivalvos, braquiópodos, briozoos, corales, gasterópodos, equinodermos, foraminíferos, algas y ostrácodos. Las estructuras sedimentarias consisten en laminación cruzada de tipo sigmoidal y bimodal, ripples de oleaje, laminaciones onduladas, drappes y cantos blandos. Las calcarenitas se enriquecen progresivamente en cuarzo a medida que se alcanzan niveles superiores en la serie hasta predominar los términos de areniscas sobre las calcarenitas.

Las areniscas se organizan en paquetes métricos de tendencia granodecreciente con base erosiva, pertenecientes a facies canalizadas, siendo menos frecuentes las secuencias de barra. Litológicamente corresponden a areniscas calcáreas de grano medio-grueso a medio-fino, con cemento esparítico, y la fracción clástica está formada principalmente por cuarzo, bioclastos e intraclastos calcáreos. Las estructuras tractivas que presentan corresponden a sets tabulares de láminas cruzadas, planares y sigmoidales con frecuente bimodalidad, ripples de oleaje, depósitos de carga residual y laminaciones onduladas caracterizan contextos de llanura deltaica inferior en régimen inter y submareal.

Diversos análisis realizados en el Hoja MAGNA a escala 1:50.000 de Sigüés sobre las areniscas de la unidad, indican que se trata de calcilitas con unos contenidos de fracción clástica comprendidos entre el 60% y el 70% con 20-25% en cuarzo, 40% en fragmentos de rocas carbonatadas y 3-4% en feldespatos, con micas, pizarras y chert en porcentajes inferiores a 1% y correspondiendo el 30-40% restante de la roca a cemento microesparítico y escasos bioclastos.

Las determinaciones micropaleontológicas denotan la presencia de Miliólidos, Orbitoides, Texturálidos y Anomalínidos destacando en la parte superior de la unidad la existencia de Siderolites calcitrapoides (LAMARCK), Omphalocyclus macroporus (LAMARCK) y Orbitoides medios (D'ARCHIAC) que indican una edad de Maastrichtiense superior. En base a las anteriores determinaciones y de la correspondencia lateral que presenta la unidad con la Fm. margosa infrayacente, su edad se establece en el Campaniense superior - Maastrichtiense, aunque la mayor parte de la unidad debe corresponder al Maastrichtiense.

#### **2.1.1.3. Areniscas y conglomerados. Areniscas de Arén.(192). Maastrichtiense**

Aflora esta unidad por una gran parte de Hoja, concretamente en la Sierra de Leyre constituyendo parte del espaldar de la misma.

Se reconoce en distintos puntos de acceso de los accesos a dicha sierra por su vertiente norte como p.e.en la pista de subida al Arangoiti, o en el camino al Coll de Leyre así como a lo largo de la crestería de la misma..

Presenta un contacto transicional con la unidad infrayacente a la que pasa íntegramente hacia el oeste por cambio lateral de facies.

Litológicamente la unidad está formada por areniscas silíceas y conglomerados de cuarzo que se organizan en secuencias métricas de relleno de canales fluviomareales pueden intercalar delgados intervalos de limos y lutitas grisáceas. Las estructuras sedimentarias consisten en sets tabulares de estratificación cruzada, planar y sigmoidal, en areniscas y gravas, depósitos conglomeráticos de carga residual, bioturbación a techo de las secuencias de relleno de canales junto con rasgos edáficos incipientes, y eventualmente, estratificación bimodal y ripples de oleaje.

Los términos de areniscas presentan tamaños de grano de muy grueso a medio-fino, buena selección, matriz feldespática - caolinífera, y escasa cementación. Los conglomerados consisten en depósitos clastosoportados, medianamente cementados, con matriz cuarzo-feldespática de grano grueso, y los clastos casi exclusivamente de cuarzo, presentan un alto grado de rodamiento y diámetros comprendidos entre 0,5 y 8 cm. Los términos de areniscas silíceas y conglomerados se enmarcan en un medio de llanura deltaica superior en régimen inter-supramareal.

Las paleocorrientes registradas se dirigen principalmente hacia el ONO, dato coherente con la distribución paleogeográfica regional, siendo relativamente frecuentes las lecturas en sentido opuesto (ESE) claramente generadas por flujos mareales.

**2.1.1.4. Lutitas rojas. Facies Garumniense. (201).  
Maastrichtiense superior-Daniense inferior**

Afloran estos materiales en el extremo nooriental de la Hoja, en lo alto de la Sierra de Leyre y en el paraje conocido como Vallenegra así como en las inmediaciones del pico Escalar, una de las atalayas de dicha alineación, donde se tiene un buen corte de esta unidad. Se reconoce bien en distintos puntos de la estructura anticlinal que dibujan estos materiales en lo alto de la sierra, como p.e. en el camino que procede de Castillonuevo.

Se integra la facies Garumniense dentro del apartado del Cretácico superior puesto que parece presentar ciertas analogías genético-sedimentarias con la unidad

infrayacente (Areniscas de Arén) y principalmente debido al contacto truncacional de las dolomías paleocenas a techo

La facies Garumniense constituye un intervalo de unos 20-25 m de potencia, que lateralmente hacia el Oeste tiende a desaparecer. A pesar de su reducida potencia y escasa representación cartográfica, destaca en el terreno por constituir un tramo blando de tonos rojizos muy intensos entre los resaltes de la Fm Marboré - Arenisca de Arén y de las series carbonatadas del Paleoceno.

Litológicamente predominan los términos lutíticos compuestos por arcillas y limos rojizos con desarrollo de suelos lateríticos y arcillas margosas gris-verdosas intensamente bioturbadas. Asociados a los términos margosos se reconocen niveles de calizas micríticas arcillosas nodulizadas con eventuales vestigios de flora y fauna lacustre, en los que se ha determinado *Tectochara* sp., *Peckichara* sp., *Microchara* sp. y *Platychara* gr. *cantata* que indican edades próximas al límite K - T.

El contacto con la unidad infrayacente es neto, si bien suele desarrollarse un intervalo de calizas intraclásticas con influencia lacustre que marca el tránsito de los ambientes deltaicos de la Fm. Marborée - Areniscas de Arén a una sedimentación en régimen continental propia de la facies Garumniense.

Esta unidad se enmarca por tanto en un ambiente de llanura fangosa ligada a frentes muy distales de sistemas aluviales donde los términos rojizos indican una sedimentación en régimen subaéreo, sometida a intensos procesos edáficos, y las facies grisáceas, más carbonatadas marcan episodios de generación de zonas lagunares o lacustres de permanencia variable.

### **2.1.2. Análisis secuencial y paleogeográfico del Cretácico superior**

El conjunto del Campaniense - Maastrichtiense, está representado por las Fms. Zuriza y Marboré, y constituye un ciclo de 2º orden en el sentido de VAIL et al. (1990). La Fm. Zuriza representa el intervalo transgresivo, y la Fm. Marboré se interpreta como un episodio regresivo y de progradación hacia la cuenca del sistema deltaico.

En conjunto el ciclo manifiesta una evidente tendencia a la somerización con desarrollo de facies pelíticas prodeltaicas en la base que pasan transicionalmente a

términos calcáreos bioclásticos de frente deltaico, y finalmente se desarrollan depósitos siliciclásticos de llanura deltaica progresivamente más someros, que culminan con los materiales de la facies Garumniense generados en ambientes continentales.

El límite inferior del ciclo está marcado por una superficie ferruginosa y de interrupción sedimentaria desarrollada a techo de los depósitos de plataforma somera del Santoniense (Fm. Calizas de los Cañones). El límite superior corresponde a una superficie de posible truncación sedimentaria definida por el contacto neto con las dolomías de base del Paleoceno que se sitúan de Este a Oeste sobre el Garumniense, Areniscas de Arén y, calcarenitas y areniscas de la Fm. Marboré.

La paleogeografía de la cuenca durante el Campaniense - Maastrichtiense se deduce a partir de la distribución regional de facies y espesores, dando como resultado una apertura y profundización general hacia el ONO. La Fm. Margas de Zuriza aumenta de potencia en este sentido incorporando facies turbidíticas. Hacia el Este (fuera de Hoja) se adelgaza y acuña, de modo que la Fm. Marboré se dispone directamente sobre el Santoniense dificultando por convergencia de facies su individualización.

La Fm. Marboré desaparece hacia el ONO por tránsito lateral a la Fm. Zuriza, y aumenta de potencia en sentido contrario donde aparecen facies más someras, que culminan con el desarrollo de los depósitos continentales del Garumniense.

## **2.2. Terciario Marino**

El Paleógeno marino puede dividirse, a grandes rasgos en dos grandes conjuntos deposicionales, el conjunto inferior es esencialmente carbonatado y comprende términos del Paleoceno, Ilerdiense y Luteciense inferior. El superior está representado principalmente por materiales margosos que abarcan el Luteciense superior, Bartonense y mayor parte del Priabonense. El techo del Paleógeno marino está caracterizado por el desarrollo de facies evaporíticas y lagunares que marcan el tránsito al Terciario continental.

### **2.2.1. Paleoceno - Ilerdiense**

Constituye un intervalo carbonatado de unos 100 - 150 m de potencia. Se distingue una parte inferior dolomítica asignada al Dano - Montiense y Thanetiense inferior, y una parte superior esencialmente calcárea perteneciente al Thanetiense - Ilerdiense. Ambos términos presentan una notable contaminación terrígena, apareciendo localmente niveles de areniscas calcáreas y abundantes granos dispersos de cuarzo.

#### **2.2.1.1. Dolomías ocres y grises. (204). Daniense - Thanetiense inferior**

Afloran estos materiales en el espaldar de la Sierra de Leyre, en el límite septentrional de la Hoja. También se reconocen en las proximidades de la Foz de Arbayun y del pico Arangoiti, teniendo los mejores cortes en los alrededores de dicho pico y en la pista a Bigüezal.

Su potencia se cifra en torno a los 45 - 60 m y se dispone de forma neta sobre el Garumniense y otras unidades del Maastrichtiense. La unidad está compuesta principalmente por dolmicroesparitas tableadas con escasos restos reconocibles de Miliólidos. Presentan contactos ondulados e incorporan tramos de dolomías masivas. En la base y techo del conjunto aparecen generalmente términos más ricos en terrígenos representados por dolarenitas con abundantes granos de cuarzo y frecuentes laminaciones tractivas, (estratificación cruzada sigmodial y bimodal, y hummocky cross stratification). En general predominan las secuencias estrato y granocrecientes asimilables a morfologías de barras, por lo que la unidad se interpreta como un complejo de barras litorales en plataforma carbonatada somera.

Se dispone de los datos analíticos de una muestra de esta unidad, contenidos en la documentación complementaria de la Hoja MAGNA a escala 1:50.000 de Sangüesa (174) que indican contenidos del 15% en cuarzo, 5% en bioclastos, 2% en intraclastos, correspondiendo el resto de la muestra a dolesparita (78%).

La edad se establece entre el Daniense y Thanetiense inferior por la posición estratigráfica y correlación tentativa con los términos inferiores del Paleoceno en la zona de Garralda y Abaurrea situadas más al norte y de Salvatierra de Esca, ya hacia el Este, fuera de la zona estudiada.

**2.2.1.2. Calizas grises con Alveolinas. Nivel (211). Thanetiense superior - Ilerdiense**

Aflora ampliamente por todo el sector mas septentrional de la Hoja, reconociendose tanto al Oeste, cerca de la Foz de Arbayun, como hacia el Este, en el Escalar y Vallenegra.

Los afloramientos por lo general son de buena calidad y en ocasiones espectaculares, como los del barranco de Valdelacasa. Los mejores puntos de observacion se localizan al sur de Castillonuevo, en la pista que asciende a la Sierra de Leyre por su vertiente norte, desde las proximidades de Castillonuevo.

Se integran en esta unidad los términos calcáreos del Thanetiense superior- Ilerdiense por su similitud litológica y sedimentológica, constituyendo un paquete carbonatado de unos 100 - 150 m de potencia.

El Thanetiense superior- Ilerdiense , constituye un tramo calcáreo de unos 50 a 90 m de potencia, con frecuentes intercalaciones terrígenas presentando facies características de ambientes de plataforma somera. El principal dispositivo de sedimentación se articula a partir de complejos de barras litorales reconocibles como secuencias negativas de potencia métrica a decamétrica compuestas por packstones tableadas en la base y grainstones o calcarenitas areniscosas con estratificación cruzada, a techo.

Presentan cemento esparítico o microesparítico, y los principales aloquímicos son los bioclastos (Miliolidos, fragmentos de algas calcáreas, corales individuales y Rotálidos) y los granos de cuarzo, siendo localmente abundantes las oncoides, ooides e intraclastos. Menos frecuentes son las facies carbonatadas canalizadas consistentes en niveles masivos de potencia decimétrica-métrica de calcarenitas areniscosas, con base erosiva, gradación textural y granulométrica positiva, y estratificación cruzada sigmodial y bimodal.

Las facies de baja energía están representadas por mudstones - wackestones tableados con eventuales intercalaciones margosas cuyos aloquímicos corresponden a fragmentos de algas calcáreas, Miliólidos, intraclastos y escasos granos de cuarzo

dispersos. Se interpretan como depósitos de plataforma somera interior lagoon carbonatado, en zonas protegidas por los complejos de barras.

Los análisis petrográficos recogidos de la documentación de la Hoja MAGNA a escala 1:50.000 de Sangüesa, indican que las calizas micríticas muestran porcentajes de aloquímicos en torno al 60% representados por bioclastos (40%) e intraclastos (20%), correspondiendo el 40% restante de la roca a micrita. Los términos más energéticos, de acuerdo con la información consultado son esencialmente bioclasticos alcanzando contenidos en fósiles de hasta el 99% de la roca.

Se dispone de determinaciones paleontológicas procedentes de la misma fuente de información que indican la existencia de *Distichoplax biserialis* (DIETRICH), *Microcodium elegans* (GLÜCK), *Alveolina* (*Glomalveolina*) aff. *Dachelensis*, SCHWAGER, *Rotalia* cf. *Trochidiformis*, LAM, *Desticleoplax* (DIETR.), *Litheothamnium*, *Miliolídos*, *Cebicidos*, *Algas solenoporáreas* y *Coralarios*. Por otra parte ROBADOR (1990), realiza un minucioso estudio en el Paleoceno e Ilerdiense de Salvatierra de Esca determinando las siguientes especies que caracterizan el Thanetiense superior: *Alveolina* (*Glomalveolina*) *primaeva*, pequeños *Rotálidos*, *Kathina* sp., *Miliolidos*, *Alveolina* (*Glomalveolina*) *levis*, *Alveolina* aff. *Dolioliformis*, *Alveolina* aff. *Aramaea*, *Alveolina* aff. *Avellana*, *Alveolina* aff. *Cucumiformis* y *Operbitolites gracilis*.

El Ilerdiense está formado por un intervalo calcáreo de unos 30 - 60 m de potencia superpuesto al Thanetiense superior del que resulta difícil diferenciar cartográficamente por su similitud litológica. La principal característica distintiva radica en el mayor contenido de Alveolinas, con frecuencia muy abundantes.

La sedimentación se desarrolla principalmente a partir de complejos de barras en plataforma carbonatada somera, que se reconocen como secuencias estrato y granocrecientes de calizas bioclásticas y calcarenitas con texturas de packstone - grainstone en la base y grainstone - rudstone a techo. Los principales aloquímicos son los bioclastos, pertenecientes mayoritariamente a Alveolinas, y en menor medida de fragmentos de algas calcáreas, bivalvos y otros foraminíferos. En la parte superior aparecen con frecuencia granos de cuarzo, y en ocasiones se distinguen láminas y lechos microconglomeráticos. Las estructuras tractivas consisten en laminaciones onduladas, ripples de oleaje, y estratificación cruzada de gran escala.

Localmente pueden reconocerse, en la base del Ilerdiense, margas y limolitas calcáreas grises de grano fino.

En la realización de las Hojas MAGNA de Sigüés (175) y Sangüesa (174) se distinguieron las siguientes especies características del Ilerdiense medio: *Alveolina aragonensis* (HOTT.), *A. (Glomalveolina) lepídula* (SCHWAG.), *A. Subpirenaica* (LEHM.), *A. Cf. Pisiformis* (HOTT.), *A. Moussoulensis* (HOTT.), *A. Leupoldi* (HOTT.), *A. Rotundata* (HOTT.), *Operbitolites biplanus* (LEHM.), *Operculina canalífera* (D'ARCH.), *O. Subgranulosa* (D'ORB.), *Nummulites* (gr. *Glóbulus*) y *Nummulites* sp..

La fauna del Ilerdiense determinada por ROBADOR (1990) en Salvatierra de Esca es la siguiente: *Alveolina dolioliformis*, *A. Aramaea*, *A. Avellana*, *A. (Glomalveolina) lepídula*, *A. (G.) pilula*, *A. (G.) subtilis* y *Operbitolites grácilis* que se han enmarcado en las biozonas de *A. Cucumiformis* y *A. Ellipsoidallis*, características del Ilerdiense inferior y medio.

### **2.2.2. Eoceno**

Exceptuando los términos calcáreos de Luteciense inferior y las calizas con Alveolinas del Ilerdiense que se han descrito de forma conjunta con el Thanetiense, el Eoceno se presenta en facies esencialmente margosas con intercalaciones minoritarias carbonatadas y areniscosas de carácter turbidítico definiendo contextos de plataforma prodeltaica, talud y cuenca con rasgos pelágicos.

Desde el punto de vista estratigráfico se diferencian cinco conjuntos deposicionales principales que de muro a techo corresponden a:

A.Cuisiense superior - Luteciense inferior. Está integrado principalmente por depósitos de calizas bioclásticas y calcarenitas que hacia el Norte pasan lateralmente a una serie margocalcárea correlativa con la unidad de Cotefablo del Grupo de Hecho

B.Luteciense superior. Constituye un conjunto formado por depósitos margocalcáreos con frecuentes niveles desorganizados (unidad 212) dispuestos en marcada relación de on-lap sobre el conjunto anterior que hacia el Norte aumenta de potencia incrementando el contenido en términos margosas (unidad 218) e incluye olistolitos

calcáreos de grandes dimensiones (unidad 267). Mas al Norte pasa a términos turbidíticos (unidad 212) de la unidad de Fiscal, pertenecientes al Grupo de Hecho.

C.Luteciense superior - Bartonense. Está representado por una potente serie margosa con rasgos hemipelágicos (unidad 272) que intercala términos turbidíticos muy divididos (Flisch de Irurozki). A muro puede reconocerse un nivel olistostromico con estructura de Megaturbidita (unidad 271) asimilada a la MT7 de LABAUME (1983). A techo culmina con el nivel guía de Urroz-Lumbier, conocido en el sector como Limolitas de Urroz (unidad 278). Localmente puede presentar en la parte inferior, desarrollo de niveles desorganizados que integran bloques de carbonatos de las unidades eocenas infrayacentes.

D.Bartonense - Priabonense. Corresponde al conjunto de las Margas de Pamplonas.s.l.. Se divide en dos unidades secuenciales cuya individualización viene dada por la entrada de un tramo de características turbidíticas. De esta forma se distingue un conjunto inferior correspondiente a las Margas de Pamplona s.s. (unidad 279), que en la Hoja de Pamplona (141) culmina con un nivel de plataforma deltaica conocido como Calcarenitas de Gazolaz o Areniscas de Cizur (PUIGDEFABREGAS, 1975). El conjunto superior está integrado de muro a techo por las turbiditas de Yesa, Gongolaz y Tabar (unidades 280, 304 y 305), Margas de Ilundain (unidad 18) y a techo un reducido nivel de facies deltaicas que se ha denominado como Areniscas de Celigüeta (unidad 19).

E.Priabonense superior - Headonense. Corresponde a la Fm. Guendulain y marca el tránsito de los ambientes marinos del Eoceno a la sedimentación continental del Oligoceno que se prolonga en la Cuenca del Ebro hasta el Neógeno. Está integrado de muro a techo por depósitos de sales cloruradas (Fm. Evaporítica de Navarra) que no afloran en la zona de estudio, Margas Fajeadas (unidad20) y Areniscas de Liédena o Galat (unidades 21 y 22).

#### **2.2.2.1. Calizas ocreas y grises de aspecto masivo. Calizas de Guara.(215). Cuisiense superior - Luteciense inferior**

Se reconoce esta unidad en la parte frontal de la Sierra de Leyre, siendo cabalgada por los materiales carbonatados del Cretacico superior cabalgando, todo ello a su vez sobre las margas eocenas. Los cortes son de buena calidad aunque de difícil

accesibilidad, dando lugar estos materiales a resaltes morfológicos de cierta consideración

Constituye un intervalo calcáreo de unos 100 m de potencia correlacionable con la Fm. Calizas de Guara (PUIGDEFABREGAS, 1975) y que equivale a la serie calcárea Luteciense de la Sierra de Alaiz (Hojas de Pamplona, 141 y Tafalla, 173).

Esencialmente está formado por un complejo de barras submareales en plataforma carbonatada somera destacando dos resaltes mayores principales. Las secuencias de barras presentan potencias decamétricas y están representadas por términos de packstone - grainstone bioturbado en la base que pasan en vertical a grainstones - rudstones bioclásticos, con estratificación cruzada de muy gran escala dirigida hacia el NO. Los principales componentes aloquímicos son los Nummulites, distinguiéndose fragmentos de corales, algas calcáreas y otros foraminíferos, y en algunos intervalos, abundantes granos de cuarzo.

Los análisis petrográficos realizados en la Hoja MAGNA a escala 1:50.000 de Sangüesa indican que los fósiles son los principales componentes aloquímicos presentando valores comprendidos entre el 80% y 40%, si bien los porcentajes más comunes se encuentran entre el 60 y 70%. El cuarzo aparece ocasionalmente como componente minoritario no superando el 5%. Los ortoquímicos se presentan en contenidos que oscilan normalmente entre el 30% y 40% de la roca distinguiéndose micrita y esparita en proporciones muy variables.

Las determinaciones paleontológicas ofrecen una dilatada lista de fauna característica del Luteciense inferior entre la que destaca: *Alveolina levantina*, HOTT, A. *Gigantea*, CHECC. - RISP., *Nummulites* cf. *Batalleri*, R. GAONA, N. Gr. *Laevigatus*, BRUH., N. Cf. *Planulatus*, LAM., N. Cf. *Tavertetensis*, CLAVEL y REGUANY, N. Cf. *Millecaput*, BOUBEE, *Asterodiscus stallatis*, BRUNN., *Discocyclina sella*, D'ARCH., *Fabiania casis*., OPPENH., *Eorupertia magna* LE CALV., *Orbitolites complanatus*, LAM., Miliólidos, *Lithothamnium* y Briozoos.

La unidad pasa hacia el Norte a facies magocalcáreas de margen de plataforma - talud que caracterizan el tránsito al surco turbidítico del Grupo de Hecho. La base está definida por una importante discontinuidad sedimentaria evidenciada por una laguna

estratigráfica que comprende la parte alta del Ilerdiense y por lo menos el Cuisiense inferior.

A techo se localiza una discordancia marcada por la disposición en on - lap del conjunto margocalcáreo del Luteciense superior y por el desarrollo de una superficie de truncación y ferruginización en el contacto.

**2.2.2.2. Alternancia de margas y margocalizas y ocre. Ritmita.  
Nivel (212). Cuisiense superior. Luteciense inferior**

Aflora esta unidad en el cuadrante nororiental de la Hoja ,en el espaldar de la Sierra de Leyre, al sur de Castillonuevo.

Los afloramientos con frecuencia se encuentran enmascarados por vegetación y los cortes de la unidad suelen ser parciales. El mejor corte se tiene en los taludes de una pista de acceso a la sierra desde la mencionada localidad.

Constituyen estos depósitos, un tramo de naturaleza margocalcárea tipo ritmita de color gris-ocre que aumenta de potencia hacia el Norte pasando en este sentido, fuera de la zona de estudio, a términos turbidíticos del Grupo de Hecho. Por su posición estratigráfica debe corresponder a la Unidad de Coteñabalo (REMACHA, 1983) que se encuentra entre la MT4 y MT5 (LABAUME et al. 1983).

Hacia el sur disminuye de espesor de esta unidad y presenta una evidente relación lateral con los términos basales de la Fm. Calizas de Guara, hasta acunarse totalmente. En la base de esta ritmita se puede reconocer una brecha de cantos calcareos de poco espesor así como una costra ferruginosa desarrollada sobre el techo de la unidad carbonatada infrayacente

Litológicamente, la unidad está representada por una alternancia rítmica entre margas y capas decimétricas de calizas margosas. Estas últimas corresponden texturalmente a wackestones micríticos margosos, con foraminíferos pelágicos. Son frecuentes los niveles desorganizados por procesos de desestabilización gravitacional, consistentes en slumping, debris - flow y mud - flow.

La unidad se enmarca en un medio de plataforma abierta - talud, constituyendo el tránsito entre el margen de la plataforma carbonatada de la Fm. Guara y el surco turbidítico del Grupo de Hecho.

#### **2.2.2.3. Margas y areniscas. Turbiditas. Grupo de Hecho.(218). Luteciense superior**

Aflora esta unidad en el angulo mas nororiental de la zona estudiada, cerca ya de Castillonuevo, en la margen izquierda del valle que transcurre por el paraje de la Garona. Sus afloramientos son de mala calidad, si bien en zonas proximas fuera de la zona de estudio, presentan buenas condiciones de observacion.

Estas facies turbidíticas incluidas en el Grupo de Hecho son equivalentes al denominado Grupo Arro y aparecen al Norte de la Sierra de Leyre, formando parte de la serie del Sinclinal de Salvatierra. Por su posición estratigráfica deben corresponder a la Unidad de Fiscal (VAN LAUSEN, 1970; ESTRADA, 1982; RIOS et al., 1982), que se encuentra delimitada entre las megacapass MT5 (Roncal - Fiscal) y MT7 (Artesa) de acuerdo con la terminología de LABAUME et al. (1983).

Constituyen un conjunto margoso y arenoso de color ocre y grisáceo, en alternancia ritmica, que constituyen turbiditas terrígenas en facies de lóbulo y fan-fringe y hacia techo intercalan esporádicamente facies margocalcáreas de carácter hemipelágico, caracterizando en conjunto un contexto de basin plain. La presencia de restos de Alveolinas y Nummulites del Grupo Perforatus (ROBADOR et al., 1990) en Salvatierra de Esca permiten su asimilación al Luteciense superior.

#### **2.2.2.4. Margas grises. Margas de Pamplona. (267). Bartonense**

Sus afloramientos se localizan en el sector central de la Hoja, en la margen izquierda del embalse de Yesa, ocupando parte de la denominada canal de Berdum.. Se trata de una unidad muy potente, plegada que solo ofrece cortes parciales de la misma a favor de barranqueras y zonas de acaravamiento. No obstante los mejores cortes se localizan en las inmediaciones de la cerrada de Yesa.

Corresponde a un potente conjunto margoso delimitado a muro por el nivel de Urroz y a techo por la entrada de las turbiditas de Gongolaz y de Yesa. Su potencia puede

superar en algunos puntos los 700 m si bien es difícil de precisar debido a su homogeneidad litológica.

Generalmente el conjunto se organiza en secuencias de somerización de orden decamétrico constituidas por margas grises masivas que en vertical incorporan términos de margas calcáreas, a veces nodulosas o limolitas calcáreas margosas. A techo de las secuencias, se desarrollan eventualmente superficies ferruginosas de interrupción sedimentaria y de condensación de fauna con abundantes serpúlidos, bivalvos, Equinodermos, Gasterópodos, Briozoos, Corales y Foraminíferos plantónicos y bentónicos.

Los análisis petrológicos de estas margas, ofrecen valores de un 84% de minerales de arcilla y la calcita, representa un 3%, consistiendo en bioclastos, cuyo tamaño oscila entre 0,05 y 0,5 mm de microforaminíferos, Miliólidos y Globigerinas: Los opacos son el 3% y se presentan en tamaños comprendidos entre 0,02 y 0,25 mm, el cuarzo un 10% de tamaño entre 0,05 y 0,07 mm, con micas se encuentran en un porcentaje menor al 1%.

Los análisis mineralógicos, han determinado un porcentaje de cuarzo que oscila entre el 15-17%, de calcita entre 40 y 51%, de illita entre el 20 y 40%, caolinita entre el 5 y el 12%, attapulgita con el 13% como máximo y ankerita el 6% como máximo.

Los estudios micropaleontológicos han determinado gran cantidad de fauna, entre ella: *Textularia recta* CUSHM. *T. Adalta* (CUSHM), *t. Speyeri* REUSS, *Gaudryina quadrilatera* CUSHM, *Tritaxilina pupa* (GUMB), *Gyroidina guayabalensis* (COLE), *Chilostonella cylindroides* REUSS, *Nodosaria hermanni* ANDR, *Valunlina nummulina* (GUMB), *Cibicides pseudoungerianus* CUSHM, *Eponides quachitaensis* HOWE y WALL, *Globigerina senni* (BECKM), *G. Eocena* GUMB, *G. Parva* BOLLI.

La presencia característica de *Globigerapsis kiglori* BL&T., *Hastigerina micra*, COLE y *Lenticulina* sp., constatada por BROUWER et LA HAYA (1973-74), asociación que presenta un porcentaje superior al 75% en formas plantónicas, permite la asignación al Bartonense.

Desde el punto de vista paleogeográfico, las Margas de Pamplona constituyen el equivalente en facies prodeltaicas de la Fm. Belsue-Atarés (PUIGDEFABREGAS,

1975) que se desarrolla al SE representando los términos de frente deltaico del sistema. Términos análogos a la Fm. Belsue - Atarés han sido reconocidos recientemente en la Hoja de Pamplona (141), donde se conocen como Areniscas de Cizur o Calcarenitas de Gazolaz, indicando el desarrollo de aparatos deltaicos de manifiesta procedencia meridional.

**2.2.2.5. Margas grises con algunas intercalaciones de areniscas. (271). Alternancia de areniscas ocre y lutitas, (272) "Turbiditas de Yesa". Bartonense - Priabonense inferior**

Estas dos unidades se sitúan a techo de las Margas de Pamplona en el borde oriental de la hoja. Los mejores afloramientos se localizan en los alrededores del embalse de Yesa, concretamente junto a la cerrada, en la margen derecha de esta. No obstante, hacia el Oeste, fuera ya de zona, en la pista de acceso al canal de las Bardenas o en la carretera de Yesa a Sangüesa, se localizan también cortes parciales de estos depósitos.

Con frecuencia presentan pliegues menores que conllevan a veces a repeticiones y cambios de buzamientos en la serie con la consiguiente dificultad en las observaciones y continuidad de la misma.

Este conjunto de unidades corresponde a un intervalo de carácter turbidítico que en el sector del sinclinal de Izaga constituye el criterio de separación entre las Margas de Pamplona s.s y las Margas de Ilundain y que en el ámbito de Yesa se encuentra inmediatamente a muro de la Fm. Guendulain.

Existe un notable número de estudios que hacen referencia al complejo turbidítico (NAVEZ 1986; LEON, 1975; ADARO, 1988, PUIGDEFABREGAS, 1975 entre otros), en los que se proponen distintas denominaciones: Turbiditas de Gongolar, Tabar y Tajonar, Turbidita de Izaga, canales de Gonzalaz y Tabar, Flysch de Tajonar, para los depósitos turbidíticos existentes en el Sinclinal de Izaga, mientras que se mantiene comúnmente el término de Turbiditas o Flysch de Yesa para los materiales turbidíticos desarrollados en el entorno de esta localidad.

El complejo turbidítico alcanza unos 400 m de potencia en la Sierra de Tabar (sector oriental del Sinclinal de Izaga). Las paleocorrientes registradas indican una expansión del sistema turbidítico hacia el O.NO.

En el sector de Yesa se estima un espesor de unos 100 -150 m. Las lecturas de las paleocorrientes ofrecen valores dirigidos hacia el S.SO.

Se organiza en conjunto en un ciclo negativo con desarrollo de turbiditas diluidas en la parte inferior (unidad 15), con alta proporción en margas frente a niveles de areniscas. Las facies turbidíticas diluidas se interpretan como depósitos de over-bank distales ligados a sistemas con amplio desarrollo de facies canalizadas. Las capas de areniscas presentan tamaños de grano de fino a muy fino, potencias de orden centimétrico y desarrollan únicamente los términos superiores de las secuencias de Bouma.

La parte media a superior del complejo turbidítico está caracterizada por una alternancia rítmica entre pelitas grises y areniscas (unidad 304), con incremento progresivo en areniscas hacia techo (de  $\square$  50% a  $>$  75%). La sedimentación de este intervalo se articula a partir de canales turbidíticos menores, facies de over - bank asociadas y lóbulos. Los canales turbidíticos menores presentan potencia de orden métrico y extensión lateral decamétrica - hectométrica. Están representados por secuencias estratodecrecientes integradas por capas amalgamadas de areniscas de grano grueso a fino con granuclasificación positiva, lag de cantos blandos y huellas de corriente en la base. Con frecuencia se desarrollan en sus márgenes, depósitos desorganizados (slumping y debris - flow).

Los depósitos de over-bank constituyen alternancias rítmicas entre pelitas grises y niveles tabulares de areniscas de grano medio a muy fino de potencia centí-decimétrica. Estos presentan granuclasificación positiva moderada, laminación paralela, climbing ripples, escapes de fluidos y fenómenos de deformación por carga de pequeña envergadura.

Las formas asimiladas a lóbulos se reconocen como secuencias estratocrecientes de potencia métrica representadas por alternancias entre areniscas de grano fino y pelitas en la base y por capas tabulares amalgamadas de areniscas de grano grueso - medio a fino que presentan secuencias de Bouma bastante completas. Se interpretan

como lóbulos ligados a la desembocadura de los canales turbidíticos y se deduce un radio de expansión moderado, de orden hectométrico.

Litológicamente las areniscas muestran un grado de selección medio-alto, se encuentran bien cementados y los componentes clásticos consisten principalmente en granos de cuarzo y bioclastos (foraminíferos planctónicos y bentónicos, restos de briozoos, corales, bivalvos, gasterópodos y fragmentos vegetales).

En la parte alta de la Sierra de Tábar el complejo turbidítico del sinclinal de Izaga culmina con un tramo de areniscas bastante masivas (unidad 305) diferenciado como Areniscas de Tábar (PUIGDEFABREGAS, 1975). Cartográficamente constituye una forma canalizada de unos 100 m de potencia máxima y unos 8 km de extensión lateral.

Internamente el tramo está representado por canales menores de potencia métrica - decámetrica cuyas secuencias de relleno se organizan en ciclos positivos compuestos por capas de areniscas de grano muy grueso a medio con muy frecuentes niveles de cantos blandos, lags bioclásticos, estructuras internas muy tractivas y frecuentes convuluciones.

En los estudios analíticos realizados por LEON, (1985) sobre los niveles de areniscas de las facies turbidíticas de Izaga, se registran contenidos del 60% en granos de cuarzo con tamaños comprendidos entre 100 y 400  $\mu$ , 5% en feldespatos y litoclastos calcáreos, 20% en bioclastos y 15% de ortoquímicos representados casi exclusivamente por micrita. En las areniscas más bioclásticas, puede aumentar considerablemente el contenido en bioclastos, incorporando pellets hasta el 15%, y se registra un incremento en ortoquímicos (35-45%), mientras que los componentes terrígenos raramente superan valores del 20%.

La turbiditas de Yesa han sido caracterizadas petro y mineralógicamente por CHAVEZ, 1986. El principal componente aloquímico corresponde a granos de cuarzo subangulosos (30-40%) de tamaño comprendido entre 0,1 y 0,2 mm, seguido por los bioclastos (15-30%) y litoclastos e intraclastos calcáreos (5%), mientras que los feldespatos están presentes en proporciones inferiores al 1%. Los ortoquímicos aparecen en contenidos del 40-50% correspondiendo esencialmente a micrita.

Las pelitas grises que alternan con las areniscas muestran una asociación de minerales de arcilla compuesta por un 60% de illita, 10% en caolinita, 5% en clorita y 25% en interestratificados (illita clorita).

Las determinaciones paleontológicas muestran una asociación riquísima en foraminíferos bentónicos, en general resedimentados representados principalmente por Nummolites Discocyclinas y Miliólidos, mientras que las formas pelágicas corresponden principalmente a Globigerínidos. Entre estos últimos destaca la presencia de *G. Cerroazulensis* (COLE), *G. ceperoensis angustiambilicata* (BOLLI) y *G. Rohri* (BOLLI), que caracterizan el Priaboniense inferior.

#### **2.2.2.6. .Margas y lutitas rojas con pequeñas intercalaciones de areniscas. "Margas Fajeadas".(278). Priaboniense superior**

Se localizan estos depositos al Sur de la Zona estudiada, segun una direccion E.NE-O.SO., poniendose en contacto con los materiales infrayacentes a favor de la terminacion oriental de la falla de Loiti, que con igual direccion transcurre por ese sector.

Los afloramientos son de muy mala calidad, encontrandose por lo general enmascarados. Solo en las proximidades del Alto de Santa Cruz, en el limite con la provincia de Zaragoza, en la pista forestal se pueden llegar a reconocer de forma parcial estos materiales

Corresponde esta unidad al término inferior en afloramiento, de la Fm. Guendulain (PUIGDEFABREGAS, 1975).

Litológicamente esta unidad consiste en un conjunto de lutitas rojas y lutitas margosas grisáceas y gris-verdosas asi como margas, que incluyen ademas intercalaciones milimétricas y centimétricas de limos ocre laminares y areniscas amarillentas en estratificación lenticular. Los términos lutíticos presentan un laminado rítmico de frecuencia milimétrica ocasionado por cambios periódicos del quimismo de la lámina de agua debido probablemente a variaciones estacionales, aspecto que le ha valido la denominación de Margas Fajeadas (PUIGDEFABREGAS y DEL VALLE, 1978).

En el subsuelo, se desarrollan, a muro de las Margas Fajeadas, depósitos de sales cloruradas sódicas y sódico-potásicas que definen la Fm. Evaporítica de Navarra (DEL VALLE, A., 1938) objeto de explotación en la cuenca de Pamplona hasta fecha muy reciente por la existencia de niveles de potasas.

La sucesión - tipo de la Fm. Evaporítica consta de los siguientes tramos característicos: Anhidrita basal, tramo halítico inferior, ciclos de silvinita-halita margosa, tramo halítico intermedio, ciclos de carnalita-halita-marga y tramo pelítico superior alternando con halita y anhidrita correspondiente parcialmente a las "Margas Fajeadas". La formación evaporítica puede superar los 100 m de potencia de los que la mayor parte pertenecen al tramo pelítico superior. El intervalo con predominio de cloruros tiene una potencia en torno a los 25 m, y no aflora a causa de su gran solubilidad.

Las evidencias de sedimentación evaporítica en superficie consisten en moldes de cristales de halita en el seno de las lutitas rojas y grises de las "Margas Fajeadas" y existencia de niveles centimétricos de yeso con dolomita asociada que pueden presentar desarrollos enterolíticos. Hacia techo, la unidad incrementa el contenido en niveles y lentículos de areniscas pasando transicionalmente a las Areniscas de Liédena o Galar.

A partir de análisis mineralógicos efectuados por LEON, I (1985) se determina el predominio de illita, que supone el 65-70% de la facción arcillosa, la caolinita está presente en un 10-15% y la clorita e interestratificados se reparten de forma equitativa en el 10% restante. Las calcimetrías indican que el contenido medio en  $\text{CO}_3\text{Ca}$  es de un 40% incrementándose hasta un 50% en las pasadas de yeso.

Los análisis micropaleontológicos llevados a cabo por ROSELL, L. (1983) ponen de manifiesto la escasez de restos fósiles en estos materiales debido probablemente a la salinidad del medio de sedimentación. No obstante se han determinado asociaciones palinológicas propios de medios tropicales a subtropicales (*Lygodium*, *sapotacedeae*, *Nyssa*, *Engelhardtia*, *Platycaria* y *Rhus*), y de contextos más templados (*Taxodiaceae*, *Restionaceae*, *Carya*, *Pterocaryam*, *Tiliaceae*, *Ulmaceae*, *Myricaceae*, *Betulaceae*, *Aceraceae*, *Pinaceae*, etc.) que revelan características afines a la flora existente a finales del Eoceno en la Cuenca de París.

La presencia de paltas de afinidad acuática, resistente a condiciones de considerable salinidad como, *esparganiaceae*, *Milfordia*, *Eptedra*, *restionaceae* y *Aglaoreidia cyclops* confirmarían el desarrollo de lagunas o zonas pantanosas bajo condiciones de cierta aridez.

Por otra parte se han realizado estudios de nannoplancton que en términos generales han resultado estériles. Sin embargo debe destacarse el hallazgo en un único nivel de: *Reticulofenestra umbilica* (LEVIN), *Nannotetrina* sp., *Chiasmolithus grandis* (BRAMLETTE & RIEDEL), *Chiasmolithus* sp., *Discoaster tani nodifer* (BRAMLETTE & RIEDEL), *Discoaster saipanensis* (BRAMLETTE & RIEDEL), *Discoaster barbadiensis* (TAN SIN HOK), *Sphenolithus radians* (DEFLANDRE), *Sphenolithus* sp. *furcatolithoides* (LOCKER), *Coccolithus eopelagicus* (BRAMLETTE & RIEDEL), *Cyclococcolithus formosus* (KAMPTNER), *Zygolithus dubius* (DEFLANDRE), *Zygrhalythus bijugatus* (DEFLANDRE).

La asociación determinada parece indicar una edad de Bartonense, mas baja de la que corresponde en realidad a nivel regional a estos materiales por lo que probablemente debe estar resedimentada.

El depósito de la Formación Evaporítica pone de manifiesto el confinamiento de la Cuenca de Pamplona a finales del Eoceno, sugiere un cambio climático a condiciones de marcada aridez y supone una pérdida de profundidad del agua y una tasa progresiva de evaporación con producción de salmueras cada vez más concentrada. Por el contrario, el desarrollo de las "Margas Fajeadas" marca sedimentológicamente, un estadio de dilución en la cuenca evaporítica por entrada de aguas continentales con aporte de material en suspensión, deduciéndose unas condiciones lagunares con variaciones notables de salinidad. Los medios salobres están representados por las pelitas con laminado milimétrico. Los episodios hipersalinos están evidenciados por la existencia de niveles de anhidrita.

La edad de la unidad se establece principalmente por su situación estratigráfica en el Priabonense superior, dado el escaso valor cronoestratigráfico que presenta su contenido fósil.

**2.2.2.7. Areniscas ocre y lutitas grises (279) y Areniscas ocre y lutitas rojas (280). Areniscas de Liédena. Priaboniense superior - Headoniense**

Se localizan estos depósitos por encima de la unidad descrita en el epígrafe anterior. Se trata de una serie detrítica que aflora de forma parcial y se reconoce en el ángulo suroccidental de la Hoja, en la pista de acceso al Alto de Santa Cruz desde el valle de Javier.

Presentan una disposición monoclinual con buzamientos relativamente fuertes hacia el suroeste. El tránsito entre las dos unidades aquí descritas es gradual, estableciéndose la diferencia entre ellas por la presencia de lutitas rojas, en la unidad superior.

Las Areniscas de Liédena (MANGIN, 1959-60) o de Galar (DEL VALLE y PUIGDEFABREGAS, 1978) constituyen un intervalo de unos 100-150 m de potencia compuesto por areniscas ocre-amarillentas generalmente tableadas, y representan los últimos depósitos con influencia marina en la cuenca de antepaís surpirenaica.

Si bien su posición más común es a techo las Margas Fajeadas, pasan lateralmente a las anteriores sustituyéndolas totalmente en algunos casos. Litológicamente son arenas y areniscas micáceas de grano fino con delgados niveles de limos y margas. Presentan estratificación linsen, wavy y flaser, laminación cruzada planar y bimodal, ripples de oscilación y de corriente, huellas de desecación, escapes de fluidos, deformación hidroplástica, slumping y debris flow, y huellas de aves. Su aspecto más habitual es de un tableado centi a decimétrico en capas tabulares ligeramente gradadas con ripples a techo, que excepcionalmente presentan huellas de base, y lag de cantos blandos. Esporádicamente aparecen niveles métricos canalizados con estratificación cruzada y cantos blandos.

Cartográficamente se han distinguido dos intervalos debido a las siguientes diferencias lito y sedimentológicas:

-La unidad 279 caracteriza la parte inferior de las Areniscas de Liédena. Está representado por areniscas tableadas que alternan por tramos con limos y lutitas margosas grises. Muestra un predominio de ripples de oscilación sobre el resto de estructuras sedimentológicas tractivas y configura en conjunto un ciclo negativo,

siendo escasas las formas canalizadas. Se enmarca en un medio lagunar salobre en régimen intermareal - submareal con sedimentación bajo lámina de agua intermitente y en ocasiones bastante permanente.

-La unidad 280 se distingue de la anterior por la presencia de términos lutíticos rojizos, predominio de ripples de corriente, desarrollo frecuente de formas canalizadas, existencia de trazas de yesos y organización conjunta estrato y granodecreciente. Se integra en un contexto intermareal - supramareal a supramareal y registra fuertes variaciones en la salinidad del medio.

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

Si bien el complejo sedimentario de la Fm. Guendulain, se desarrolla en una cuenca confinada, la influencia marina está demostrada en todo el conjunto. Es necesaria la comunicación con el mar para ser posible la regeneración de las salmueras que originan los depósitos evaporíticos y los términos detríticos superiores muestran rasgos mareales.

Los análisis petrográficos llevados a cabo por LEON, I. (1985) indican que en las areniscas, los elementos detríticos suponen el 65% de la roca y consisten esencialmente en granos de cuarzo de tamaño medio a fino (50-150  $\mu$  a 150-300  $\mu$ ) y en menor medida, litoclastos calcáreos, cuarcitas, plagioclasas y micas. Los bioclastos están presentes en un 5% correspondiendo a foraminíferos resedimentados (Miliólidos) radiolarios y fragmentos vegetales. El cemento es calcáreo y registra valores de un 30%.

En las lutitas el contenido en carbonatos alcanza registros del 30%, incluyendo bioclastos hasta un 5% y micas y óxidos de hierro como accesorios (hasta un 10%). El cortejo arcilloso muestra respecto a las Margas Fajeadas, un incremento notable en caolinita (10-30%), si bien la illita sigue siendo el mineral arcilloso predominante (50-70%) y la clorita e interestratificados mantienen los valores registrados (en torno al % en ambos casos).

En la Hoja MAGNA a escala 1:50.000 de Sangüesa se ha determinado la presencia de (*Cyrogona*, cf. *wrighti* (REID y GRAVES), *Harrichara tuberculata* (LYELL), *Rabdochara stockmansii* (GRAMB.) y *Stehanochara* sp. que es una asociación propia del Oligoceno inferior. Este dato contrasta con las atribuciones cronoestratigráficas modernas que tienden a situar el complejo evaporítico lagunar presente en la cuenca de antepaís surpirenaica (Fm. de Cardona, en la cuenca evaporítica catalana y Fm. Guendulain en Navarra) en el Priaboniense superior. Por estos motivos y principalmente por su posición estratigráfica, se atribuye una edad de Priaboniense superior - Headoniense a las Areniscas de Liédena.

### **2.2.3. Análisis secuencial y paleográfico del Paleógeno marino (Paleoceno - Eoceno).**

A grandes rasgos, la sucesión del Paleoceno - Eoceno en la zona de estudio se divide en, una parte inferior carbonatada de edad Paleoceno - Luteciense inferior y una potente serie esencialmente margosa que culmina a finales del Eoceno con depósitos evaporíticos y areniscosos.

Los términos calcáreos inferiores (Paleoceno - Luteciense) corresponden a plataformas carbonatadas desarrolladas en el margen meridional de la cuenca de Pamplona. El espacio estratigráfico comprendido entre el Ilerdiense y el Luteciense, se encuentra representado, hacia el Norte de la cuenca, por una potente serie turbidítica, conocida a grandes rasgos como Flysch eoceno (SOLER y PUIGDEFÁBREGAS, 1970) y que es equivalente al Grupo de Hecho (MUTTI et al., 1972). Se han diferenciado cuatro conjunto carbonatados limitados por rupturas sedimentarias, de muro techo son: Daniense a Thanetiense inferior, Thanetiense superior- Ilerdiense y Luteciense inferior - medio.

La sucesión esencialmente margosa del Luteciense medio - superior a Priaboniense se ha dividido en tres grupos secuenciales correspondientes a los intervalos del Luteciense superior (unidad de Arro-fiscal), Luteciense superior - Bartonense (Irrozqui, Margas de Larrés y nivel de Urroz), y Bartonense - Priaboniense (Margas de Pamplona), si bien los dos últimos grupos pueden subdividirse respectivamente en dos unidades secuenciales menores.

La Fm. Guendulain, del Priaboniense superior, se trata de forma individualizada en su estudio secuencial y paleogeográfico.

.Daniense a Thanetiense inferior

Representa los términos basales de la transgresión paleocena. Se dispone probablemente mediante una superficie de truncación sobre el Garumniense en relación de on-lap hacia el este y directamente sobre el Cretácico superior hacia el oeste y noroeste. Presenta en conjunto una tendencia somerizante no muy marcada que se manifiesta por un incremento gradual de la granulometría e incorporación progresiva de componentes terrígenos al depósito.

.Thanetiense superior

El Thanetiense superior se presenta en facies de plataforma mixta somera. El contacto con el Dano-Montiense y Thanetiense inferior está determinado por el contacto dolomías/calizas y por la progradación local de términos clásticos en la base. El conjunto del Thanetiense superior, representado esencialmente por complejos de barras carbonatadas submareales, se organiza en varias secuencias de somerización de varias decenas de metros. El contacto con el Ilerdiense está remarcado localmente por una superficie de alteración con posibles rasgos paleokársticos.

.Ilerdiense

El Ilerdiense está representado por facies carbonatadas organizadas en secuencias de barras bioclásticas litorales. En conjunto configuran una secuencia global de somerización. Hacia el norte pasan a facies margocalcáreas de margen de plataforma y prodeltaicas (Fm. Margas de Millaris, VAN DE VELDE, 1967).

El contacto con la unidad suprayacente está marcado por una importante discontinuidad sedimentaria responsable de una laguna sedimentaria que comprende el Ilerdiense superior y la mayor parte del Cuisiense.

.Luteciense inferior

Corresponde a la Fm. Calizas de Guara integrada por facies carbonatadas de plataforma somera. Se distinguen dos secuencias mayores de somerización y hacia el norte disminuye de potencia y empieza a incorporar en la base, términos margocalcáreos de margen de plataforma. En sectores más septentrionales, fuera de la zona estudiada pasa a depósitos pelíticos de talud y a complejos turbidíticos correspondientes probablemente a la unidad de Cotefablo (REMACHA, 1983) comprendida entre las megacapas carbonáticas MT4 y MT5 de LABAUME et al (1983).

El límite superior está evidenciado por el on-lap hacia el margen meridional de la cuenca de diferentes unidades margosas suprayacentes y por una superficie de alteración sobre las calizas de la Fm. Guara.

#### .Luteciense superior

Constituye la primera de las unidades margosas, que se disponen en relación de on-lap sobre la serie carbonatada de la Sierra de Leyre, adelgazándose hacia el sur en las proximidades de Lumbier. Está representado mayoritariamente en la zona estudiada por facies margocalcáreas desorganizadas propias de un medio de talud, que configuran una secuencia general de somerización evidenciada por un mayor desarrollo de términos carbonatados a techo. Incorpora, en la Foz de Arbayun, bloques calcáreos de grandes dimensiones que podrían correlacionarse tentativamente con la MT6 o de Fago (LABAUME et al., 1983). Hacia el norte pasa a facies turbidíticas pertenecientes a la unidad de Fiscal, que se encuentra comprendida entre las megaturbiditas MT5 y MT7 (LABAUME et al., 1983).

#### .Luteciense superior - Bartonense

Corresponde a un conjunto margoso con intercalaciones de turbiditas diluidas (Irrozqui) que termina con el nivel de Limolitas de Urroz. Su límite inferior está caracterizado por la aparición de la MT7. En conjunto muestra una clara relación de on-lap hacia el sur. El conjunto se subdivide en dos secuencias limitadas por el intervalo con mayor desarrollo de facies turbidíticas. La secuencia inferior no presenta una organización secuencial definida y está integrada por ciclos menores de somerización en medios de plataforma abierta con rasgos pelágicos. El ciclo superior muestra un contacto relativamente neto con el anterior y constituye una unidad

secuencial muy completa con desarrollo de facies turbidíticas en la base ligadas a complejos de canales turbidíticos (complejo de Rapián) experimenta una progresiva dilución en vertical dando paso a depósitos pelíticos prodeltaicos (Fm. Larrés) y termina con el desarrollo de plataformas deltaicas distales (Limolitas de Urroz).

#### Bartoniense - Priaboniense

El intervalo del Bartoniense - Priaboniense está representado por las facies prodeltaicas características de la Fm. Margas de Pamplona y depósitos turbidíticos asociados (Turbiditas de Yesa, Gonzolaz y Tabar). Se divide en dos conjuntos. El conjunto inferior corresponde a las Margas de Pamplona s.s. representado en la zona estudiada íntegramente por facies pelíticas prodeltaicas. Se encuentra relacionado con el delta de Atarés que tiene su equivalente en la Hoja de Pamplona (141) en el nivel de Areniscas de Cizur (DEL VALLE y PUIGDEFABREGAS, 1978) a Calcarenitas de Gazolaz. El conjunto superior está constituido en su parte inferior por un complejo de canales turbidíticos imbricados encajados en las Margas de Pamplona y que presentan en conjunto una retrogradación progresiva por on-lap hacia el ESE. Los términos pelíticos de la secuencia corresponden a las Margas de Ilundain y están conectados genéticamente con las facies deltaicas de Martés - Villalangua. Es característico de la unidad el desarrollo a techo de depósitos pelíticos anóxicos.

#### .Priaboniense superior

Corresponde a la Fm. Guendulain. La formación evaporítica basal se asocia a una etapa de máximo confinamiento de la cuenca e implica una evidente caída de la lámina de agua. Lateralmente se relaciona con las Margas Fajeadas, distribuidas en zonas lagunares marginales con aporte episódico de agua dulce. El resto de la secuencia está compuesta por términos arenosos que indican un humedecimiento climático relativo y progradación hacia el sur del sistema deltaico lagunar, mostrando abundantes rasgos mareales y litorales.

### **2.3. Terciario Continental.**

El Terciario continental está representado en el área de estudio por una potente sucesión de varios miles de metros de potencia constituida esencialmente por

depósitos de carácter aluvial. Cronoestratigráficamente abarca desde inicios del Oligoceno hasta el Mioceno inferior.

Existe una gran diversidad de términos litostratigráficos propuestos por los diversos autores que han trabajado en la región, que en su mayor parte hacen referencia a conjuntos de facies sedimentarias o a sistemas alviales de distinta procedencia. La división estratigráfica más general propone tres grandes conjuntos deposicionales limitados entre sí por rupturas sedimentarias continuas. De muro a techo son: Fm. Javier ( LEON,1985), del Priabonense terminal - Sueviense, Fm. Rocaforte ( LEON,1985 ) de edad de Sueviense superior - Arverniense , y, Fm. Uncastillo ( LEON ,1985 ) , asignada al Oligoceno terminal - Mioceno inferior- medio.

En conjunto, la cuenca terciaria presenta una migración mantenida hacia el Sur, de modo que las unidades más modernas se desarrollan en una posición progresivamente más meridional. El análisis de paleocorrientes y distribución de facies pone de manifiesto la procedencia nororiental y septentrional de los sistemas alviales y el paso hacia el Oeste y Suroeste a ambientes lacustres salinos.

La Fm Javier corresponde en términos generales a la 2ª UTS definida en las hojas MAGNA de la región ( IGME, 1987 ). Está representada por facies aluviales distales al Este y pasa hacia el Oeste a términos más fangosos y carbonatados.( Facies de Zabalzalza, PUIGDEFABREGAS, 1975 )

La Fm. Rocaforte, equivale a la 3ª UTS definida en IGME ( 1987 ) y es subdivisible en detalle, en varias unidades secuenciales de menor orden. En la Cartografía Geológica a escala 1:200.000 de Navarra ( GOBIERNO DE NAVARRA, 1997 ) se distinguen tres unidades secuenciales representadas de muro a techo por las facies: a) Sangüesa, b) Cáseda - Eslava y c) Sos del Rey Católico, que constituyen términos litoestratigráficos tomados de SOLÉ SEDÓ ( 1972 ) y PUIGDEFABREGAS ( 1975 ). Para este conjunto de unidades, en la zona estudiada se verifica la confluencia de sistemas alviales de procedencia oriental, y septentrional, desarrollándose en el sector de intersección facies mas lutíticas.

El conjunto deposicional superior ( Fm. Uncastillo ) corresponde a la 4ª UTS, compuesta por las unidades de Gallipienzo - Artajona y Ujué ( ITGE, 1987 ). Se desarrolla al Sur del área de estudio, apareciendo términos conglomerático - arenicosos propios de ambientes aluviales más proximales y ligados a sistemas de procedencia norte. Según el criterio a PUIGDEFABREGAS (1975 ), IGME ( 1987 ) y GOBIERNO DE NAVARRA, ( 1997 ), se subdivide en dos secuencias marcadas por la entrada de los conglomerados de Gallipienzo en la base, y de Ujué en la parte alta.

A partir de los estudios realizados a partir de la cartografía a escala 1:25.000 de la Hojas que integran la cuadrícula del I.G.N. nº 174 Sangüesa así como por los trabajos desarrollados en la presente Hoja, se han distinguido un total de 8 ciclos sedimentarios que caracterizan la sucesión estratigráfica del Terciario continental.

Estos ciclos de muro a techo son:

- a) Facies Javier ( Headoniense - Sueviense )
- b) Areniscas y lutitas de Sangüesa ( Sueviense - Arverniense inferior )
- c) Areniscas y lutitas de Rocaforte. Lutitas y areniscas de Ayesa, que integran las facies Eslava a muro y las areniscas de Abaiz a techo ( Arverniense inferior a superior )
- d) Areniscas y lutitas de Uzquita ( Arverniense superior )
- e) Areniscas y lutitas de San Zoilo (Arverniense superior- Ageniense )
- f) Conglomerados de Gallipienzo ( Ageniense )
- g) Conglomerados de la Sierra de San Pedro (Ageniense)
- h) Areniscas y lutitas de Ujué (Ageniense - Aragoniense inferior )

De todos ellos, solo el mas inferior aparece representado en la presente Hoja, si bien el resto de ellos, aparecen muy bien caracterizados en áreas relativamente proximas.

A continuación se pasa a una descripción de los materiales del Terciario continental aflorantes en la Hoja.

### 2.3.1. Oligoceno

#### **2.3.1.1. Alternancia irregular de lutitas rojas y ocre y areniscas con intercalaciones de calizas margosas (304) y Areniscas y lutitas rojas (305). "Areniscas y lutitas de Javier". Headoniense - Sueviense.**

Afloran estas dos unidades en el angulo mas suroccidental de la Hoja, en el espaldar de la alineacion que conforma el Alto de Santa Cruz. Los afloramientos en este sector no son muy buenos si bien en zonas relativamente proximas se reconocen buenos cortes

Aunque cartograficamente se trata de dos unidades diferentes, estratigraficamente corresponde a la misma unidad, habiendose diferenciado una de otra en funcion del espesor de las capas de areniscas y el resalte morfologico a que dan lugar.

La Fm. Javier constituye una sucesión lutítico - areniscosa de 1000 - 1500m de potencia desarrollada, en general, inmediatamente al Sur de la falla de Loiti. Al Este está representada predominantemente por facies de frente aluvial distal que reciben diversas denominaciones litoestratigráficas: Unidad de Areniscas y Margas de Javier (IGME, 1987 ), Facies de Javier - Pintano - Villalangua (PUIGDEFABREGAS, 1975 ) y Fm. Los Pintanos ( CHAVEZ, 1986 ). Hacia el Oeste esta Fm. incorpora intervalos margosos y calcáreos correspondientes a ambientes charcustras y perilacustras, conociendose como Unidad de Margas de Mués ( IGME, 1987 ), o Facies de Zabalza ( PUIGDEFABREGAS , 1975).

En posiciones más occidentales y meridionales la Fm Javier pasa a terminos lacustras evaporíticos correspondientes a los Yesos de Undiano (PUIGDEFABREGAS,1975), o Unidad de Yesos de Añorbe ( IGME,1987 ). En el ámbito del área de estudio el cambio a facies evaporiticas hacia el sur debe verificarse en el subsuelo, puesto que el sondeo Sangüesa-1, situado mas hacia el O, en la Hoja 174-I. Lumbier, este corta materiales lutítico-sulfatados situados en la parte inferior de la Fm. Javier.

El conjunto configura globalmente un ciclo de tendencia negativa de modo que los términos con mayor influencia lacustre y evaporítica aparecen en la base de la Fm. Atendiendo a un orden secuencial menor se distinguen, esencialmente en los sectores

orientales, aunque fuera de la zona de estudio, dos ciclos. El inferior presenta un mayor contraste ambiental de muro a techo apareciendo términos con influencia lacustre evaporítica en la base y facies aluviales representadas por canales amalgamados a techo. El superior desarrolla facies charcustras en la base y a techo está formado por facies aluviales de predominio lutítico con formas canalizadas aisladas.

Las paleocorrientes registradas marcan la distribución general a facies observada en afloramiento, dirigiéndose hacia el O.SO.

Desde el punto de vista cartográfico y como ya se ha expuesto se han distinguido dos unidades a partir de sus diferencias litológicas y fotogeológicas. La unidad 304 corresponde al término general de la Fm. Javier definido por una alternancia heterogénea de lutitas, areniscas y eventualmente margas y calizas dando lugar a formas deprimidas en el relieve. La unidad 305 corresponde a niveles de mayor competencia, debida a un predominio de términos arenicosos, definiendo resaltes estructurales destacables en el terreno.

La caracterización petrográfica está basada en análisis efectuados por LEON, I (1985) y en IGME (1987). El primer autor determina una composición petrográfica para las areniscas integrada por un 40% de granos de cuarzo de tamaño medio - fino, 40% de litoclastos calcáreos y cuarcíticos, y 20% de cemento calcáreo. Para los términos lutíticos se define un cortejo mineralógico que respecto la fracción arcillosa está caracterizado por: illita (50 - 75%), caolinita (15 - 25%), clorita (5 - 12%) e interestratificados (5 - 15%) con aparición de motmorillonita de hasta el 25% en la parte inferior.

En la hoja MAGNA a escala 1:50000 de Sangüesa (IGME, 1987) los análisis petrográficos realizados sobre las areniscas reflejan los siguientes valores: 20 - 30% de granos de cuarzo, 0 - 5% de feldespato, 5 - 10% de clastos de sílex, 0 - 10% de fragmentos de cuarcitas, esquistos y pizarras, 0 - 10% granos ferruginosos, 25% - 50% litoclastos carbonáticos (fragmentos de calizas y bioclastos) y 20 - 30% de cemento carbonatado con frecuencia ferruginoso.

En estas unidades se han distinguido las siguientes asociaciones de facies:

. Facies canalizadas. Están representadas por niveles de areniscas de potencia métrica generalmente aislados de lutitas, con una extensión lateral de varios decenas de metros, correspondientes a formas canalizadas de configuración sinuosa. Presentan bases erosivas, laminaciones cruzadas, superficies de acreción lateral y climbing ripples, normalmente desarrollan secuencias de relleno granodecrecientes y bioturbación pedogénica a techo. Localmente pueden reconocerse tramos areniscos de potencia decamétrica con una continuidad lateral de orden kilométrico generados por imbricación y amalgamación de cuerpos clásticos canalizados. Las formas canalizadas de baja sinuosidad son muy poco frecuentes. Constituyen formas de potencia métrica- decimétrica y escasa extensión lateral, presentando secuencias de relleno sencillas compuestas por uno o varios sets de láminas cruzadas.

.Depósitos de desbordamiento. Están constituidos por facies de overbank y lóbulos de crevasse splay . Aparecen como alternancias de niveles tabulares cm.-a dm de areniscas de grano medio a muy fino y lutitas, formando en ocasiones bancos tableados. Los depósitos de overbank presentan buena selección y abundantes estructuras sedimentarias: Estructuras de base, laminación paralela, convoluciones, escapes de fluídos, cosets de ripples , climbing ripples , burrows verticales, y a techo, huellas de desecación. Los niveles de crevasse muestran un mayor contenido en matriz, granoclasificación positiva; escasas laminaciones tractivas y un alto grado de bioturbación.

.Depósitos de sheet - flood. Constituyen cuerpos areniscos no canalizados de potencia métrica - decimétrica. Se distinguen de los depósitos de desbordamiento por su mayor potencia y fuerte variación granulométrica, presentado granoclasificación positiva de tamaño grano grueso a fino. Pueden desarrollar sets y cosets tabulares de estratificación cruzada. Se generan a partir de avenidas clásticas no confinadas en el frente aluvial, por flujos granulares laminares.

.Facies lutíticas aluviales. Suponen los depósitos mayoritarios de la Fm. Javier. Alternan con niveles areniscas o bien constituyen paquetes métricos homogéneos. Litológicamente consisten en lutitas ocreas más o menos bioturbadas, que intercalan con frecuencia horizontes rojizos asimilables a suelos rojos hidromórficos, constituyendo una de las principales características distintivas de la Fm. Javier.

. Facies charcustres y perilacustres. Están representadas por lutitas margosas grisáceas con decoloraciones edáficas rojizas en intervalos decimétricos, que intercalan niveles carbonatados. Las capas de carbonatos presentan potencias centi-decimétricos y corresponden a calizas micríticas arcillosas nodulosas, y a calizas arenosas bioturbadas con estructuras tractivas, generalmente ripples de oscilación . Se interpretan como facies generadas por encharcamientos eventuales en orla perilacustre fangosa.

.Facies lacustres evaporíticas. No afloran en la zona de estudio, habiéndose cortado en el sondeo Sangüesa - 1 en la parte inferior de la Fm. Javier. Están representadas por margas y lutitas margosas y grises con niveles de anhidritas. Se enmarcan en un contexto de margen lutítico de lago salino.

Las determinaciones paleontológicas (IGME, 1987 ) caracterizan una asociación de Caròfitas constituida en la parte inferior, por *Harrisichara tuberculata* ( LYELL ), *Rhabdochara stockmansi* ( GNAMB ), *Stephanochara* sp., *Grovesiella* sp, *Chara* 11, *Sphaerochara* sp. probablemente del Headoniense. En la parte superior se ha reconocido, *Nitellopsis* (teclochara ) *merlani* ( LYN. & GRAMB ), *Harrisichara* sp , *Chara microcera*, *Psilochara* ct. *acuta*. (GRAM Y PAUL) y *Candona* sp que parecen indicar que la unidad alcanza una edad de Sueviense.

En base a los datos micropaleontologicos expuestos y de acuerdo con la posición estratigráfica de estos depósitos se establece para las unidades 23,y 24 una edad de Headoniense - Sueviense.

## 2.4. CUATERNARIO

### 2.4.1. Pleistoceno

#### 2.4.1.1. Lutitas rojas con cantos. Arcillas de descalcificacion (523). Pleistoceno-Holoceno.

Estos depositos se encuentran escasamente representados, localizandose solo en la Sierra de Leyre o su entorno proximo y siempre como es logico sobre materiales carbonatados.

Se relacionan con procesos carsticos y de fracturación en los materiales calcareos. Los afloramientos son de pequeña extensión, escasa representación superficial y forma alargada. Se localizan en el área estudiada concretamente en el espaldar de la Sierra de Leyre.

Litológicamente se trata de arcillas rojas ("terra rosa"), de poco espesor, aunque variable, del orden de decimétrico a métrico, que contienen cantos procedentes de los propios procesos de carstificación del sustrato.

Se les atribuye una edad que abarcaría desde el Pleistoceno hasta el Holoceno, por tratarse de depósitos actualmente también en proceso de desarrollo y formación.

#### **2.4.1.2. Gravas, arenas y lutitas con cantos y bloques. Glacis de acumulación (519). Pleistoceno.**

Estos depósitos constituyen sin duda alguna uno de los más característicos de la región, tanto por su litología como por su morfología, ya que dan lugar a extensas y vastas planicies que se sitúan al pie de los relieves, con una pendiente por lo general muy suave tendiendo a descender hacia donde se articula la red fluvial actual.

Se reconocen estos glacis y están ampliamente desarrollados, en la vertiente sur de la Sierra de Leyre, concretamente en el límite oriental de la zona estudiada. Los mejores cortes de esta unidad se localizan en la carretera de Pamplona a Jaca en el entorno del embalse de Yesa.

Litológicamente esta unidad se caracteriza por la presencia de gravas y arenas con lutitas que pueden contener abundantes bloques. Todo este conjunto se organiza por lo general de forma heterogénea, mostrando una cierta organización caótica, en la que predominan indistintamente las lutitas sobre los depósitos más groseros o viceversa.

Las gravas presentan cantos de subangulosos a subredondeados y los bloques a veces, por lo general de gran tamaño, pueden llegar a alcanzar proporciones métricas. Uno de los criterios diferenciadores respecto a las terrazas fluviales es la presencia en proporción mayoritaria de clastos de tamaño decimétrico a métrico, subangulosos de areniscas ocreas, procedentes del desmantelamiento de los relieves

proximos. Este tipo de materiales se localizan preferentemente hacia los terminos mas bajos de la unidad, mientras que hacia techo predominan las lutitas de color ocre.

El espesor de estos depositos, es muy variable, fluctuando desde un par de metros hasta los 8-10 m al menos que se llega a observar en el embalse de Yesa..

El origen de estos depositos esta intimamente ligado a la historia relativamente reciente de la region. A veces se observan varias generaciones de glaciares, aunque ya fuera de zona, tambien en la falda meridional de la Sierra de Leyre lo que pone de manifiesto la compleja historia a la que la region se vio sometida durante el Cuaternario

En cuanto a edad se refiere, por su disposicion y relacion de estos depositos con los sistemas de terrazas de la red fluvial del Aragon se les asigna al Pleistoceno.

#### **2.4.1.3. Gravas, arenas y lutitas con cantos y bloques. Terrazas. (508). Pleistoceno-Holoceno.**

Dentro de este apartado se incluyen todos aquellos depositos relacionados intimamente con la red fluvial actual, articulada principalmente entorno al rio Aragon, principal arteria de la region .

Ocupan una pequeña extension superficial en la Hoja. A nivel regional almenos se diferencian cinco niveles de terrazas en total, con respecto al cauce actual de los rios. Estas se encuentran dispuestas de acuerdo a las siguientes cotas: +3-12 m, +15-20 m, +25-35 m, +45-55 m y +70-80 m. Los dos primeros niveles se les incluye en el grupo de terrazas bajas, los dos segundos en el grupo de las terrazas medias y el ultimo nivel en el grupo de las terrazas altas. En la Hoja se localizan restos del segundo nivel de terrazas.

Se trata de depositos formados por gravas y arenas con lutitas en proporciones muy variables. Los clastos son de distinta naturaleza predominando los de calizas grises y areniscas ocreas, siendo ademas el tamaño de los mismos muy variable, fluctuando entre los 10 a 20 cm de media y los 40 a 50 cm de tamaño maximo. El espesor suele ser muy variable, fluctuando entre los 3 y 5 m como maximo..

La edad asignada para los distintos niveles es similar, atribuyéndolas todas al Pleistoceno, excepción hecha de la terraza mas baja que corresponderia ya al Holoceno.

#### **2.4.2. Holoceno**

##### **2.4.2.1. Bloques y cantos con margas y lutitas. Coluviones de bloques (547). Holoceno.**

Se describen en este apartado un conjunto caotico y heterogeneo de depositos que se localiza al pie de los grandes relieves que destacan en la zona, preferentemente en la Sierra de Leyre.

Se pueden reconocer perfectamente de visu en las laderas que conforman la falda meridional, desde las proximidades del Monasterio de Leyre y limite oriental de la Hoja, hasta las proximidades de Lumbier, en las estribaciones de la sierra. Se trata de unos depositos que estan formados por cantos y bloques empastados en una masa caotica de margas y/o lutitas de tonalidades grises o rojizas, que incluso a veces pueden llegar a estar ligeramente cementados por carbonatos.

Los bloques a veces son de gran tamaño llegando a destacar incluso de lejos, ya que llegan a alcanzar un tamaño metrico considerable, de 2 a 3 m e incluso mas. Su composicion tambien es muy variable, encontrando bloques y cantos de calizas eocenas asi como de areniscasy calcarenitas cretácicas.

Todo este conjunto enmascara notablemente los afloramientos del sustrato que conforman dichas laderas. Por su posicion se les atribuye al Holoceno.

##### **2.4.2.2. Lutitas con cantos y bloques. Coluviones (543). Holoceno**

Se trata de depositos por lo general con muy poco espesor y/o representacion superficial, aunque se encuentran repartidos de forma irregular por la Hoja. Se localizan al pie de las laderas al pie de los relieves, tratandose en todo caso de depositos de poca entidad, al menos encuanto a espesor se refiere.

Litologicamente la composición de estos depósitos es muy variable, ya que dependen del sustrato sobre el que se desarrollan. Lo más frecuente es encontrar lutitas de color ocre mezcladas y/o empastando cantos angulosos y subangulosos de arenisca y a veces algunos de caliza.

Por su posición al pie de las laderas y su relación con el resto de los depósitos cuaternarios se les asignan al Holoceno.

**2.4.2.3. Lutitas con cantos y bloques en ocasiones cementados. Conos aluviales (536) Holoceno.**

Se trata de uno de los depósitos menos frecuentes en esta Hoja. Se localiza en las salidas de los arroyos y pequeños valles que acceden a valles de rango superior. En ocasiones se solapan, dando lugar a formas coalescentes de mayor desarrollo.

Litologicamente están formados por un conjunto también heterogéneo y bastante caótico de lutitas, con cantos y bloques de tamaño y composición muy variable. Ocasionalmente se pueden producir cementaciones en algunos de estos depósitos, pero siempre muy superficiales y de poca consistencia.

Por su relación con la red fluvial se les asigna una edad Holoceno.

**2.4.2.4. Lutitas y cantos. Aluvial-Coluvial. (537). Holoceno**

En este epígrafe se describen un conjunto de depósitos de origen fluvial que por su morfología en planta, difieren de la de los fondos de valle y ponen en evidencia un aporte lateral difícil de separar de los propiamente fluviales.

Por lo general se localizan en áreas de topografía relativamente suave y en zonas de cursos de carácter ligeramente divagante y bastantes efímeros.

Su litología por regla general corresponde a materiales finos, lutíticos, que engloban cantos, bien procedentes de las zonas laterales o arrastrados por el propio curso del arroyo.

**2.4.2.5. Lutitas, arenas y cantos. Fondos de valle (527). Holoceno.**

Corresponden estos depositos a los cursos de escorrentia superficial efimera o actualmente nula, que discurren a traves de los principales arroyos. Constituyen pues la red fluvial de menor orden que se localiza en la Hoja.

Se trata de depositos de forma alargada, y que por lo general tienen poco espesor, del orden de 3 a 5 m.

Predominan en este tipo de depositos las lutitas con cantos de diverso tamaño y a veces bloques. Ocasionalmente se reconocen niveles de arenas. Los cantos son de litologia muy variable, aunque los que predominan son los de areniscas.

**2.4.2.6. Se asigna estos depositos por su relacion con la red fluvial actual al Holoceno Gravas arenas y cantos. Cauces activos (526). Holoceno .**

Se describen en este ultimo apartado los depositos que en la actualidad estan dejando los principales cursos fluviales de la zona estudiada: Aragon y Salazar, si bien ambos, apenas tienen una representacion en la Hoja.. Dado su mayor rango, es el cauce del Aragon quien deja y tiene una mejor representacion de estos depositos.

Corresponden estos a gravas, arenas y cantos, aunque ocasionalmente incluyen clastos tamaño bloques, con cantos de litologia muy variada: areniscas, calizas etc. Se organizan en barras fluviales sin cementar, bien en zonas proximas a los margenes del rio o en los sectores centrales.

### **3. TECTONICA.**

#### **3.1. CONSIDERACIONES GENERALES**

La presente Hoja, forma parte del sector occidental de la cadena pirenaica, en su limite con la Cuenca del Ebro. Esta alineacion montañosa presenta una direccion E-O y se extiende desde el Golfo de Vizcaya hasta el Mar Mediterraneo, siendo el resultado de la colision, ligeramente oblicua, de las placas iberica y europea, con una ligera subduccion continental de la primera sobre la segunda, como se ha puesto de manifiesto en el Proyecto ECORS (LOSANTOS et. al., 1988). No obstante esta cadena presenta ciertas peculiaridades que la apartan del modelo de cordillera alpina tipica.

La estructuracion de la cadena comenzo a finales del Cretacico y se prolongo durante buena parte del Terciario, presentando ademas una deformacion heterocrona a lo largo del trazado de la cordillera, haciendose progresivamente mas moderna hacia el oeste.

De acuerdo con los criterios mas actualizados, la extension de la cadena sobrepasa ampliamente a la longitud actual del istmo. Aunque se han realizado diversos intentos de clasificacion la mas utilizada en la literatura geologica para el Pirineo istmico es la de MATTAUER y SEURET (1971).

Esta division de caracter general esta basada en criterios estructurales y estratigraficos y se diferencia a grandes rasgos; un nucleo llamado Zona Axial, constituido por un apilamiento antiformal de materiales paleozoicos, dispuesto a modo de eje de simetria de la cadena, dos zonas mesozoico-terciarias despegadas, denominadas Nor y Surpirenica, vergentes a ambas partes y finalmente dos cuencas de antepais terciarias poco plegadas, tambien al norte y sur respectivamente de dichas zonas, rellenas de sedimentos postorogenicos. El cambio de vergencias se establece a partir de la Falla Norpirenaica, accidente profundo, que probablemente sutura ambas placas

La Zona Surpirenica presenta una cobertera de aloctona, estructurada segun alineaciones de direccion general E-O, dando lugar a diversas alineaciones montañosas que se encuentra formada segun SEURET (1972), por la Unidad

Surpirenaica Central, unidad aloctona, que se extendería por todo el sector central de la cadena y la Unidad de Gavarnie-Monte Perdido, que ocuparía una gran parte del Pirineo occidental, llegando hasta el accidente de Estella, también conocido como Falla de Pamplona e interpretado como una compleja rampa lateral de uno de los cabalgamientos más importantes de la cadena,

Más recientemente para MUÑOZ et al.(1986), en la Zona Surpirenaica, se pueden diferenciar dos grandes unidades estructurales: las Láminas Cabalgantes Superiores, que estarían formadas por mantos de cobertera, fundamentalmente mesozoicos y las Láminas cabalgantes Inferiores, más modernas que las anteriores, que involucrarían a materiales del zocalo y de la cobertera y que a veces presentan una esquistosidad asociada en relación con los desplazamientos

De todas las alineaciones montañosas de esta unidad, la más meridional de ellas, las Sierras Exteriores (sierras de Santo Domingo y Riglos), representarían el cabalgamiento frontal de la cadena sobre la cuenca de antepaís. Según TURNER y HANCOCK (1990), el límite hacia el oeste de estas sierras con la Unidad de Gavarnie, correspondería a una flexura ("Flexura de Pena") que estaría relacionada con un retrocabalgamiento (passive roof thrust)

El conjunto de la zona estudiada, incluida dentro de la Hoja 1:50.000 nº 174 Sangüesa, se localiza al sur de la Unidad de Gavarnie (SEGURET, 1972), en su límite con la cuenca de antepaís, quedando ubicada entre la Zona Pirenaica, Cuenca de Pamplona-Jaca y Depresión del Ebro, dominios tectónicos establecidos para Navarra (GOBIERNO DE NAVARRA 1997).

La Zona Pirenaica, constituye la montaña oriental Navarra. Esta estructurada en un sistema de tres cabalgamientos importantes, con implicación de materiales paleozoicos en los sectores más septentrionales, siendo los más meridionales de ellos los de la Sierra de Illón-Leyre, afectando este último a la zona estudiada. La falla de Loiti, de dirección ONO-ESE también con componente inversa en profundidad y probablemente accidente desgarre previo (CAMARA y KLIMOWITZ, 1985), constituye el límite meridional de este dominio.

La cuenca de Pamplona, es una depresión alargada de dirección E-O, formada por depósitos eocenos, que se ha comportado como una cuenca de piggy-back, con

traslacion pasiva hacia el sur a favor del cabalgamiento basal (floor thrust) de Gavarnie. Por el este se prolonga hasta Boltaña en la provincia de Huesca, mientras que hacia al oeste se encuentra delimitada por el accidente de Estella.. El limite por el norte lo constituye uno de los cabalgamientos septentrionales de la Zona Pirenaica mientras que por al sur y sureste la cierra el cabalgamiento de la Sierra de Alaiz y la falla de Loiti..

Finalmente la Depresion del Ebro, como ya se sabe esta rellena por un importante acumulo de sedimentos continentales terciarios, plegados en zonas limitrofes con las estructuras pirenaicas y subhorizontales o con buzamientos suaves, en la zona de la Ribera. La presencia de evaporitas contribuye a la existencia de niveles de despegues parciales, a veces de cierta consideracion

La zona de estudio mas en detalle se localiza en un area delimitada por la Sierra de Leyre al norte, unidad aloctona con disposicion estructural en pop-up y constituida por materiales del Cretacico superior y del Paleoceno-Eoceno, que cabalga mediante estructuras complejas a las margas y flyschs eocenos de la cuenca de Pamplona-Jaca..

Estos materiales y a traves de la falla de Loiti, en los sectores centrales se pone en contacto con las series continentales paleogenas estructuradas que conforman las geometrias de los sinclinales de Sangüesa y Ayesa y los anticlinales de Aibar y Eslava, estructuras en su nucleo algo complejas, que enraizan en profundidad con cabalgamientos vergentes hacia el sur.

Finalmente y en los sectores mas meridionales, afloran los depositos mas modernos de probable edad Orleaniense (Aragoniense inferior), reconociendose un importante acumulo de sedimentos detriticos continentales que se disponen en discordancia y con buzamientos cada vez mas relativamente suaves hacia el sur, que evidencian y ponen de manifiesto la evolucion a finales del Paleógeno y comienzos del Mioceno de parte de este sector de la Cuenca del Ebro

## **3.2. DESCRIPCION DE LAS PRINCIPALES ESTRUCTURAS**

Las manifestaciones mas destacadas de la deformacion sufrida por el territorio comprendido en la Hoja estan determinadas por los siguientes elementos estructurales: discordancias, pliegues, fallas y cabalgamientos.

### **3.2.1. Discordancias**

La descripcion de las principales discordancias esta referida al conjunto de depositos que integran la Hoja 1:50.000 nº 175 de Sigües y de zonas limitrofes. Esto viene justificado por un lado al tener en cuenta la historia geologica a la que se hace referencia en otro capitulo y por otro, cuando no son observables en superficie, a la existencia y reconocimiento de las mismas en el subsuelo, lo que son indicativas de su importancia a nivel regional.

Atendiendo a su orden cronologico y teniendo en cuenta que el registro sedimentario mas bajo corresponde al Campaniense, es decir casi a finales del Cretacico superior, las principales discordancias o discontinuidades de la Hoja se localizan a techo de los materiales cretaticos y dentro de las series paleocenas, eocenas y oligocenas, si bien y en estas ultimas, las discontinuidades y/o discordancias son muy frecuentes al encontrarse los sedimentos en clara relacion con el emplazamiento de unidades y estructuracion casi definitiva de la cadena.

Asi la primera discordancia o discontinuidad de siempre conocida y puesta de manifiesto a nivel regional es la que se localiza entre el Paleoceno y el Cretacico superior es decir la que se observa entre los materiales paleocenos apoyandose sobre las "Facies Garumniense".

Mientras que en los sectores mas occidentales de la Sierra de Leyre esta discordancia apenas se pone de manifiesto situandose directamente las dolomias paleocenas sobre la "Arenisca de Aren", en los sectores orientales sin embargo esta discontinuidad es mas evidente, situandose los mismos materiales carbonatados sobre las lutitas rojas de las "Facies Garumniense". Esta discordancia a nivel regional estaria relacionada con los denominados en la literatura geologica "movimientos laramicos", acaecidos, en las cadenas alpinas a finales del Cretacio comienzos del Terciario

La segunda discontinuidad o paraconformidad que en la region se pone de manifiesto, aunque es difícil de observar es la que pone en contacto las series carbonatadas del Thanetiense-Ilerdiense sobre los materiales paleocenos. infrayacentes. Esta aparente paraconformidad entre materiales carbonatados llega a observarse aunque puntualmente en los cantiles del pico Arangoiti en la Sierra de Leyre, con la presencia de un nivel basal de apenas un metro de conglomerados y brechas calcareas.

La tercera discordancia o discontinuidad observada y registrada en la zona estudiada corresponde a la de las series carbonatadas y margo calcareas del Cuisiense sobre las calizas del Thanetiense-Ilerdiense. Esta discordancia es facilmente observable en el espaldar de la Sierra de Leyre, mientras que hacia el sur, en los cantiles del cabalgamiento de dicha sierra se manifiesta como una paraconformidad.

Asi p.e. entre Bigüezal y Castillonuevo, en los caminos de acceso a la sierra desde esta ultima localidad, se puede observar un nivel basal de conglomerados y brechas calcareas en la base de la unidad. Muy cerca del limite de la zona, aunque ya fuera de ella y junto al mirador de la Foz de Arbayun, tambien se puede reconocer esta misma discontinuidad en la base de la ritmita margo-calcarea, presentando un importante hard-ground ferruginoso a techo de las calizas ilerdienses

Otra discordancia, observable a nivel regional es la que se manifiesta a techo de las calizas lutecienses o "Calizas de Guara" en lo que es la cuenca de Pamplona-Jaca en el sector de Lumbier, en el contacto con las estribaciones de la Sierra de Leyre. Esta discordancia pone de manifiesto la presencia de depositos olistostromaticos, bloques y slumps, propios de un contexto de talud y que da entrada a las series margosas del "Irurozqui" y a las "Margas de Pamplona"

Tambien se observa otra discontinuidad en el Bartonense y a techo de dichas margas, en la base de las "Margas de Ilundain" con la entrada turbiditica asociada de Gongolaz, Tabar y Yesa.

Sin duda alguna una de las discordancias mas claramente puestas de manifiesto tanto a nivel local como regional, es la acaecida en el Priabonense y que se pone de manifiesto por un cambio en las condiciones de sedimentacion y el paso del regimen marino a otro ya continental en toda la region, condiciones que perdurara durante todo el Terciario. No obstante en casi toda la zona el contacto entre estos materiales se

hace casi siempre a traves de la Falla de Loiti. Solo en algunos puntos como entre Liédena y Yesa, en una pista en el bosque del Castellon, se puede llegar a reconocer dicha discordancia.

A partir del Eoceno superior comienza a estructurarse la cadena y gran parte de la zona, a excepcion de la Sierra de Leyre al norte, se convierte en areas fuertemente subsidentes, receptoras de un importante acumulo de sedimentos. Cada impulso relacionado con el emplazamiento de las unidades aloctonas, motiva discontinuidades o discordancias de mayor o menor grado, segun sectores que en la region se reflejan en los distintos y bruscos cambios litologicos, mas patentes en los terminos superiores de las series paleogenas e incluso neogenas.

Asi se reconocen discordancias de naturaleza erosiva en el Sueviense, Arverniense y Ageniense, relacionadas a techo con procesos de diastrofismo acelerado. Tal es el caso de las discordancias de Gallipienzo y Sierra de San Pedro. A partir del Aragoniense inferior no existe registro litologico en la zona, a excepcion de los depositos cuaternarios, por lo que las discordancias y/o discontinuidades acaecidas en otras zonas proximas de la cuenca del Ebro no son reconocibles en el area estudiada.

### **3.2.2. Pliegues**

Casi la totalidad de los materiales que configuran el ambito de la zona estudiada aparecen estructurados en lineas generales a favor de grandes pliegues de direccion general E-O y N.NO-S.SE, que en ocasiones se ven afectados por cabalgamientos o fallas de gran angulo

Las estructuras tipo pliegues que se reconocen en la Hoja 175-I. Tiermas, son mas bien escasas al menos en la zona estudiada. La Sierra de Leyre es la unidad estructural mas importante de esta Hoja. Se trata de una lamina cabalgante del tipo "fault-bend folding", constituido sus terminos mas bajos principalmente por materiales del Cretacico superior, que cobijan a las margas bartonienses que constituyen el relleno de la Canal de Bérduen en este sector. Los pliegues que se observan son pues casi en su totalidad estructuras asociadas a esta lamina cabalgante y en menor medida a su autoctono relativo.

En lo referente a la lamina cabalgante se puede decir que esta presenta una geometria de serie monoclinial, con su frente en disposicion casi subhorizontal y/o con buzamientos hacia el norte muy suaves, de apenas casi  $10^{\circ}$ , valores que en poco espacio aumentan de forma llamativa, constituyendo la pendiente estructural de dicha sierra, del orden de los  $15^{\circ}$ - $20^{\circ}$  e incluso a veces algo mas. Las estructuras que destacan son dos principalmente. el anticlinal de Vallenegra, el sinclinal de Escalar y el de Arbayun .

El anticlinal de Vallenegra se trata de una estructura suave, de direccion SO.O-NE.E de apenas 3 Km de longitud de eje en la que afloran terminos relativamente bajos del Cretacico superior. Es una estructura sencilla, afectada por alguna fractura de pequeña envergadura. donde los buzamientos por lo general son muy suaves, no superando las capas los  $20^{\circ}$  de inclinacion.

El sinclinal de Escalar es una estructura casi paralela a la anterior, desarrollada sobre las calizas ilerdienses y el Cretacico terminal, culminando este sector oriental de la Sierra de Leyre. Se trata tambien al igual que el pliegue descrito con anterioridad de una geometria sencilla, de flancos suaves y sin complicaciones estructurales, en lo referente a fallas.

El sinclinal de Arbayun, asi denominado por tener su origen en los cantiles orientales de dicha Foz, es una larga estructura, de direccion general E-O, con inflexion NO-SE, cerca del Irati. Se localiza en el espaldar de dicha sierra y aparece afectado por un sistema de fallas transversas conjugadas, de distinto salto y fallas longitudinales, paralelas al eje que distorsionan la geometria del pliegue. La falta de afloramientos por los frecuentes recubrimientos impide a veces las observaciones en estructura.

Finalmente y en relacion con este aloctono, se reconoce tambien una estructura anticlinal en la pista de Bigüezal al Arangoiti. Se trata de un pliegue suave, con buzamientos en ambos flancos del orden de los  $15^{\circ}$  y de direccion general E-O, de longitud kilometrica y ligeras inflexiones, paralelo a la estructura anteriormente descrita y que afecta en la Hoja casi en su totalidad a materiales del Cretacico superior.

En lo referente a las estructuras localizadas en el autoctono relativo, es decir en el sector de la Canal de Berdun, poco se puede decir. Las Margas de Pamplona en este

sector forman parte de una gran estructura anticlinal que con dirección E-O, se extiende a lo largo de la misma, encontrando los materiales más modernos en su flanco meridional, afectados en parte por el accidente de Loiti que en este sector tiende a amortiguarse al menos en superficie.

En los alrededores del pantano de Yesa se reconocen pliegues de diverso rango y consideración en la serie turbidítica, plegamiento por otra parte muy característico en este tipo de materiales. A destacar son las estructuras anticlinales de La Refaya y del Alto de las Ripas localizadas en la margen izquierda del pantano y el sinclinal de Marmayor, situado casi encima de la cerrada.

Finalmente a destacar la disposición monoclinal, con buzamientos altos, del orden de los 50°-70°, de los depósitos continentales del Priabonense superior que se localizan al sur de la Hoja, en el límite ya con la provincia de Zaragoza.

### **3.2.3. Fallas y Cabalgamientos.**

En la Hoja 175-I. Tiermas, los accidentes más importantes que se reconocen son dos: el cabalgamiento de la Sierra de Leyre y la falla de Loiti, al margen de fallas normales de pequeña envergadura que se localizan en el espaldar de dicha sierra, en el límite septentrional de la Hoja.

El cabalgamiento de la Sierra de Leyre es el accidente más importante de esta Hoja. Como ya se ha expuesto, se trata de una lamina cabalgante del tipo “fault-bend folding”, constituida sus términos más bajos por materiales del Cretácico superior, que cobijan a las margas bartonienses que constituyen el relleno de la cuenca de Pamplona-Jaca y/o de la Canal de Bérduin en este sector.

Se trata de una falla de bajo ángulo, que con dirección E-O se extiende a lo largo de bastantes kilómetros, desde las inmediaciones de la entrada al valle del Roncal hasta las proximidades de Lumbier. A lo largo de toda la traza se manifiesta con un plano muy tendido, en ocasiones con apilamiento en “duplex” y afectada de forma normal por fallas de apenas poco salto, generalmente visibles.

La falla de Loiti es el otro accidente importante e interesante que se observa en esta Hoja. Se trata de un accidente de dirección ONO-ESE de componente inversa en

profundidad, que debio actuar previamente como de desgarre (CAMARA y KLIMOWITZ, 1985). Su traza se localiza desde la Sierra de Alaiz hasta el pantano de Yesa, por lo tanto se trata de un accidente que se continua a lo largo de bastantes kilometros. En el area estudiada se reconoce ademas por la Hojas 174-I..Aibar, 174-II. Lumbier.

Presenta una traza bastante rectilinea, aunque en detalle es algo alabeada, lo que implica una componente inversa en profundidad. El alto angulo de esta falla se pone de manifiesto practicamente a lo largo de toda la traza, encontrando ademas y con frecuencia estructuras vergentes hacia el sur, en el labio superior de dicha falla, como ocurre p.e. en los alrededores de Yesa , junto al rio Aragon.

El salto de esta falla es mayor en los sectores occidentales, es decir por el alto de Loiti, de donde toma nombre, mientras que hacia el este, ademas de adoptar una direccion E-O, va perdiendo salto, hasta llegar a desaparecer como tal en el pantano de Yesa.

Asi se reconoce un salto importante en la Hoja en el puerto de Loiti (Hoja 174-I Aibar), poniendose en contacto los sedimentos marinos del Bartonense ("Margas de Pamplona") con los depositos continentales oligocenos de la Sierra de Izco o en las proximidades de Las Ventas de Judas, en la carretera a Aibar. Hacia el sureste, en los alrededores de Liédena, este salto va disminuyendo, descomponiendose ademas este accidente en otros de componente inversa y vergentes hacia el sur, pero ya de menor envergadura. Un buen punto de observacion de este accidente se tiene en la pista que desde esa localidad se dirige a la boca sur de la Foz de Lumbier (Hoja 174-II. Lumbier).

Finalmente en la Hoja, este accidente resulta dificil de seguir, entre otros por la dificultad de afloramiento, si bien , al sur del pantano de Yesa, se observa una cierta componente rectilinea que hace sospechar todavia de la continuidad de este accidente, al menos en los limites del area estudiada. No obstante mas hacia el este se tiene constancia de la desaparicion, al menos en superficie de este accidente.

### 3.3. CRONOLOGIA DE LA DEFORMACION

La falta de afloramientos tanto paleozoicos como mesozoicos, a excepcion de los de la Sierra de Leyre en el area estudiada, impide el establecimiento de una cronologia de la deformacion, al menos para esos tiempos, por lo que hay que remitirse a los datos existentes a nivel regional.

Se sabe de la existencia inicialmente de un rifting generalizado en el seno de la placa iberica construido a favor de muchos accidentes tardihercinicos reactivados. Esta etapa extensional, comienza en el Golfo de Vizcaya a principios del Cretacico inferior, creando una cierta inestabilidad y un surco subsidente en regimen transtensivo durante esos tiempos, en el espacio que actualmente ocupan los Pirineos. Posteriormente estas cuencas estaria sujetas a una inversion estructural

En el Cretacico superior, a partir del Cenomaniense, se produce un cambio en la deformacion pasandose a un regimen de deslizamiento lévogiro de tipo transpesivo, que va a continuar hasta el Maastrichtiense. Durante este periodo de tiempo se forman las primeras estructuras de acortamiento, como el manto de Lakora o las de Bóixols-Turbón ya en el Pirineo central (TEIXELL 1992).

A finales del Cretacico y/o principios del Terciario, comienza la tectogenesis alpina. Durante el Paleoceno se produce un importante cambio paleogeografico que culminara con la creacion de una cordillera emergente y dos cuencas de antepais. Inicialmente se individualiza la cuenca surpirenaica, como cuenca de antepais subsidente al pie del orogeno y de direccion paralela a su eje, incorporandose posteriormente en disposicion piggy-back.

El acercamiento definitivo entre las placas iberica y europea, motiva la creacion de un cinturón de pliegues y cabalgamientos, que se propagan hacia el antepais en secuencia de bloque inferior. Estas estructuras se agrupan en las denominadas "lamina cabalgantes (mantos) inferiores y superiores". La colision de placas culmina en el Eoceno, durante el Luteciense, con la denominada "fase pirenaica", si bien el regimen compresivo perdura hasta comienzos del Mioceno.

El manto de Lakora, es decir, su rampa frontal, genera a su pie la cuenca turbiditica de Jaca-Pamplona. Durante el Luteciense se producen una serie de cabalgamientos,

que perduran hasta el Bartonense y motivan la evolución continuada de las estructuras y la propagación progresiva de la deformación hacia el sur y hacia el oeste, como lo demuestra la presencia de pliegues submeridianos en las Sierras Exteriores (TEIXELL 1992).

A partir del Eoceno superior, los cabalgamientos de basamento de la Zona Axial, adquieren un notable e importante desarrollo, emergiendo sobre las rocas de la cobertera ya deformadas anteriormente. Durante este intervalo y en el Oligoceno inferior-medio, se produce el mayor desplazamiento de la vertiente sur del Pirineo sobre la cuenca del Ebro a favor de un cabalgamiento basal.

Esta traslación hacia el sur se traduce en la deformación interna y de manera progresiva de los depósitos clásticos, cuya geometría corresponde a sistemas de pliegues y cabalgamientos en las series paleógenas y a la emergencia del frente o rampa frontal de cabalgamiento, que da lugar a las Sierras Exteriores. Un ejemplo particular de la migración hacia zonas meridionales es el aislamiento del sinclinal sinsedimentario de Guarga, donde se registran los materiales más modernos de la cuenca de Jaca y cuyo sector más septentrional, se ve sometido a una imbricación y desmantelamiento.

Las estructuras de plegamiento del relleno sintectónico de la cuenca de antepaís, pueden corresponder a veces a cabalgamientos ciegos que llegan incluso a afectar a la cobertera mesozoica subyacente, siendo algunos característicos de *growth -folds* (IGME 1987). Es decir estarían relacionadas con pliegues sinsedimentarios.

Durante el Oligoceno superior y Mioceno inferior continúa la deformación y tiene lugar el emplazamiento definitivo de lo que se viene llamando el Manto de Gavarnie dando lugar a una serie de estructuras plegadas y/o cabalgantes hacia el sur a lo largo del frente surpirenaico, así como la propagación de despegues no emergentes hacia la cuenca de antepaís pasiva, es decir de la actual cuenca del Ebro.

El acortamiento orogénico causado por la colisión de las placas, produjo un notable engrosamiento de la corteza continental en la mayor parte del ámbito pirenaico. Posteriormente el reajuste isostático ha provocado la surrección del relieve montañoso actual.

La estructura alpina de la zona estudiada es función de la orientación e intensidad de las distintas fases compresivas y la naturaleza y disposición de los materiales que configuran la cobertura sedimentaria. En el marco de la Hoja, la compresión alpina se refleja por el desplazamiento hacia el sur de los cabalgamientos bien de bajo ángulo como el de la Sierra de Leyre o de alto ángulo como el de la falla de Loiti, así como con las estructuras plegadas de Sangüesa, Aibar, Yesa y Eslava. Estas estructuras, tanto los pliegues como las fallas asociadas, presentan una dirección general E-O y N.NO-S.SE.

## **4. GEOMORFOLOGIA**

### **4.1. SITUACION GEOGRAFICA**

La Hoja de Tiermas (175-I), a escala 1:25.000, ocupa el cuadrante NO de la Hoja de Sigües (175), a escala 1:25.000 y sólo el sector septentrional y el occidental pertenecen a territorio navarro correspondiendo, el resto, a la Comunidad Autónoma de Aragón. La zona estudiada pertenece al sector más oriental de la Comunidad de Navarra y está situada en las proximidades del Embalse de Yesa.

El relieve es montañoso y accidentado destacando la sierra de Leyre al norte, donde se localizan las mayores alturas de la Hoja, sobresaliendo el Pico Escalar con 1200 m de altura el Paso del Oso con 1332 m y el Paso Ancho con 1359 m. Desde estos parajes, y mirando hacia el sur, se observa una amplia panorámica del relieve de la zona, en la que hay que incluir el gran escarpe de la sierra de Leyre. Ya hacia el suroeste, desciende la cota, y aparecen las mínimas alturas en el Embalse de Yesa, con unos 500 m aproximadamente en los alrededores de la cerrada.

La red de drenaje se ordena en torno al río Onsella, represado en el límite oeste de la hoja para dar lugar al Embalse de Yesa. Este río es tributario del Aragón, al que se une en la contigua hoja de Sangüesa (174). El resto de los cauces son estacionales y han labrado profundos valles y acusados barrancos en su proceso de encajamiento. Destacan los barrancos de Vallenegra, Fuentefría, Forcillón y Valdetaco, al norte, y los de Marmayo y Cardonera, al oeste.

Las características climáticas están parcialmente reflejadas en uno de los esquemas que acompaña al mapa geomorfológico. En él se observa que la precipitación media anual está comprendida entre los 700 y 1000 mm y la temperatura media anual entre 10 y 12°C. Estos parámetros definen un tipo climático Mediterráneo Templado con un régimen de humedad Mediterráneo Templado Húmedo.

Los núcleos de población son apenas dos, Tiermas y Ruesta, ambos pertenecientes al Comunidad Autónoma de Aragón y actualmente abandonados. Esto explica que la única actividad de la zona sea exclusivamente agrícola y ganadera, no existiendo ninguna actividad industrial.

La infraestructura viaria dentro de la Hoja es escasa, destacando como principales vías de comunicación la carretera que une Pamplona con Jaca, que discurre por la margen septentrional del embalse de Yesa y de la que parten los accesos al valle del Roncal. En la margen meridional existe una carretera comarcal que accede a la N-240 en la contigua hoja de Sigües.

## **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, nuevos datos sobre las características de los depósitos más recientes, concretamente de edad cuaternaria. Por otra parte, la realización por I.T.G.E. y ENRESA del “Mapa Neotectónico y Sismotectónico de España, a escala 1:1.000.000” arroja alguna información complementara sobre este sector de Navarra.

## **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 sus características.

### **4.3.1. Estudio morfoestructural**

Desde el punto de vista morfoestructural, la Hoja de Tiermas, se sitúa en la zona Surpirenáica, perteneciendo al Dominio Pirenaico, en su límite con la Cuenca del Ebro. Dentro de ésta última, se situaría en el Sector de la Canal de Berdún o de la denominada Cuenca de Pamplona - Jaca.

Las características del relieve, bastante accidentado están muy condicionadas por la estructura, además de por la litología y la tectónica. Los mayores relieves se localizan en el sector norte de la sierra de Leyre donde los materiales cretácios alcanzan alturas

superiores a los 1000 m. Allí destacan formas estructurales como cuestas y “hog backs”, resaltes de capas duras y escarpes con saltos superiores a los 100 m. Todos ellos presentan buzamientos hacia el norte. Por otra parte, en el sector más meridional, al sur del Embalse de Yesa, también se encuentran este tipo de estructuras, pero todas ellas son de pequeñas dimensiones, con buzamientos hacia el sur y suroeste. Se reconocen además crestas con desniveles superiores e inferiores a los 100 m, en los parajes de La Refaya y el Alto de las Ripas.

Pero el accidente más impresionante es el gran escarpe que la Sierra de Leyre ofrece hacia su vertiente sur, con un salto aproximado de 800 m menos de 4 km. El panorama que se observa desde el borde del mismo es de gran espectacularidad, permitiendo la visión del relieve regional.

La morfología de la red de drenaje es otro de los aspectos que refleja magníficamente la influencia de la estructura en la configuración del relieve. La linealidad de algunos cauces, la orientación preferente de muchos de ellos y los cambios bruscos en los perfiles longitudinales, indican que las aguas circulan preferentemente por las zonas de mayor debilidad o de máxima pendiente.

Las direcciones dominantes de las líneas de flujo, tal y como se puede observar en el Mapa Geomorfológico, son o bien perpendiculares, o bien paralelas a las principales estructuras. En este último caso suelen circular por los materiales más blandos o por áreas de máxima debilidad como sucede con el río Onsella, actualmente represado dando lugar al Embalse de Yesa. Concluyendo, las direcciones principales de la red son de E-O a ONO-ESE y de N-S a NNE-SSO. También puede apreciarse en el sector más septentrional, como algunos cursos se encajan perfectamente por zonas de fallas y fracturas.

La morfología de esta red es de tipo dendrítico, subtipo angular, con una densidad media general. Las redes de tipo dendrítico son características de áreas con litologías muy homogéneas o con sedimentos estratificados en los que alternan materiales de diferentes competencia, dispuestos en series monoclinales. Este último hecho es muy frecuente en todo este sector del territorio navarro.

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

En este apartado se describen todas las formas cartografiadas en el mapa geomorfológico, tanto erosivas como sedimentarias, y que han sido originadas por la acción de los procesos externos. Se describen también dichos procesos según su importancia, y se consideran, en todas aquellas que tienen depósitos: el tamaño, la potencia, la distribución espacial y su relación con otras formas.

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

El desarrollo de la morfología fluvial es muy importante, destacando principalmente la de carácter erosivo. Los depósitos son bastante escasos limitándose a los fondos de valle, algunos conos de deyección y unos pocos afloramientos de terrazas.

Los fondos de valle están constituidos por un depósito mayoritariamente de gravas calcáreas, pero con componentes cuarcíticos y areniscosos, empastados en una matriz arenoso-arcillosa. La morfología, en planta, es la de bandas alargadas y estrechas con un trazado muy variable, a veces rectilíneo, a veces ondulado o serpenteante.

Relacionados con los fondos de valle aparecen los conos de deyección. Son formas poco frecuentes, en esta Hoja de Tiermas, y se generan a la salida de algunos barrancos y arroyos, al desaguar éstos en un cauce de rango superior. Los que existen son de pequeño tamaño y su dimensión es variable dependiendo de diversos factores como clima, pendiente del cauce que lo origina, longitud, anchura cambio de pendiente y tamaño de la zona de recepción. En este caso son pequeños debido a las acusadas pendientes y a la estrechez de los valles y aparecen en los extremos NE y SO de la zona estudiada.

Otra de las formas significativas son las terrazas, aunque aquí sólo existe un pequeño afloramiento en el límite oeste de la Hoja, en la margen sur del río Onsella. Se trata de una banda estrecha y alargada, paralela al cauce, con una superficie extremadamente plana y un escarpe limpio debido a la erosión del río.

Por lo que se refiere a las formas de erosión, destaca una importante red de incisión que, en la mayoría de los casos, da lugar a numerosos valles y barrancos en "v". Este

acusado proceso de erosión se debe a la montañoso de la zona, a lo acusado de las pendientes y a que, en gran parte, se trata de una zona de cabeceras.

Estas condiciones, junto con el carácter húmedo de la región dan lugar a incisiones y profundas entalladuras que terminan en una morfología abrupta, donde alternan los barrancos con los interfluvios agudos o en arista. La existencia de materiales blandos, intercalados en otros más duros, favorece el desarrollo de estas formas.

Los procesos de incisión dan los mejores ejemplos al norte de la Canal de Berdún donde proliferan las cárcavas, con marcadas cabeceras, y la formación de barrancos.

Finalmente en el sector septentrional se generan hermosos ejemplos de hoces y cañones dentro de las litologías calcáreas. Como es de suponer hay una importante intervención de los procesos kársticos.

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

Dentro de este grupo se ha cartografiado coluviones, coluviones de bloques y desprendimientos.

Los coluviones aparecen al pie de las laderas de los principales valles y son originados por la acción conjunta del agua y de la gravedad. Morfológicamente dan una serie de bandas estrechas alargadas y paralelas a los ríos. Otras veces y en zonas de pendientes fuertes pueden reconocerse derrubios ordenados aunque la falta de perfiles dificulta su diferenciación lo que ha llevado a incluirlos a todos en el mismo grupo.

En cualquier caso son muy poco numerosos, apareciendo apenas en algunos valles. Otro tipo de coluviones son los coluviones de bloques. De mayor potencia y dimensiones que los anteriores, se instalan en la vertiente meridional de la Sierra de Leyre. Dan una gran banda de sedimentos caracterizada por el tamaño de los bloques que incluye. En el sector norte también aparecen este tipo de depósitos, pero siempre con menor espectacularidad.

Los desprendimientos son frecuentes al pie de las grandes crestas y escarpes por roturas de los niveles más duros. El resultado es una serie de bloques de gran tamaño que caen a cotas inferiores de la ladera por pérdida de estabilidad.

#### **4.3.2.3. Formas kársticas**

Se localizan en el sector septentrional sobre los materiales carbonatados que constituyen la parte superior de la Sierra de Leyre (Cretácico). Estas formas son debidas a las procesos de disolución produciéndose a veces, resultados muy espectaculares desde el punto de vista geomorfológico.

En la Hoja de Tiermas la manifestación más clara es un intenso lapiaz, en el que se reconocen una serie de formas menores como: pasillos, alveolos, crestas, senos, oquedades, chimeneas, etc. Estas formas pueden aparecer total o parcialmente cubiertas por arcillas de descalcificación. Las dolinas, aunque escasas, se reconocen en un par de parajes y en su fondo también se alojan los residuos del proceso de disolución.

En el desarrollo de los procesos kársticos existe una gran influencia de la litología, la estructura y sobre todo de la fracturación, puesto que la existencia de líneas de debilidad o discontinuidad favorece la penetración del agua y la circulación de la misma dentro del macizo. La presencia de una estación fría, con precipitación sólida, acelera en este caso el proceso, ya que las aguas de fusión son muy agresivas.

Los procesos de disolución en las formaciones carbonatas son funcionales en la actualidad, como lo demuestran los numerosos sumideros y surgencias existentes en el área, así como algunos pequeños hundimientos. Lo más difícil es precisar el comienzo de estos procesos dentro del tiempo geológico reciente, aunque muchos autores suponen que pueden iniciarse a finales del Terciario o principios del Cuaternario.

#### **4.3.2.4. Formas poligénicas**

Son todas aquellas en las que intervienen dos o más procesos en su formación. Dentro de esta Hoja de Tiermas, la unidad más representativa la constituyen los glacia

situados al pie de la Sierra de Leyre. Aunque sólo se ha cartografiado el sector navarro, esta formación continúa por tierras aragonesas con igual representación.

Constituyen formas de relieve suave al pie de esta gran elevación y su morfología es muy característica. Son por lo general alargadas, tienen bordes lobulados y perfil longitudinal plano - cóncavo, aumentando esta concavidad hacia la zona de cabecera su tamaño es grande y a veces ofrecen escarpes netos hacia los valles, al quedar disectados por la red fluvial.

Por otra parte la observación del mapa geomorfológico muestra la existencia de un aplanamiento en la Sierra de Leyre entre los 1.100 y 1.200 m. Por la cota a la que aparece podría correlacionarse con la Superficie de Erosión Fundamental de la Cordillera Ibérica (PEÑA et al. 1984), también reconocida en la Cordillera Cantábrica. Sin embargo al estar tan degradada, y al encontrar sólo estos pequeños retazos, no podría asegurarse que tan correlación sea concluyente. No obstante, en la cartografía geomorfológica se ha representado como una superficie de erosión.

Dentro de este grupo se han incluido también los depósitos aluviales - coluviales.. Son escasos y se localizan en el sector nororiental de la Hoja. Presentan características mixtas entre los aluviales y los coluviales, pero sólo en cuanto a su depósito. Se desarrollan en valles algo abiertos, donde los flujos son esporádicos y poco definidos y en donde se mezclan los sedimentos del fondo del valle con los aportes procedentes de las laderas.

#### **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 relieve existente en la actualidad. La característica fundamental es que deben ser cartografiables a la escala de trabajo y estar definidas por una serie de atributos tales como geometría, textura, litología, potencia y, en algunas ocasiones, edad.

Las formaciones superficiales más representativas en esta Hoja son las de carácter fluvial destacando, entre ellas, los fondos de valle. Están constituidos por gravas y cantos de diversa naturaleza, pero principalmente areniscosa, empastados en una matriz arcillosa - arenosa con un cierto contenido en carbonatos que a veces se

acumula alrededor de los cantos dando camisas Otras veces cementan la base de algunos niveles. El tamaño medio de los cantos está comprendido entre 5 y 8 cm y el máximo, observado en campo, es aproximadamente de 40 cm aunque en algunos puntos se puedan superar estas dimensiones. La abundancia de bloques se debe a la elevada capacidad erosiva de estos cursos de agua como consecuencia de las diferencias altimétricas y de un clima con altas precipitaciones. Además, la presencia de una estación fría favorece la fragmentación de las rocas y la puesta en movimiento de dichos fragmentos a través de los cauces. La potencia de estos depósitos no parece superar los 4 m, y a veces son muy poco potentes.

Asociados a los fondos de valle, aparecen los conos de deyección, sólo en los dos principales valles. Son también depósitos de textura granular, heterométrica y poseen un escaso grado de compactación. Litológicamente son similares a los fondos de valle puesto que en la mayoría de los casos tienen un origen común, aunque pueden presentar diferencias locales. Por lo que se refiere al tamaño de grano, existen importantes variaciones dentro del mismo depósito, disminuyendo acusadamente desde la zona apical a la distal. La potencia también varía en el mismo sentido, desde 4-6 m hasta pocos centímetros, y son algo más potentes los conos de menor tamaño. Al igual que los fondos de valle, se les asigna una edad holocena.

Los cauces activos son depósitos formados por gravas, arenas y cantos, aunque ocasionalmente incluyen bloques. Los cantos son de litología muy variada: areniscas, calizas, etc. Se organizan en barras fluviales, bien en zonas próximas a los márgenes de los grandes ríos o en los sectores centrales. Su morfología es perfectamente apreciable en distintos puntos de los cursos y suelen variar en el tiempo.

Por lo que se refiere a las formaciones superficiales de ladera, se describen a continuación los coluviones y los coluvioens de bloques. Los primeros son depósitos con muy poco espesor y representación superficial y se encuentra repartidos de forma irregular por toda la Hoja. Se localizan al pie de las laderas de los principales valles junto a los relieves, tratándose en cualquier caso de depósitos de poca entidad. Litológicamente su composición es muy variable ya que dependen del sustrato sobre el que se desarrollan. Lo más frecuente es encontrar lutitas de color ocre empastando cantos angulosos y subangulosos de areniscas y a veces de calizas. Por su posición al pie de las laderas y su relación con el resto de los depósitos cuaternarios se asignan al Holoceno.

En cuanto a los segundos, se trata de un conjunto caótico y heterogéneo de depósitos al pie de los grandes relieves de la zona, preferentemente de Sierra de Leyre y sus estribaciones occidentales. Se pueden reconocer perfectamente de visu en las laderas que conforman la falda meridional, entre las proximidades del Monasterio de Leyre y las proximidades de Lumbier. Se trata de unos depósitos formados por cantos y bloques, empastados en una masa caótica de margas y/o lutitas de tonalidades grises o rojizas y que a veces pueden llegar a estar ligeramente cementados por carbonatos.

Los bloques son de gran tamaño llegando a destacar incluso de lejos, ya que pueden alcanzar un tamaño considerable, de 2 a 3 m e incluso más. Su composición también es diversa, encontrando bloques y cantos de calizas eocenas así como de areniscas y calcarenitas cretácicas. Todo este conjunto enmascara notablemente los afloramientos del sustrato que conforman dichas laderas. Por su posición se les atribuye al Holoceno.

Las formaciones superficiales de origen kárstico están representadas exclusivamente por las arcillas de descalcificación que rellenan el fondo de las dolinas y uvalas. Litológicamente se trata de arcillas rojas ("terra rosa"), de poco espesor, de orden decimétrico a métrico, con cantos procedentes del sustrato. Se les atribuye una edad Plioceno - Holoceno, siendo el proceso de kastificación, funcional en la actualidad.

Finalmente, se consideran las formaciones superficiales de origen poligénico, representadas principalmente por los glaciares de acumulación.

Estos depósitos constituyen, sin duda alguna, una de las formaciones más características de la región, tanto por su litología como por su morfología, ya que dan lugar a extensas y vastas planicies al pie de los relieves, con una pendiente muy suave descendiendo hacia la red fluvial actual. Su disposición, casi subhorizontal, en las zonas más próximas a los interfluvios ha hecho que en ocasiones se confundan con terrazas fluviales, si bien la litología resulta el elemento diferenciador entre ambos tipos de depósitos. Se reconocen en el valle del Aragón, concretamente en la depresión de Sangüesa, a ambos márgenes del río. Sus afloramientos, por lo general, se localizan a favor de pequeños cantiles. El canal de Las Bardenas ofrece excelentes perfiles de esta unidad.

En la Hoja de Tiermas (175-I), al pie y en la vertiente sur de la Sierra de Leyre, se aparecen excelentes afloramientos, concretamente en el límite oriental de la zona estudiada. Los mejores se localizan en la carretera de Pamplona a Jaca, en el entorno del embalse de Yesa. Litológicamente se caracterizan por la presencia de gravas y arenas con lutitas que pueden contener abundantes bloques. Todo este conjunto se organiza de forma heterogénea y caótica, donde predominan indistintamente las lutitas sobre los depósitos más groseros o viceversa. Las gravas presentan cantos de subangulosos a subredondeados y los bloques, por lo general de gran tamaño, pueden llegar a alcanzar proporciones métricas. Uno de los criterios diferenciadores respecto a las terrazas fluviales es la presencia de clastos, de tamaño decimétrico a métrico, subangulosos, de areniscas ocreas, procedentes del desmantelamiento de los relieves próximos. Este tipo de fragmentos se localiza preferentemente hacia los términos inferiores de la unidad, mientras que hacia techo predominan las lutitas. El espesor de estos depósitos es muy variable, fluctuando entre 2 y 10 m, como se observa en el embalse de Yesa.

Su origen está íntimamente ligado a la historia reciente de la región. A veces se observan dos generaciones de glaciares, como ocurre en la Hoja 174-IV Sangüesa, al pie de los relieves de la Sierra de San Pedro, junto al canal de Las Bardenas, si bien una de ellas, la más antigua, es bastante relictas. También, aunque fuera de zona, en la falda meridional de la Sierra de Leyre, se reconocen distintas generaciones lo que pone de manifiesto la compleja historia a la que la región se vio sometida durante el Cuaternario. En cuanto a la edad, la disposición y relación con los sistemas de terrazas, de la red fluvial del Aragón, hace asignarlas al Pleistoceno.

Otros depósitos de carácter poligénico son los aluviales coluviales. Se trata de un conjunto de depósitos de origen fluvial que, por la morfología, diferente de la de los fondos de valle, evidencia aportes laterales difíciles de separar de los propiamente fluviales. Por lo general se localizan en áreas de topografía muy suave y en zonas de cursos de carácter ligeramente divagante y bastante efímeros. Su litología por regla general, corresponde a materiales finos, lutíticos, que engloban cantos, bien procedentes de las zonas laterales o arrastrados por el propio curso del arroyo.

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

La evolución geomorfológica de esta zona de estudio, se encuentra inmersa dentro de la evolución regional del Pirineo Navarro, por lo que siempre hay que enmarcarla dentro de un contexto general más amplio, debido a la necesidad de tener puntos de referencia claros a partir de los cuales se puede reconstruir la historia del modelado. Por ello, hay que decir que esta zona se encuentra en el Pirineo Occidental o Pirineo Navarro, concretamente en la Zona Surpirenaica oriental limitando con la Cuenca del Ebro.

Desde un punto de vista geomorfológico el nivel de referencia más antiguo lo constituye la superficie de erosión o, mejor dicho, los retazos de una superficie de erosión desarrollada en la Sierra de Leyre. El problema principal de este arrasamiento es conocer su edad pues no existen sedimentos recientes en áreas próximas que puedan relacionarse con él. No obstante, si se pudiera asimilar a la Superficie de Erosión Fundamental de la Cordillera Ibérica (PEÑA et al. 1984), su edad sería Vallesiense - Plioceno, coincidiendo con el final del ciclo neógeno, representado por las calizas del Páramo. A pesar de ello, la ausencia de depósitos de edad comprendida entre el Mioceno y el Cuaternario impide reconstruir detalladamente la evolución de dicho lapso de tiempo. La realización, en un futuro, de trabajos geomorfológicos en hojas próximas a sectores más centrales de la Cuenca del Ebro permitirá completar muchos de los datos de los que ahora se carece.

Al finalizar la sedimentación terciaria, existe en todas las cuencas un período en el que tienen lugar una serie de procesos edáficos con formación de costras, karsts, etc., que dejan su huella en las calizas terminales de las principales cuencas. A partir de este momento se produce un gran cambio que 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 donde son frecuentes barrancos, cañones, hoces, aristas, como corresponde a una morfología abrupta.

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

Para finalizar este apartado hay que añadir que a medida que avanza el Cuaternario (Pleistoceno medio y superior), la red fluvial continúa su proceso de instalación, dejando en algunos tramos depósitos aluviales (terrazas). Se inicia además la formación de nuevos cauces, es decir, la red secundaria. Mientras tanto la morfología que se va elaborando, tanto en las laderas (cóncavas, convexas, regularizadas, etc.), como en los valles (simétricos, asimétricos, en artesa, en "v", en "u", etc.), depende en cada punto de la litología, del clima y de la tectónica local.

#### **4.6. PROCESOS ACTUALES**

La Hoja de Tiermas ofrece dos zonas de relieve muy diferente: el sector septentrional de relieve medio suave y el sector occidental de grandes contrastes altimétricos desde el borde de la Sierra de Leyre hasta el Embalse de Yesa. Esta diferencia supone, de partida, la distribución de los procesos según los sectores.

En la zona septentrional, con predominio de sedimentos carbonatados, los procesos principales son los de alteración química y erosión fluvial.

Por lo que se refiere a los procesos de alteración química, destacan los de disolución, responsables del desarrollo kárstico que en esta zona son medianamente acusados. Estos procesos tienen una funcionalidad manifiesta en la actualidad, como lo reflejan los sumideros y surgencias en las áreas calizas, así como los pequeños hundimientos que hoy en día se producen.

Dentro de la erosión fluvial, uno de los procesos más acusados y generalizados es el de la incisión vertical de la red fluvial, que ha dado lugar a profundos barrancos, sin depósito alguno, como sucede en muchos tramos de la red menor. La causa de esta erosión tan intensa es la pertenencia de este sector a un área de montaña, próxima a una gran divisoria, donde se instalan numerosas cabeceras, haciendo dicha erosión

dominante, al menos en un futuro inmediato. La erosión será más o menos intensa, según las zonas, dependiendo del clima, del nivel de base local, de los movimientos tectónicos recientes y sobre todo de la intervención de los procesos kársticos.

En el sector occidental los procesos dominantes son los de ladera y los de incisión fluvial, pero estos últimos con características algo diferentes a los del sector norte.

Los procesos de ladera también se manifiestan activos y están representados por las caídas de bloques y algunos deslizamientos. Los primeros se producen a partir de los escarpes carbonatados de la Sierra de Leyre, debido a su 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. En la hoja de Tiermas, este hecho es normal en la mayoría de los escarpes existentes.

En cuanto a los procesos de erosión fluvial, la presencia de sedimentos blandos da lugar a algunas zonas con proliferación de cárcavas y barrancos acusados, dando un paisaje de "bad lands". Todo esto puede observarse al norte del Embalse de Yesa en los alrededores de la Fuente de Boj.

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 las grandes venas de agua.

## 5. HISTORIA GEOLÓGICA

El registro sedimentario en la zona estudiada abarca desde finales del Cretácico hasta el Eoceno superior- Oligoceno inferior, si bien en zonas proximas el registro sedimentario es algo mas alto. El area de estudio forma parte de la cuenca de antepaís surpirenáica, distinguiéndose al Norte el aloctono de la Sierra de Leyre, en el sector central el dominio de la Cuenca de Pamplona con sedimentación esencialmente marina hasta finales del Eoceno y a al Sur las series ya continentales que caracterizan al Paleógeno de este sector del Pirineo navarro

La Cuenca de Pamplona presenta un comportamiento geodinámico conforme a un modelo de tipo piggy-back con desplazamiento solidario hacia el Sur con la lámina cabalgante de Gavarnie.

En el Cretácico superior se inicia el desplazamiento de la placa ibérica hacia el Norte dando lugar en la región donde se encuentra la zona de estudio a una individualización temprana de la cuenca de antepaís surpirenáica que funciona consecuentemente como un foreland basin. Los depósitos más antiguos existentes en la zona de estudio o areas proximas corresponden al Campaniense-Maastrichtiense. En este contexto cronoestratigráfico la sedimentación se articula a partir de sistemas deltaicos emplazados en una cuenca abierta hacia el ONO, sentido en el que las series aumentan de potencia y se verifica el tránsito a facies progresivamente más profundo.

La sucesión finicretácica se presenta como una secuencia de marcada tendencia somerizante generada bajo un dispositivo de progradación deltaica hacia cuenca que se encuentra definida por el desarrollo a facies pelíticas a muro y progresivamente más proximales hacia techo, culminando con el depósito de la facies Garumniense en un medio esencialmente continental.

En el Paleoceno quedan definidos a nivel regional los dominios Pirenáico y Vasco-Cantábrico. En el área estudiada la base del Paleoceno corresponde a una superficie de truncación muy neta y la sedimentación hasta el llerdiense inferior-medio es esencialmente carbonatada y se emplaza en medios de plataforma somera caracterizando el margen meridional de la cuenca. Al igual que en el Cretácico

superior la cuenca se abre hacia el ONO, sentido en el que profundiza el surco sedimentario.

A techo del conjunto carbonatado del Paleoceno-Ilerdiense se registra una importante laguna estratigráfica que comprende el Ilerdiense-medio-superior y la mayor parte del Cuisiense.

A partir del Ilerdiense medio-superior y hasta el Luteciense superior cabe hacer desde el punto de vista regional, las siguientes consideraciones generales:

.Establecimiento de un surco turbidítico (Grupo de Hecho) paralelo a la cadena, nutrido por sistemas deltaicos de procedencia nororiental, correlativo con plataformas carbonatadas o series adelgazadas y condensadas en el margen meridional de la cuenca.

.Desplazamiento progresivo del surco sedimentario hacia el Sur como consecuencia del empuje de la cadena y por sectores, retroceso en el mismo sentido de los plataformas carbonatadas y deltaicas del margen meridional de la cuenca.

.Desarrollo de niveles olistostrómicos-guía (Megaturbiditas), en el seno de la serie turbidítica, generados por desestabilizaciones repentinas de las plataformas carbonatadas marginales.

En la zona de estudio, desde finales del Cuisiense y hasta el Bartonense la sedimentación marina se puede agrupar en tres conjuntos deposicionales:

.El primero acontece a finales del Cuisiense superior-Luteciense inferior. Está representado al Sur por depósitos de plataforma carbonatada (Fm Guara, PUIGDEFABREGAS, 1975). En la Foz de Arbayún se verifica el tránsito lateral hacia el Norte de las facies carbonatadas a depósitos margocalcareos propios de talud y margen de plataforma. El conjunto descrito se correlaciona por su edad y posición estratigráfica con los depósitos turbidíticos de la unidad de Cotefablo ( REMACHA 1983) que caracterizan el intervalo del Grupo de Hecho comprendido entre la MT4 y MT5 de LABAUME et al (1983).

El contacto con la serie paleocena-ilerdiense es discordante, remarcado por la existencia de una destacada laguna sedimentaria. La disposición general del conjunto se realiza mediante una relación de on-lap con el infrayacente de modo que hacia el Norte se alcanzan niveles cronoestratigráficos progresivamente más bajos.

El segundo acontece durante el Luteciense superior y constituye un intervalo claramente discordante sobre las calizas de la Fm Guara, presentando una evidente relación de on-lap hacia el sur. Esta representado por facies de margen de plataforma-talud y hacia el Norte pasa a las facies turbidíticas de la unidad de Fiscal, enmarcada entre la MT5 y MT7.

En conjunto la serie muestra un marcado adelgazamiento hacia el Sur con desarrollo de series condensadas en los sectores más meridionales. La organización secuencial indica una tendencia de somerización relativa hacia techo donde aparecen términos comparativamente más someros y carbonatados.

Finalmente el tercero tiene lugar durante el Luteciense superior-Bartoniense. Está representado por un potente sucesión de facies margosas características de ambientes marinos muy profundos. Todo el conjunto manifiesta una organización negativa resultante de una secuencia somerización con desarrollo de facies pelágicas y turbidíticas, ( Flysch de Irurzoki), seguidas de términos prodeltaicos, para terminar con la generación de plataformas deltaicas distales (Limolitas de Urroz).

El conjunto se dispone claramente en relación de on-lap hacia el sur, adelgazándose considerablemente la serie en el mismo sentido. La base está marcada por la existencia de una megatubidita carbonática (MT7 de LABAUME et al, 1983), que integra elementos clásticos procedentes de las unidades eocenas infrayacentes.

La transgresión "Biarritziense" descrita por numerosos autores a nivel peninsular, está caracterizada en la región por el desarrollo de una potente sucesión pelítica que se conoce como " Margas de Pamplona". A pesar de su aparente homogeneidad, el conjunto de los Margas de Pamplona se subdivide en dos ciclos deposicionales. El Ciclo Inferior (Bartoniense) está representado por facies margosas prodeltaicas (Margas de Pamplona en sentido estricto) y es correlativo con los depósitos de frente deltaico de la Fm Belsué-Atarés desarrollados más al Este.

La base del ciclo superior (Priaboniense inferior) está marcada por la existencia de una importante incisión asimilada a un cañón submarino cuyo relleno está evidenciado por el desarrollo de canales turbidíticos imbricados (turbiditas de Yesa, Gongolaz y Tábar). La parte alta del ciclo está caracterizada por facies pelíticas prodeltaicas (Margas de Ilundain) y localmente se preservan a techo, términos deltaicos someros (Calcarenitas de Celigüeta). Todo el conjunto del Bartonense-Priaboniense inferior se adelgaza notablemente hacia el Sur en el subsuelo del área estudiada. En el sondeo Sangüesa-1, el espesor del conjunto es de unos 150 m, contrastando con los mas de 1500 m. registrados en la cuenca de Pamplona.

La regresión finieocena ocurrida a lo largo del Priaboniense superior indica una importante estructuración de la cuenca, con sedimentación evaporítica y lagunar en medios confinados. La Fm Guendulain (PUIGDEFABREGAS,1975) es el representante sedimentario de este episodio. En la base aparecen depósitos de cloruros sódicos y sódico-potásicos generados en lagunas costeras hipersalinas que indican un momento de máximo confinamiento en la cuenca, con descenso de la lámina de agua y producción de salmueras muy concentradas bajo un régimen climático arido.

Posteriormente se registra un estadio de dilución en la cuenca por entrada de aguas continentales con aporte de material en suspensión (Margas Fajeadas) ligadas a la progradación hacia el Sur de un sistema deltaico lagunar (Areniscas de Liédena) con estructuras características de un régimen inter-supramareal con oscilaciones de rango micromareal.

Las Areniscas de Liédena-constituyen el último depósito con influencia marina en toda la cuenca de antepaís surpirenaica y de acuerdo con su distribución paleogeográfica, se extiende desde la parte meridional de la cuenca de Pamplona, penetrando en el dominio de la Cuenca del Ebro donde se encuentran en el subsuelo bajo una potente serie aluvial oligocena.

A pesar de no tener registro en la Hoja interesa destacar que la sedimentación continental terciaria en la cuenca del Ebro se realizo en condiciones endorreicas a lo largo del Oligoceno hasta el Mioceno inferior-medio. La zona de estudio se encuentra próxima al borde septentrional de la cuenca y el depósito está ligado a sistemas

aluviales de procedencia pirenaica que pasan hacia el S y SO a ambientes lacustres salinos característicos de los sectores centrales.

A nivel regional se evidencia una migración mantenida hacia zonas mas meridionales del surco de sedimentación aluvial a consecuencia del empuje de la cadena en el mismo sentido. Esta circunstancia, unida a una probable progresión de la actividad diastrófica da como resultado una secuencia negativa general, de tendencia estrato y clastocreciente, con desarrollo de facies aluviales cada vez más proximales hacia techo y a la aparición de series más modernas hacia el Sur.

Desde el punto de vista paleogeográfico en la region y durante el Oligoceno superior y Mioceno, bajo condiciones de sedimentación ya continental, se distinguen tres etapas evolutivas principales:

- a) Headoniense-Sueviense (Areniscas y lutitas de Javier). Los sistemas aluviales se distribuyen en dirección E-O pasando hacia occidente a facies perilacustres detrítico-carbonatadas (Facies Zabalza, PUIGDEFABREGAS, 1975)
- b) Sueviense-Arverniense. Corresponde al depósito de la Fm Rocaforte en el sentido de LEON, Y (1985) y se caracteriza por la coexistencia de sistemas aluviales de dirección E a O y N a S , definiendo una zona intermedia lutitica con deficiencias en el drenaje (Facies de Cáseda y Sangüesa, PUIGDEFABREGAS, 1975).
- c) Ageniense-Orleaniense. En esta etapa los sistemas aluviales presentan una disposición axial submeridiana y se generan facies aluviales proximales indicativas del desplazamiento hacia el sur del margen de la cuenca.

El análisis secuencial de la sucesión terciaria continental ha dado como resultado la definicion de una series ciclos sedimentarios, ocho en total, delimitados por propagaciones aluviales bruscas hacia el sur relacionados con impulsos tectónicos en los márgenes. Cada ciclo tiende a organizarse, en términos generales, de acuerdo con un episodio de actividad diastrófica menguante dando lugar a una secuencia estrato y granodecreciente. No obstante algunos ciclos tienden a organizarse de forma contrapuesta o compleja.

Por último cabe destacar que según estudios recientes, el principio del exorreísmo en la Cuenca del Ebro debió producirse en un momento próximo al Mioceno superior a partir del cual empezó la historia del vaciado erosional de la cuenca, encajamiento de la red fluvial y modelado del relieve.

Esto trae como consecuencia la instalación de una red fluvial intensa y compleja cuyos depósitos, juntos a los procedentes del desmantelamiento de los relieves a lo largo de los últimos tiempos contribuyen al modelado y actual relieve de la región.

## **6. GEOLOGÍA ECONÓMICA**

### **6.1. RECURSOS MINERALES**

En el ámbito de la Hoja se ha reconocido 3 indicios, en su mayor parte de escasa entidad. En términos generales no se registra actividad minera en la actualidad,. Se describen no obstante algunas sustancias que si bien no cuentan con indicios registrados en la Hoja, presentan posibilidades de aprovechamiento minero.

#### **6.1.1. Minerales metálicos y no metálicos**

Se ha listado un indicio de Hierro relacionado con las calizas del Thanetiense-Ilerdiense. No se conocen indicios de minerales no metálicos. Cabe destacar la existencia de indicios de cobre en las proximidades de la Hoja, por lo que, dado el interés se describe esta sustancia a continuación

##### **6.1.1.1. Cobre.**

Los indicios de cobre existente en la hoja se sitúan dentro del área meridional de concentraciones de cobre definida en el “Estudio de la Minería de Navarra” (GOBIERNO DE NAVARRA - INYPSA, 1992), donde aparecen relacionadas con niveles de areniscas de la Fm.Javier o bien de la parte superior de la sucesión terciaria (Oligoceno superior- Mioceno inferior). Las mineralizaciones se presentan como sulfuros y carbonatos de cobre. Son de tipo estratiforme y poseen un evidente origen sedimentario asociándose a depósitos de carga residual desarrollados en la base de niveles de areniscas a modo de placeres. Destacan por su tono blanquecino entre los colores ocre-rojizos generales de las areniscas.

Se estiman leyes del 0,4%, lo que unido a los elevados valores de buzamiento condiciona de forma negativa las posibilidades de explotación.

##### **6.1.1.2. Hierro**

El único indicio registrado se encuentra relacionado con las calizas del Thanetiense-Ilerdiense. La mineralización es de óxidos de hierro y se encuentra ligada probablemente a la existencia de una costra ferruginosa desarrollada a techo de los

calizas ilerdienses. El origen de la costra se atribuye a una superficie de no depósito implicando un origen sedimentario para la mineralización.

La baja ley del yacimiento, escasa extensión de la mineralización, y dificultades de acceso, condicionan de forma desfavorable su aprovechamiento potencial.

#### **6.1.2. Minerales energéticos.**

No se registra, en el ámbito de la Hoja, ningún indicio de sustancias energéticas. Cabe citar no obstante la existencia del sondeo de petróleo Sangüesa- 1 situado en el límite de las Hojas de Sangüesa y Lumbier. Fué realizado por EMPESA en 1962-63 y con una profundidad de 4776 m alcanzó materiales del Devónico proporcionando resultados negativos a causa de la inexistencia de rocas madre.

#### **6.1.3. Minerales y Rocas Industriales.**

Los indicios destacables de minerales y rocas industriales están referidos a, labores de exploración de sales desarrolladas en las cercanías de la Hoja así como a las canteras de calizas de la Sierra de Leyre.

##### **6.1.3.1. Sales potásicas.**

Se ha listado, en las proximidades de la Hoja, un indicio de sal potásica correspondientes a los sondeos de exploración Javier-1 y Javier-3 realizados en el marco de la reserva minera de Javier - Los Pintano.

Los resultados obtenidos reflejaron la similitud estratigráfica de la Fm. Evaporítica en el sector de Javier con el yacimiento del Perdón donde se ha definido la sucesión tipo. Esta queda definida de muro a techo por los siguientes tramos característicos:

- "Tramo basal anhidrítico". Potencia, 0,6 a 1m. Anhidritas laminadas y nodulares.

- "Sal de muro". Espesor medio, 10 m. Halita y polihalita, masiva y bandeada con esporádicas láminas de arcilla.

-Tramo con silvinita". Potencia, 2m. Alternancia entre halita bandeada con arcillas y silvinita. Se contabilizan hasta 18 capas de silvinita.

-"Sales intermedias". Potencia, 0 a 1m. Halita bandeada, intervalo no siempre presente que separa el tramo con silvinita del tramo carnalítico.

-"Tramo carnalítico". Potencia 10-12m. Alternancia entre halita bandeada con lutitas y carnalita. Se distinguen 8 capas principales de carnalita, las inferiores se encuentran con frecuencia transformadas a silvinita, proceso que en ocasiones afecta a todo el tramo.

-"Sales de techo" y tránsito a las "Margas Fajeadas". Potencia, 50-75m. Alternancia entre capas de halita de 1 a 4cm de espesor y lutitas laminadas con anhidrita.

-"Margas frajeadas". Espesor medio, 50m. Lutitos grises y versicolores laminados con intercalaciones de anhidrita y lenticulas de areniscas progresivamente más frecuentes hacia el techo marcando el tránsito a las "Areniscas de Liédena o Galar".

El yacimiento de potasas de Navarra se integra en un macrociclo evaporítico similar al reconocido en la cuenca potásica catalana (ROSELL Y PUEYO,1984) correspondiente a un tipo empobrecido en sulfato magnésico.

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

El origen del yacimiento se encuentra relacionado con la regresión marina finieocena, y confinamiento de la cuenca. El depósito de potasas refleja la etapa de máxima evaporación y consecuente producción de salmueras cada vez más concentradas.

**6.1.3.2. Sal común.**

Si bien no se ha listado ningún indicio de sal común, se describe en este punto por su estrecha relación con los yacimientos de potasas. De acuerdo con la sucesión-tipo descrita para la Fm. Evaporítica, se hace notar que la halita supone la litología predominante, especialmente en el tramo de “sal de muro” donde constituye la práctica totalidad de la roca. Además, la sal común se puede considerar como el subproducto principal de la explotación de las potasas.

**6.1.3.3. Calizas**

Se han registrado dos indicios de calizas, correspondientes a dos canteras contiguas situadas al Norte del Monasterio de Leyre. Se emplazan en la formación calcárea del Thanetiense- Ilerdiense, extensamente desarrollada en la sierra de Leyre.

Actualmente se encuentran inactivas. Su apertura estuvo condicionada por la construcción de la presa del embalse de Yesa.

**6.1.3.4. Areniscas.**

Si bien no se ha reconocido ningún indicio de areniscas, se describe esta sustancia puesto que debió registrar actividad extractiva en el pasado. Se tiene constancia de la existencia de pequeñas canteras de areniscas situadas en las proximidades de las localidades de mayor importancia histórica, que en la actualidad no resultan observables por haber registrado una recuperación natural. Sin embargo cabe hacer notar que la mayoría de edificios construidos desde épocas altomedievales hasta mediados del siglo XIX utilizaron areniscas tableadas del Terciario continental, de las Areniscas de Liédena y de las Turbiditas de Yesa, Gongolaz y Tábar.

**6.1.3.5. Aguas minero-medicinales.**

En la ribera septentrional del embalse de Yesa, es decir en su margen derecha, se localizan varios manantiales termales, situados en las proximidades de Tiermas y que con frecuencia se encuentran cubiertos por las aguas del embalse de Yesa. Aunque se encuentran en la Comunidad de Aragón, se describen en este punto por su proximidad al límite con Navarra.

El aprovechamiento de aguas termales en el sector se remonta a épocas romanas, dada la existencia de termas que pueden visitarse en periodos de aguas bajas del embalse.

Se dispone de escasos datos referentes a las características físico-químicas de estos manantiales termales, únicamente se tienen referencias de temperaturas máximas de surgencia superiores a los 50º y del carácter sulfuroso de las aguas.

Los manantiales mencionados tienen un evidente control estructural y parecen estar relacionados con un sistema de fallas transversas de dirección NNE.

## **6.2. HIDROGEOLOGIA**

### **6.2.1. Descripción de las formaciones**

Se aborda en el presente apartado una descripción resumida de las formaciones diferenciadas en la cartografía hidrogeológica. Las descripciones hacen referencia a tres características, que tratadas desde el punto de vista hidrogeológico corresponden a litología, geometría y permeabilidad.

#### **6.2.1.1. Margas y margocalizas. Campaniense-Maastrichtiense.**

Litológicamente se trata de una formación esencialmente margosa que hacia techo puede intercalar niveles poco potentes de margocalizas y calcarenitas de grano fino. Corresponde a la unidad (185) del Mapa Geológico y litoestratigraficamente equivale a la Fm. Margas de Zuriza (TEIXELL,1992). Los afloramientos se distinguen de forma discontinua bajo el cantil meridional de la sierra de Leyre.

Los afloramientos estan relacionados con el cabalgamiento de la Sierra de Leyre, solapándose a términos más modernos, generalmente del Paleoceno- Eoceno. La potencia máxima registrada es de unos 200 m, si bien es muy probable que se deba a una repetición tectónica, estimándose una potencia normal de unos 100m.

La permeabilidad es de baja a muy baja dado el carácter margoso y bastante homogéneo de la unidad.

**6.2.1.2. Calcarenitas y areniscas, conglomerados silíceos a techo. Campaniense-Maastrichtiense.**

Litológicamente corresponde a un conjunto de calcarenitas y areniscas que intercala en la parte inferior algunos horizontes de margas y hacia techo se hace progresivamente más terrígeno. terminando, en algunas zonas con conglomerados siliciclásticos Desde el punto de vista litoestratigráfico se asimila a la Fm. Areniscas de Marborée (SOUQUET,1967) y los términos arenisco - conglomeráticos de techo se han correlacionado con la Fm. Areniscas de Arén.

Los principales afloramientos se localizan en la Sierra de Leyre donde constituyen el principal resalte estructural, y en el fondo de la Foz de Arbayún.El contacto con la Fm margosa infrayacente es transicional, si bien se realiza de forma rápida. El desarrollo de términos conglomeráticos se restringe a los sectores orientales de la sierra de Leyre pasando hacia el NO por cambio lateral de facies a depósitos calcareníticos. La potencia del conjunto se estima en unos 100-150m si bien puede aproximarse localmente a los 200m.

La permeabilidad es media-baja y media, principalmente por facturación en materiales consolidados, aumentando, en términos generales, de muro a techo y de NO a SE por disminución de intercalaciones margosas e incremento en componentes clásticas terrígenos.

**6.2.1.3. Lutitas. Garumniense.**

Constituye un intervalo de unos 20-30m de lutitas rojas y en menor medida arcillas margosas con intercalaciones poco potentes de calizas arcillosas. Aflora en los sectores orientales de la Sierra de Leyre donde separa los depósitos calcareníticos, areniscos y conglomeráticos cretácicos, de los términos carbonatos del Paleoceno.

Se dispone de forma bastante neta sobre las unidades cretácicas infrayacentes y desaparece hacia el Oeste probablemente por truncación en el contacto con el Paleoceno.

Se estima una permeabilidad baja-muy baja debido a su naturaleza lutítica.

#### **6.2.1.4. Calizas y calcarenitas, dolomías en la base. Paleoceno-Luteciense inferior.**

Se trata de una formación que agrupa las unidades carbonatadas del Paleoceno-Ilerdiense y del Luteciense inferior, constituyendo extensos afloramientos en la sierra de Leyre.

La parte basal del conjunto está caracterizada por un intervalo de dolomías de unos 30-60m de potencia que se dispone de forma discordante sobre el Gretacico superior y Garumniense.

El resto del Paleoceno e Ilerdiense define un tramo bastante homogéneo de calizas bioclásticas, eventualmente con contenidos significativos en terrígenos, cuya potencia oscila entre 30 y 120m.

La parte superior está definida por calcarenitas y calizas bioclásticas del Luteciense inferior (unidad 7 en el mapa geológico) equivalente a la Fm. Calizas de Guara (PUIGDEFABREGAS, 1975). Presenta una potencia media de unos 100m,. y hacia el norte pasa a facies margosas y margocalcáreas. El tránsito es observable desde la Foz de Arbayún hacia el norte donde la Fm Calizas de Guara empieza a intercalar en su base términos margosos que implican a partir de ese punto su desconexión hidráulica con los términos carbonatados del Paleoceno-Ilerdiense.

El conjunto carbonatado de Paleoceno-Ilerdiense y Luteciense inferior presenta en la sierra de Leyre una disposición cabalgante hacia el sur, distinguiéndose tres despegues principales y en términos generales muestra un buzamiento hacia el norte, sentido en el que se soterra bajo unidades margosas del Eoceno.

Se atribuye una alta permeabilidad al conjunto, esencialmente motivada por karstificación. La permeabilidad se desarrolla también en zonas fuertemente tectonizadas, por desarrollo de facturación y fisuración.

#### **6.2.1.5. Margas y margocalizas. Cuisiense-Luteciense inferior**

Constituye un equivalente lateral de la Fm. Calizas de Guara. Litológicamente consiste en una alternancia rítmica entre margas y margocalizas y se dispone de forma

discordante sobre los términos carbonatados del Paleoceno-Ilerdiense en relación de on-lap.

En la Foz de Arbayún define un intervalo margoso desarrollado entre las calizas del Paleoceno-Ilerdiense y la Fm. Guara, de modo que individualiza hidráulicamente ambas Fms. Carbonatadas.

Su permeabilidad es baja dado el carácter margoso de la unidad.

**6.2.1.6. Margas y margocalizas , localmente con intercalaciones de areniscas. Eoceno medio y superior.**

Constituye un conjunto de baja permeabilidad integrado por las formaciones margosas del Eoceno.

El conjunto se dispone, en términos generales, mediante una relación de on-lap sobre las unidades carbonatadas del Paleoceno-Eoceno de la Sierra de Leyre, y presenta una reducción global de potencias hacia el sur.

Se distinguen cuatro secuencias principales de depósito. En la Hoja afloran tres de ellas que de muro a techo son:

a) Luteciense superior. Corresponde a la unidad 218 del Mapa geológico. Presenta una potencia de mas de 100m y está constituida por facies turbidíticos del Grupo de Hecho.

b) Bartonense-Priabonense inferior. Está representado por la sucesión de las Margas de Pamplona, en sentido amplio, que alcanza una potencia superior, en algunos puntos, a los 1500m. Intercala en su parte media, depósitos turbidíticos (unidades 271 y 272, Turbiditas de Yesa y Gongolaz)

c) Priabonense superior. Está representado por las "Margas Fajeadas". Constituyen un intervalo de unos 25-50m de potencia formado por lutitas rojas y arcillas margosas grises finamente laminadas con trazos de sulfatos. Forma parte de la Fm. Guendulain pasando hacia el techo de forma transicional a la Arenisca de Liédena. En subsuelo se

encuentra separada de las unidades margosas eocenas infrayacentes por la Fm Evaporítica, constituida esencialmente por sales sódicas.

El conjunto de unidades descritos presenta una permeabilidad baja a muy baja debido al predominio generalizado de términos margosos.

#### **6.2.1.7. Areniscas bioclásticas. Priaboniense inferior.**

Constituye un intervalo arenoso existente en la parte media de la sucesión margosa de las Margas de Pamplona que destaca en el terreno por su mayor competencia apareciendo en la cresta de la sierra de Tábar.

Litológicamente consiste en areniscas bioclásticas fuertemente cementadas dispuestas en bancos de potencia métrica-decimétrica. Corresponden a la unidad 305 del Mapa geológico y su origen está ligado a los sistemas turbidíticos del sinclinal de Izaga (Turbiditas de Tábar).

Desde el punto de vista geométrico delimitan un lentejón de unos 40-50m de potencia media que se extiende varios km hacia el norte dentro de la Hoja de Aoiz (142) y se encuentra cortado hacia el sur por la falla de Loiti.

Se estima una permeabilidad media por facturación y fisuración, y en zonas próximas a la superficie puede presentar cierta porosidad intergranular por descalcificación y consecuente pérdida de cementación en las areniscas.

#### **6.2.1.8. Areniscas tableadas y lutitas. Priaboniense**

Corresponde al término esencialmente arenoso de la "Arenisca de Liédena"

Litológicamente consiste en areniscas de grano fino en bancos centi-decimétricos tableados alternando en proporciones variables con limos y lutitas grises. Presenta contactos transicionales con términos más lutíticos de la Fm Guendulain (Margas Fajeadas, a muro, y parte alta de la Arenisca de Liédena), y su potencia media es de unos 80m.

La permeabilidad puede considerarse en términos generales como media-baja si bien puede desarrollarse cierta circulación de agua en zonas próximas a la superficie por fisuración, descalcificación y descompactación de las areniscas.

#### **6.2.1.9. Lutitas y Areniscas. Oligoceno**

Quedan integrados en esta formación hidrogeológica las unidades esencialmente lutíticas de la sucesión continental terciaria. En la Hoja corresponden exclusivamente al término general de la Fm. Javier. Presenta unos valores elevados de potencia y litológicamente están formados por lutitas ocre y rojas con intercalaciones de areniscas, y eventualmente delgados niveles de calizas arenosas y arcillosas y margas, siendo muy poco frecuente la presencia de trazas de yeso.

La permeabilidad es baja dado el predominio de términos lutíticos.

#### **6.2.1.10. Areniscas y lutitas. Oligoceno-Mioceno**

Corresponde a los niveles de la Fm. Javier con predominio de términos areniscosos (unidad 305). que morfológicamente destacan en el terreno como resaltes estructurales por su mayor competencia.

Litológicamente corresponden a areniscas y lutitas ocre-rojizas con predominio de las primeras sobre las segundas. Las areniscas constituyen niveles de espesor variable, en general de orden métrico-decimétrico, de geométrica tabular y canalizada, que alternan con lutitos o se amalgaman formando bancos de potencia métrica-decamétrica.

Las unidades descritas presentan una permeabilidad media-baja dada la cementación de las areniscas y el frecuente desarrollo de alternancias con lutitas. No obstante los paquetes más competentes pueden permitir cierta circulación de agua en posiciones próximas a la superficie por descompactación y pérdida parcial de la cementación, y en zonas comparativamente más tectonizadas por facturación y mayor densidad de diaclasado.

**6.2.1.11. Gravas, arenas y limos.Cuaternario**

Se tratan en este punto las formaciones permeables del Cuaternario. En general corresponden a depósitos de gravas, arenas y en menor proporción, limos, ligados a la dinámica fluvial, y que se desarrollan en relación al río Aragón.

Se reconoce solo un nivel de terraza (unidad 508 del Mapa Geológico) los más altos dispuesta como terraza colgada. Los depósitos de cauces activos (unidad 526), muestran una litología similar a la de la terraza

La permeabilidad en estos depósitos es alta por porosidad intergranular dada su granulometría grosera, escasez de matriz lutítica y poca o nula cementación.

**6.2.1.12. Arcillas con bloques y cantos, y arenas.Cuaternario**

Se agrupan las formaciones del Cuaternario que están representadas litológicamente por lutitos con un contenido destacable en elementos clásticos. Corresponden principalmente a depósitos de ladera; conos aluviales (536), coluviones (543 y 547) y glaciares (519) cuya composición litológica depende del área de procedencia consistiendo generalmente en fangos con cantos de areniscas y de calizas en proporciones variables.

En zonas más bajas se distinguen depósitos coluviales-aluviales (537) y de fondo de valle (527) que corresponden a lutitas con cantos dispersos y esporádicamente intercalaciones de arenas con matriz arcillosa.

La permeabilidad es, en términos generales, bastante baja para este conjunto de depósitos, si bien puede aumentar localmente por lavado de los finos permitiendo el paso de agua por porosidad intergranular.

**6.2.1.13. Arcillas, arcillas con cantos dispersos y lutitas margosas. Cuaternario.**

Comprende las formaciones impermeables del Cuaternario, representadas esencialmente por términos lutíticos.

Los únicos depósitos destacables corresponden a arcillas de descalcificación desarrollados en fondos de dolinas que se generan sobre las formaciones carbonatadas de la sierra de Leyre.

La permeabilidad de estos depósitos es muy baja dada su naturaleza arcillosa.

### **6.2.2. Unidades acuíferas.**

Se describen a continuación una serie de unidades que agrupan formaciones hidrogeológicas susceptibles de almacenar y transmitir el agua, y por lo tanto capaces de constituir acuíferos.

Se han diferenciado 4 unidades con funcionamiento hidrogeológico independiente, si bien pueden presentar localmente algunas conexiones. Por orden cronoestratigráfico son:

- Unidad de Leyre
- Areniscas de Liédena
- Formaciones permeables del Terciario continental
- Formaciones permeables del Cuaternario.

#### **6.2.2.1. Calcarenitas, areniscas y conglomerados silíceos del Cretácico superior, dolomías, calizas y calcarenitas del Paleoceno y Eoceno inferior y medio. Unidad de Leyre.**

Geometría.

La Unidad Hidrogeológica de Leyre aparece descrita en el Proyecto Hidrogeológico desarrollado entre 1975 y 1977 por la Diputación Foral de Navarra, Dirección General de Obras Públicas, y Servicio Geológico, abarcando por su proximidad y similitud litoestratigráfica las Sierras de Leyre e Illón.

Está representada por materiales del Cretácico superior y del Paleoceno-Eoceno. El Cretácico superior está constituido por margas en la base y calcarenitas arenosas y

areniscas hacia techo, desarrollándose conglomerados slíceos en la parte más superior (Fms de Zuriza, Marboré y Arén, respectivamente). El Paleoceno e Ilerdiense forman un conjunto carbonatado integrado por un intervalo basal dolomítico, y una parte superior calcárea del Paleoceno superior-Ilerdiense. El Luteciense inferior está representado esencialmente por calcarenitas de la Fm. Guara.

Los principales acuíferos están definidos por las unidades carbonatadas del Paleoceno illerdiense, y por las calcarenitas del Luteciense inferior, presentando, los materiales clásticos del Cretácico superior, rangos más bajos de permeabilidad.

En la Hoja la unidad hidrogeológica está representada por una serie de estructuras de vergencia sur que cabalgan a los términos margosos del Eoceno medio y superior dando lugar a tres alineaciones montañosas de dirección E-O. Hacia el Norte los materiales del Cretácico superior y Paleoceno se sumergen bajo depósitos margosos del Eoceno mientras que la Fm. Guara pasa lateralmente a estos últimos

Funcionamiento hidrogeológico.

La recarga del sistema se produce principalmente a partir del agua de lluvia caída sobre la sierra que se infiltra en los acuíferos por zonas fracturadas y receptores cársticos. Los acuíferos se drenan esencialmente por salidas directas a los ríos Irati, Esca y Salazar.

Los manantiales presentan, en general, un control tectónico apareciendo ligados a fracturas, en cotas superiores a la de los ríos. Destaca especialmente el manantial de Arbayún, próximo al límite noroccidental de la Hoja, donde se registra un caudal medio superior a los 100 l/sg.

En términos generales existe una comunicación directa, entre los distintas unidades litológicas permeables, no obstante, localmente se desarrollan horizontes impermeables que independizan hidráulicamente la formación carbonatadas del Paleoceno e Ilerdiense.

Este fenómeno es observable en los sectores orientales de la sierra de Leyre donde la Facies Garumniense, lutítica, separa al Cretácico superior del Paleoceno, y en la Foz de Arbayún, donde los términos inferiores de la Fm. Guara presentan un tránsito

lateral hacia el norte a depósitos margocalcáreos del Cuisiense-Luteciense inferior, independizándose de las calizas del Paleoceno superior-Ilerdiense.

Hacia el N y NO los acuíferos del Paleoceno-Ilerdiense y del Cretácico superior pasan a ser confinados al soterrarse bajo depósitos margosos, prácticamente impermeables, del Eoceno medio y superior. Las calcarenitas de la Fm Guara, sin embargo, se adelgazan y acúñan en sentido norte por cambio lateral de facies a depósitos margosos y margocalcáreos de tránsito a los sistemas turbidíticos correlativos del Grupo de Hecho.

#### Parámetros hidrogeológicos

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

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

#### **6.2.2.2. Areniscas tableadas. Areniscas de Liédena. Priaboniense superior-Headoniense.**

##### Geometría.

Comprende el término con predominio de areniscas de la Fm. Guendulain (unidad 14 del Mapa Geológico, parte inferior de la "Arenisca de Liédena"). Constituye un paquete de areniscas de grano fino con tableado de frecuencia decimétrica-centimétrica y eventuales intercalaciones de limos grises, que con una potencia de unos 80-100m se extiende en dirección ONO-ESE al sur de la Falla de Loiti.

En afloramiento constituye un resalte continuo desde el Oeste del Liédena hasta el límite de provincia con Aragón al sur del pantano de Yesa. Presenta en general buzamientos medios a elevados hacia el sur lo que motiva que su representación cartográfica consista en una franja estrecha de 100-200m de anchura por término medio.

### Funcionamiento hidrogeológico

La recarga se produce principalmente por infiltración del agua de lluvia transfiriéndose al acuífero a través de fracturas y en cierta medida a favor de cierta porosidad intergranular en situación superficial debida a descompactación por pérdida de cementación en las areniscas.

Algunos sondeos realizados en sectores próximos en el marco de estudios hidrogeológicos para Potasas de Subiza S.A., cortaron niveles de agua salada intercalados entre otros de agua dulce, atribuyendo a la unidad un comportamiento como acuífero multicapa, con evidente dificultad de circulación vertical.

Por otra parte, al estar limitado por formaciones impermeables, o comparativamente menos permeables (Margas Fajeadas a muro, y tránsito a la Fm Javier a techo), constituye en profundidad un acuífero confinado, si bien buena parte de la circulación del agua debe ser epidérmica por meteorización superficial. La descarga debe producirse por transferencia a las formaciones superficiales de los márgenes los ríos Aragón e Irati que cortan las Areniscas de Liédena en Yesa y Liédena, respectivamente, y por manantiales de escasa importancia.

### Parámetros hidráulicos:

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

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

**6.2.2.3. Areniscas y lutitas. Formaciones permeables del Terciario continental. Oligoceno. Formaciones permeables del terciario continental. Oligoceno**

En la Hoja corresponden a los niveles mas competentes (unidad 17) de la Fm. Javier. Dado el predominio de areniscas presentan posibilidades de almacenar y/o transmitir agua, si bien en términos generales presentan rangos moderados de permeabilidad.

Forman parte de la Unidad Hidrogeológica sur definida en la marco del Proyecto Hidrogeológico llevado a cabo por la OFN, DGOP y SG de la DFN ( 1975-1977), y que està representada por los materiales terciarios de relleno de la cuenca del Ebro en condiciones endorreicas.

En este contexto, la zona de estudio comprende parte del sector con desarrollo de facies detríticas de borde de acuerdo con su proximidad al margen septentrional de la cuenca. En consecuencia la serie presenta un predominio de buzamientos hacia el sur con valores decrecientes en el mismo sentido.

Los acuíferos están formados por areniscas bastante consolidadas con intercalaciones de arcillas en proporción variable.

**Funcionamiento hidrogeológico**

A grandes rasgos, se trata de acuíferos confinados cuya recarga se realiza por infiltración del agua de lluvia. Las areniscas permiten cierta circulación de agua en zonas con desarrollo de fracturación y/o diaclasado y especialmente en situación próxima a la superficie donde presentan procesos de descalcificación. A mayor profundidad disminuye la porosidad por una mayor cementación, aumentando la salinidad del agua.

La descarga se realiza por manantiales dispersos y por transferencia hacia los ríos a través de depósitos cuaternarios permeables. Los caudales registrados en los manantiales y pozos son bajos de modo que no alcanzan generalmente los 5 l/sg.

**Parámetros Hidrogeológicos:**

Al igual que en los casos anteriores no existen datos concretos de permeabilidad, transmisividad, coeficiente de almacenamiento, etc, en base a bombeos de ensayo o test hidráulicos realizados en la zona. El elevado grado de consolidación de muchos de los niveles areniscosos y/o conglomeráticos limita la porosidad eficaz y por tanto su permeabilidad. Esto, unido al carácter anisotrópico o individualizado de los niveles areniscosos permeables limita la posibilidad de explotación de estos niveles acuíferos no dándose, en las perforaciones realizadas, caudales superiores a 2 l/s.

#### **6.2.2.4. Gravas, arenas y limos. Formaciones permeables del Cuaternario.**

Destacan por su importancia hidrogeológica los materiales cuaternarios ligados a la dinámica fluvial de los principales ríos y cursos mayores subsidiarios. Corresponden a terrazas y depósitos aluviales. Su distribución geográfica por tanto está directamente determinada por el recorrido de las redes hidrográficas principales.

En general se trata de depósitos de potencia métrica y tendencia granodecreciente con desarrollo de gravas en la parte inferior pasando en vertical a arenas y limos. Normalmente constituyen niveles de escaso espesor (1-5 m) no obstante pueden registrarse valores a cerca de 20 m (aluvial del río Aragón).

Los depósitos de ladera presentan en general rangos bajos de permeabilidad , a causa de su naturaleza esencialmente lutítica. Únicamente poseen cierta porosidad intergranular los términos clásticos (coluviones de bloques) desarrollados localmente a pie de escarpes rocosos.

Funcionamiento hidrogeológico.

La recarga se produce por infiltración del agua de lluvia, retorno de los riegos, inundaciones por desbordamiento de los ríos y transferencia de los acuíferos en rocas consolidadas a las formaciones superficiales permeables.

Constituyen acuíferos libres, de extensión variable y la permeabilidad es alta por porosidad intergranular dada la escasa o nula compacidad de los depósitos. Las descargas son directas a los ríos en los niveles conectados con los cursos fluviales

(aluviales y terrazas bajas) y por manantiales de escasa entidad a cotas más altas, en terrazas colgadas y depósitos de ladera permeables.

Parámetros hidráulicos.

Se han recopilado los datos existentes en el libro de “las Aguas subterráneas en Navarra. Proyecto hidrogeológico”. (DFN, DGOP y SG de la DFN, 1975-77) que hacen referencia únicamente al aluvial del río Aragón aguas abajo de la zona de estudio en su confluencia con el Ebro. En el marco de dicho proyecto se realizaron ensayos que proporcionaron para el aluvial de Aragón unos valores de transmisividad comprendidos entre 100 y 3000 m<sup>2</sup>/día, estimándose la porosidad eficaz en un 10%.

## **6.3. GEOTECNIA**

### **6.3.1. Introducción**

En este apartado se describe la cartografía geotécnica de la Hoja a escala 1:25.000 nº 175-I correspondiente a Tiermas, 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 recopilados en obras y proyectos. En el caso de no disponer de esta información, se efectúa una valoración geotécnica según las características litológicas, geomorfológicas e hidrogeológicas de los materiales. El objetivo de este trabajo es proporcionar al usuario una información complementaria de carácter general, pero lo suficientemente objetiva, que sirva de punto de partida para orientar hacia futuros trabajos de planificación territorial y campañas geotécnicas puntuales.

### **6.3.2. Metodología**

Para la realización de este capítulo se han seguido las siguientes etapas: -  
Recopilación de los datos existentes. Los datos de Ensayos de Laboratorio proceden de las siguientes obras y proyectos:

- “Proyecto de Construcción de Embalse en la Regata Mairaga”. MOPU. Dirección General de Obras Hidráulicas. Confederación Hidrográfica del Ebro. 1980. Hoja 173 Tafalla

- “Documento XYZT Presa de Yesa”. MOPU. Dirección General de Obras Hidráulicas. Confederación Hidrográfica del Ebro. 1986 Tiermas Hoja 175-1

- “Proyecto de Construcción de Intersección a distinto nivel de la Ctra. N-240 (Pamplona-Huesca) con la Ctra. NA-150 (Pamplona-Aoiz-Lumbier) y la Ctra NA-5340 (Aibar-Venta de Judas)”. SERTECNA 1994 Hoja 174-II Lumbier

- “Anteproyecto y Proyecto de Acondicionamiento y mejora del trazado del N-240 PK 29,0 a PK 34,5 (Alto de Loiti-Venta de Judas)”. DIPUTACIÓN FORAL DE NAVARRA. Dirección de Caminos 1979. Hojas 174-1 y 174-II

Asimismo, y con el fin de proporcionar una visión global del conjunto del territorio navarro, esta información se completa con la procedente de alguna de las unidades geológicas que se prolongan en Hojas próximas, fundamentalmente Lumbier (174-II); y Sangüesa (174-IV).

-Realización de la base de datos. Se ha elaborado una ficha geotécnica, donde figuran los ensayos de laboratorio recopilados. Estos tratan de establecer, de la manera más adecuada posible la naturaleza actual de la roca, su comportamiento mecánico y/o hidráulico y, la evolución y propiedades de la misma bajo los procesos de meteorización. Los ensayos recopilados se clasifican en los siguientes grupos:

.Identificación; establecen la naturaleza de la roca y su estado natural aparente (granulometría, límites de Atterberg, densidad y humedad, absorción, grado de meteorización).

.Clasificación; intentan establecer una idea general del comportamiento de la roca en relación a criterios previamente establecidos. (Índice de Calidad, resistencia a compresión simple, point load test).

.Resistencia, compactación y deformación; determinan parámetros resistivos y relaciones tensión-deformación. Algunos de estos ensayos se utilizan como base para múltiples clasificaciones (CBR, Proctor Normal, Corte Directo).

.Alterabilidad; evalúa el comportamiento del macizo rocoso frente a los procesos de meteorización, una vez modificados sus condiciones originales de estabilidad. (análisis químicos, hinchamiento, durabilidad).

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

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

-Zonificación en áreas de iguales características. A partir de los datos anteriormente comentados e interpretando las unidades geológicas cartografiadas, se procede a la zonificación de la superficie de la Hoja en áreas de iguales características (geotécnicas y litológicas). Como se ha señalado con anterioridad, cuando no ha sido posible disponer de ensayos, los criterios seguidos para establecer esta zonificación, han sido las características litológicas, geomorfológicas e hidrogeológicas de los materiales, observadas durante los reconocimientos de campo.

### **6.3.3. Zonificación geotécnica**

#### **6.3.3.1. Criterios de división**

Se ha dividido la superficie de la Hoja en función de criterios geotécnicos, en cuatro Áreas que presentan una entidad propia y cierta homogeneidad. Posteriormente, estas áreas han sido divididas a su vez en un total de dieciocho Zonas, siguiendo criterios básicamente litológicos y morfológicos, ya que son estos 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 químicos.

### **6.3.3.2. División en Áreas y Zonas Geotécnicas**

Los materiales que integran la Hoja 175 han sido agrupados desde el punto de vista geotécnico en las siguientes áreas y zonas:

ÁREA I: Engloba los materiales del Cretácico

ÁREA II: Comprende los depósitos marinos del Eoceno

ÁREA III: Representa los depósitos de origen continental del Oligoceno y Mioceno

ÁREA IV: Corresponde a los depósitos Cuaternarios

Estas áreas se han dividido en las siguientes zonas:

ÁREA I: ZONA I1, I2, I3, I4

ÁREA II: ZONA II1, II2, II3, II4

ÁREA III: ZONA III1, III2, III3

ÁREA IV: ZONA IV1, IV2, IV3,

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

UNIDAD CARTOGRÁFICA	ZONACIÓN GEOTÉCNICA	DESCRIPCIÓN
519,508,536,537,527, y 526	IV <sub>3</sub>	Depósitos fluviales, aluviales y poligénicos
547 y 543	IV <sub>2</sub>	Depósitos de gravedad
523	IV <sub>1</sub>	Depósitos cársticos
304,	III <sub>3</sub>	Lutitas con intercalaciones de areniscas
279,280 y 305	III <sub>2</sub>	Alternancia de areniscas y lutitas ocreas
278	III <sub>1</sub>	Margas y lutitas rojas con intercalaciones de areniscas
267	II <sub>4</sub>	Margas
218,271 y 272	II <sub>3</sub>	Areniscas, margas y lutitas
212	II <sub>2</sub>	Margas y margocalizas en alternancia rítmica
204,211 y 215	II <sub>1</sub>	Calizas y dolomias de aspecto masivo
201	I <sub>4</sub>	Lutitas rojas
192	I <sub>3</sub>	Areniscas y conglomerados
191	I <sub>2</sub>	Calcarenitas y areniscas
185	I <sub>1</sub>	Margas y margocalizas grises y ocreas

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

De cada Zona Geotécnica se aportan datos sobre características constructivas, tales como condiciones de cimentación, excavabilidad, estabilidad de taludes, empuje sobre contenciones, aptitud para préstamos, aptitud para explanada de carreteras y comportamiento para obras subterráneas. Así mismo, se señalan los principales problemas geotécnicos que pueden presentarse y que en general, van a estar relacionados con la presencia de: turbas o arcillas compresivas, nivel freático superficial, zonas de alteración superficial del sustrato rocoso, erosiones y arrastres

de materiales en laderas, desprendimientos de rocas y, finalmente, suelos solubles y agresivos (yesíferos y salinos).

La caracterización geomecánica de los diferentes materiales, se ha realizado con ayuda de los ensayos de laboratorio y de campo. Hay que señalar que el número de ensayos geotécnicos es muy reducido, teniendo en cuenta la extensión de la zona y la diversidad de formaciones existentes, por lo que estos valores deben considerarse como orientativos y en ningún caso pueden sustituir a los ensayos geotécnicos de detalle. Se ha recopilado información de 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 Nº 200 (0.08 mm) de la serie ASTM. Estos datos son utilizados posteriormente en diversas clasificaciones.
- Plasticidad. La clasificación de los suelos cohesivos según su plasticidad se ha efectuado con el límite líquido (WL) y el índice de plasticidad (IP), utilizando la carta de plasticidad de Casagrande.
- Resistencia a compresión simple ( $Q_u$ , Kp/cm<sup>2</sup>). Determina las características de resistencia y deformación de una muestra seca. Respecto a la resistencia de suelos y rocas, existen numerosas clasificaciones; una de la más utilizada, es la descrita por la Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas:

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

- **Ensayo Proctor Normal.** Permite calcular la densidad máxima y humedad óptima de compactación del suelo o material utilizado en explanada, con el fin de que adquiera las condiciones de estabilidad volumétrica, resistencia, indeformabilidad e inalterabilidad necesarias.
- **Ensayo C.B.R. (California Bearing Ratio).** Evalúa la capacidad de soporte de los materiales para constituir una explanada, es decir, la resistencia que ofrecen a la deformación bajo cargas.
- **Ensayo de corte directo.** Permite determinar la cohesión (c) y el ángulo de rozamiento interno ( $\phi$ ) de una muestra de roca o discontinuidad. Es de gran aplicación práctica en el cálculo de estabilidad de taludes.
- **Análisis químico.** Se han utilizado los datos de contenido en Materia Orgánica, Carbonatos y Sulfatos. Estos últimos permiten determinar la agresividad del terreno mediante el contenido en sulfatos, valorado según la normativa que se expone a continuación:

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

Las características constructivas de los diferentes materiales se estudian para condiciones de cimentación y para obras de tierra.

-**Cimentación.** Se evalúa la capacidad portante del terreno. Normalmente se ha utilizado el criterio expuesto en el Código Británico nº 4 y Norma DIN-1054, que establece cargas admisibles para roca poco diaclasada, no meteorizada con estratificación favorable y marcada de 15 Kp/cm<sup>2</sup> y de 30 Kp/cm<sup>2</sup> en estado masivo o columnar. (En caso de rocas diaclasadas o con disposición desfavorable de los planos de estratificación, estos valores deberán reducirse a la mitad.

---

Descripción de la roca	Kp/cm <sup>2</sup>
Roca ígnea o gnéisica sana	109
Calizas masivas y areniscas duras	44
Esquistos y pizarras	33
Lutitas duras, limolitas y areniscas blandas	22
Lutitas arcillosas	11

Cargas admisibles según el Código de Práctica Británico nº 4, para diferentes tipos de roca.

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 señalan los problemas concretos de cimentación que pueden darse en cada Zona Geotécnica; los más generalizados están relacionados con asientos diferenciales, presencia de agua subterránea, presencia de sulfatos en el sustrato, debido a la alta reactividad de los mismos con el hormigón, y riesgos de colapsos en aquellas unidades con presencia potencial de cavidades subterráneas.

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

-Estabilidad. Dos son los parámetros que condicionan estos procesos: litología (y estructura) y pendiente del talud. En consecuencia, en cuanto a la naturaleza de los materiales se evalúa su estabilidad en tres grupos (alta, media y baja), desechándose aquellas unidades geológicas que por su litología no son favorables a la aparición de situaciones de inestabilidad. Por lo que se refiere a la pendiente, se estima una inclinación del 10% como límite inferior a la aparición de estos fenómenos.

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

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

-Aptitud para explanada en carreteras. Se evalúa la capacidad de soporte de los materiales para constituir una explanada, es decir, la resistencia que ofrecen a la deformación bajo cargas.

Se ha tomado como referencia la Instrucción de Carreteras, Normas de Firmes Flexibles y Firmes Rígidos. Se entiende por suelo No Apto, aquel que no puede constituir un desmonte ni un terraplén explanada tipo E-1 (Suelos tolerables al menos estabilizado en sus 15 cm superiores, con CBR de 5 a 10). Marginales son aquellos que cumplen a veces dicha condición; en especial suele referirse a terrenos tolerables, que no conviene que sean explanada directamente (CBR de 10 a 20). Aptos, son terrenos frecuentemente adecuados y seleccionados; constituyen explanadas tipo E-3 (CBR > 20).

En terraplenes y pedraplenes, la categoría de la explanada dependerá del material utilizado en su coronación.

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

Para las formaciones rocosas se da una idea de su categoría en las clasificaciones de Bieniawski (1979), que obtiene un índice de calidad (RMR, Rock Mass Rating), mediante la valoración de una serie de parámetros (RQD, Resistencia, Presencia de agua, Separación entre diaclasas y Disposición de juntas respecto a la excavación). El objetivo de esta clasificación es definir el tipo de sostenimiento a efectuar en obras subterráneas concretas.

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

### **6.3.3.3. Área I**

#### **Zona I1**

##### **-Características Geológico-Geotécnicas**

Aflora esta unidad en la Sierra de Leyre, por debajo de los cantiles que morfológicamente destacan sobre el paisaje. Concretamente se localizan bajo el pico Arangoiti y por encima de los niveles calcareos que en su día fueron canterables, cerca del Monasterio, en el camino que asciende al collado de Leyre. Frecuentemente se encuentran enmascarados bajo vegetación y depósitos cuaternarios

Está formada por el conjunto de margas y margocalizas grises ocreas del Campaniense-Maastrichtiense basal, que se disponen en estratos y capas de diferente competencia y espesor, factores estos que pueden condicionar el comportamiento geomecánico del conjunto.

Desde el punto de vista hidrogeológico, el carácter marcadamente margoso determina una baja permeabilidad del conjunto, por lo que no se espera presencia de agua en profundidad. El drenaje es superficial.

Una característica importante de estos materiales es su elevada alterabilidad al ponerse en contacto con la atmósfera, de modo que, a corto plazo la roca sana expuesta sufre procesos de disgregación y fragmentación que favorecen la erosión superficial y los desprendimientos en taludes.

##### **Características constructivas**

a.Condiciones de cimentación. La Norma DIN 1054 y el Código Británico establece presiones admisibles de 20 Kp/cm<sup>2</sup>, valores que deben reducirse a la mitad cuando el espesor de los tramos margosos aumenta o la disposición de la estratificación y el grado de diaclasado son desfavorables. Tomando valores conservadores, la capacidad portante de estos materiales se sitúa entre 6 y 10 Kp/cm<sup>2</sup>, suficientes para el caso de edificios habituales en los que las cargas proyectadas son inferiores a 3 - 4 Kp/cm<sup>2</sup>. No obstante, se aconseja la realización de estudios específicos de resistencia y deformabilidad específicos.

El tipo de cimentación será en general, superficial, previa eliminación del recubrimiento superficial de alteración. En algunos casos, será necesario el empleo de zapatas corridas para evitar posibles asientos diferenciales que se produzcan por la presencia de niveles margosos blandos intercalados entre materiales más competentes.

b.Condiciones para obras de tierra.

Excavabilidad. El nivel de alteración superficial se considera ripable. Los niveles profundos de margas inalteradas constituyen Terrenos Medios-Duros, atacables por medios mecánicos.

Estabilidad de taludes Litológicamente, son materiales de alta inestabilidad, característica que deberá ser contrarrestada con pendientes de talud bajas. Puntualmente pueden producirse desprendimientos de niveles margosos laminados, y fenómenos de vuelco de estratos.

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

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

Aptitud para préstamos. Se consideran Inadecuados, debido a su alta alterabilidad en condiciones de afloramiento.

Aptitud para explanada en carreteras. Constituyen Terrenos Marginales, precisando la extensión sobre ellos de una plataforma mejorada.

Obras subterráneas. En general afectarán al sustrato inalterado. Se encuadran entre la Clase III (Calidad Media) y Clase IV (Calidad Mala), jugando un papel importante la orientación de la estratificación. En general, precisarán labores de sostenimiento.

## **Zona I2**

### Características Geológico-Geotécnicas

Se encuentra muy bien caracterizada, por toda la mitad septentrional de la Hoja a lo largo de la Sierra de Leyre. Constituye los cantiles que paisajísticamente destacan en dicha alineación dando lugar a farallones rocosos de más de 30 m de altura.

Litológicamente esta unidad está constituida por calcarenitas y areniscas de color ocre fuertemente cementados y de aspecto masivo, siendo más frecuente los tramos areniscos hacia techo de la unidad. En detalle se observan cuerpos estratificados de espesor métrico y una fracturación normal a los planos de estratificación.

Desde el punto de vista hidrogeológico, la permeabilidad dependerá del grado de cementación de los materiales. No obstante, en el nivel de alteración superficial cabe suponer un cierto grado de permeabilidad por pérdida del cemento calcáreo y por la existencia de fracturación.

No se dispone de datos geotécnicos sobre esta unidad.

### Características constructivas:

#### .Cimentación:

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

Si se procede a eliminar la zona de alteración, estimada en dos metros, podrá cimentarse con una carga superior a 10 Kp/cm<sup>2</sup>.

.Excavabilidad:

El sustrato se considera duro, no ripable deberá atravesarse con máquina y /o escarificador y eventualmente no será ripable, debiendose emplear voladuras.

.Estabilidad de taludes:

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

Aptitud para prestamos

Estos materiales son adecuados previa seleccion

.Aptitud para explanadas de carreteras

Normalmente podrán constituirse explanadas E-3.

### **Zona I3**

#### Características Geológico-Geotécnicas

Está formada por areniscas silíceas y conglomerados de cuarzo clastosoportados y medianamente cementados, que se organizan en secuencias métricas con delgados niveles de limos y lutitas intercalados.

Desde el punto de vista hidrogeológico, la permeabilidad dependerá del grado de cementación de los materiales. No obstante, en el nivel de alteración superficial cabe suponer un cierto grado de permeabilidad por perdida del cemento calcáreo y por la existencia de grietas y juntas abiertas.

Según la terminología de la ISRM, la resistencia a compresión simple será alta (>800 Kp/cm<sup>2</sup>) en los horizontes inalterados de areniscas y conglomerados y baja en los niveles limolítico-arcillosos (60-200 Kp/cm<sup>2</sup>).

-Características constructivas

a.Condiciones de cimentación. El Código de Práctica Británico establece cargas admisibles de 25 Kp/cm<sup>2</sup>. Aún tomando los valores conservadores, la capacidad portante de estos materiales está asegurada. El tipo de cimentación será en general superficial, previa eliminación del recubrimiento superficial y de los niveles superiores más alterados.

Los posibles problemas de cimentación estarán en relación con un comportamiento mecánico desigual de los materiales, como consecuencia del grado de diaclasado y alteración de las areniscas.

b.Condiciones para obra de tierra.

.Excavabilidad. Los niveles superficiales, por su alteración y diaclasado puede ser ripables (Terreno Medio), pero en profundidad, precisarán el empleo de explosivos para su excavación.

.Estabilidad de taludes. Constituyen materiales de gran estabilidad, con un ángulo de rozamiento interno muy elevado (50 %).

.Empuje sobre contenciones. Las contenciones serán necesarias en todo caso, en zonas de alteración fuerte de las areniscas, pudiendo esperarse empujes de tipo Bajo.

.Aptitud para préstamos. Son Materiales Adecuados siempre que no se encuentren alterados y cumplan determinadas especificaciones relativas a granulometría y forma de las partículas.

.Aptitud para explanada en carreteras. En desmontes, la categoría de explanada en roca corresponde a la E-3.

.Obras subterráneas. Es difícil estimar el grado de fracturación y estado de las diaclasas en profundidad. En conjunto como considerarse un Terreno Medio, de Clase III (RMR=41-60 %), que para anchuras de tunelación normales no plantearía problemas de sostenimiento.

## **Zona I4**

### Características Geológico-Geotécnicas

Esta formada por un conjunto de lutitas rojas, compactas que incluyen a techo algun nivel margoso de espesor metrico. Ocasionalmente se pueden reconocer algunos tramos limosos fuertemente cementados, asi como, en los sectores mas orientales de la Hoja algun nivel de areniscas tambien de espesor no superior al metro.

Se reconoce por la mitad oriental, en lo alto de la Sierra de Leyre. La calidad de los afloramientos es muy mala, encontrandose estos depositos enmascarados en la mayoria de los casos.

### Características constructivas:

#### .Cimentación

En función de los valores de resistencia al corte y resistencia a compresión simple; se han estimado las presiones admisibles que se pueden aplicar. Se estima una profundidad de cimentación mínima entre 1,5 y 2 metros, se pueden aplicar presiones admisibles entre 1,3 y 3 Kp/cm<sup>2</sup>, cálculo efectuado para una zapata corrida de 0,5 a 2 m de ancho.

Por su parte, en el sustrato margoso, de ambas formaciones y utilizando los criterios del Código de Práctica Británico, se pueden aplicar presiones admisibles entre 1 y 3 Kp/cm<sup>2</sup>.

Entre los problemas de cimentación pueden considerarse:

-Variación del horizonte alterado a veces que pueden provocar asientos diferenciales.

Presencia de niveles no superiores al metro de areniscas, calizas y microconglomerados, que pudieran dificultar la excavación.

#### .Excavabilidad

Los materiales que constituyen perfiles de alteración son fácilmente excavables, es decir son ripables.

.Estabilidad de taludes

Los taludes naturales son estables, con pequeñas inestabilidades debido al diferente grado de alterabilidad.

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

.Aptitud para explanada de carreteras

Normalmente son suelos E-2, no aptos para explanada, por lo que precisarán la extensión sobre ellos de una explanada mejorada.

Obras subterráneas

Se considera un terreno para cualquier tipo de obras subterráneas como de roca muy mala, es decir de Clase IV

#### **6.3.3.4. Área II**

##### **Zona II1**

Características Geológico-Geotécnicas

Se han agrupado aquí materiales pertenecientes al Paleoceno-Eoceno inferior constituidos por calizas y dolomías de aspecto masivo, karstificadas. Los tramos mas bajos pueden ser de espesor métrico y a veces se encuentran tableados mientras que el resto tiene un aspecto masivo característico

Los afloramientos se localizan en la mitad septentrional de la Hoja, preferentemente en el espaldar de la Sierra de Leyre o bien en su parte frontal, constituyendo parte de los cantiles mas inferiores de dicha sierra, que antaño fueron explotados junto al monasterio de Leyre.

### Características geotécnicas

Se estima que la resistencia a la compresión simple es Medianamente resistente - Resistente ( $q_u = 200 - 600 \text{ kp/cm}^2$ ) según la terminología de la ISRM.

La resistencia del macizo estará condicionada a las características de las discontinuidades.

Un rango característico en estos materiales y que deberá contemplarse en cualquier estudio geotécnico que se realice, es la karstificación que presentan y por consiguiente se analizarán los posibles hundimientos en cimentaciones y desprendimientos de taludes.

### Condiciones de cimentación

Considerando el Código de Práctica Británico, a este tipo de roca se puede aplicar una carga admisible superior a  $40 \text{ kp/cm}^2$ , mientras la norma DIN 1054 recomienda un valor de  $30 \text{ kp/cm}^2$ .

En la práctica habitual puede considerarse cargas variables entre 5 y  $10 \text{ kp/cm}^2$ , según el grado de fracturación y karstificación que presenten.

### Condiciones para obras en tierra

#### -Excavabilidad

Precisarán el empleo de explosivos para su excavación.

#### -Estabilidad de taludes

Se consideran estables, tanto los taludes naturales como artificiales, su estabilidad estará condicionada por el grado de fracturación y karstificación.

#### -Empujes sobre contenciones

Las contenciones no serán necesarias.

-Aptitud para préstamos

Las calizas se consideran rocas adecuadas en el P.P.T.G., para su empleo en pedraplenes.

-Aptitud para explanada de carreteras

La explanada que se realiza en roca posee categoría E-3.

-Obras subterráneas

Las calizas pueden situarse en la clasificación de Bieniawski (1979) entre las categorías III (Buena), si bien puede existir zonas donde la categoría sea II (Media).

## **Zona II2**

### Características Geológico-Geotécnicas

Esta formada por una alternancia rítmica irregular de margas y margocalizas de aspecto tableado, tipo rítmica y de color gris que se extiende por el límite septentrional de la Hoja

Los mejores afloramientos se localizan en el sector nororiental, en las proximidades de Castillonuevo

### Características geotécnicas

En general presentan una cierta meteorización, por lo que su comportamiento geotécnico a veces es como el de un suelo.

Se trata de una roca relativamente algo dura, donde los procesos de alteración se desarrollan a veces con rapidez

### Características constructivas

-Condiciones de cimentación

Las presiones admisibles calculadas para profundidad de cimentación mínima de 1,5 - 2 m, que corresponde al nivel alterado o saturado, generalmente varían entre 1,3 y 3 kp/cm<sup>2</sup>. A mayor profundidad en las margas sanas, según los valores orientativos que se dan en el Código inglés pueden considerarse presiones admisibles entre 6 y 10 kp/cm<sup>2</sup>. No obstante, como norma general, para edificios altos o cuando se prevean fuertes cargas concentradas, se requerirá un estudio de resistencia y deformabilidad.

Entre los problemas de cimentación puede considerarse:

.Variaciones importantes del espesor del horizonte comprensible, que dan lugar a asientos diferenciales inadmisibles.

.Presencia de niveles de arcillas blandas intercaladas entre margas sanas que pueden causar fenómenos de punzonamiento.

-Excavabilidad

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

En las zonas donde aparecen margas o margocalizas sanas presentan una ripabilidad variable.

Estabilidad de taludes

Los taludes naturales son estables, únicamente presentan el problema de la alteración de las margas que progresivamente van deteriorando el talud, observándose acaravamientos. Los taludes artificiales, en las margas alteradas producirán flujos de barro y deslizamientos, mientras que los que se efectúen en margas sanas y margocalizas presentarán con el tiempo un deterioro progresivo.

-Empujes sobre contenciones

Se estiman Medios, pudiendo aumentar el tiempo en función de la alteración de los materiales y de la protección que se de a la coronación de talud.

-Aptitud para préstamos

Según los términos definidos en la Metodología, los materiales superficiales procedentes de la alteración del sustrato margoso se consideran No Aptos, es decir inadecuados y ocasionalmente Marginales. En general, por tanto, no se aconseja su utilización en préstamos para viales.

Las margas sanas tampoco deben utilizarse en la ejecución de pedraplenes por su elevada alterabilidad.

-Aptitud para explanada de carreteras

Se trata de suelos No Aptos, que precisarán la extensión sobre ellos de una explanada mejorada.

-Obras subterráneas

Las obras subterráneas realizadas en estas Zonas afectarán a la formación sana que, de acuerdo con los términos descritos en la Metodología se consideran terreno Medio. Considerada como formación rocosa, según la clasificación de Bieniawski (1979), corresponde a roca Media (Clase III) a Mala (Clase IV).

### **Zona II3**

-Características Geológico-Geotécnicas

-Se extiende por el sector central y occidental de la zona estudiada, concretamente por los alrededores del pantano de Yesa, ubicándose en estos materiales dicha presa. Los mejores afloramientos se localizan en la carretera a Jaca y en el entorno de dicho pantano

La zona está constituida íntegramente por la alternancia de areniscas, calcarenitas de color ocre alternando con arcillas y margas y correspondiendo a depósitos de origen turbidíticos. Los tramos arcillosos constituyen la mayor parte del depósito, condicionando, por lo tanto, las características geotécnicas. Para la definición geotécnica en estos materiales se dispone de una completa información referente al Irurozqui, cuyo comportamiento geotécnico en conjunto es similar a los materiales de esta zona.

Análisis mineralógico efectuado en estos materiales, indican la siguiente composición mineralógica:

Minerales de la arcilla 37%

Cuarzo 17%

Plagioclasas Indicios

Calcita 33%

Dolomita 10%

Hematites < 1,5%

Ankerita 2%

Yeso Indicios

Por lo que respecta a los minerales de la arcilla su composición es la siguiente:

Ilita

73% 27% total de la muestra

Clorita/Caolinita 27% 10% del total de la muestra

Sepiolita Indicios

En esta formación, en base a los datos existentes y a grandes rasgos, se puede distinguir los siguientes niveles: una capa superficial de arcilla limosa gris plástica con cierta proporción de materia orgánica (tierra vegetal) y que alcanza en torno a 0,40 m de profundidad; el nivel de alteración del material sano subyacente constituido por arcilla marrón claro con niveles de areniscas, su espesor varía entre 1,5 y 6 m con un promedio de 3 m aproximadamente; una transición al flysch de color más grisáceo que el nivel alterado, su espesor se cifra en 1,50 m aproximadamente (oscilando entre 4,0 m y su práctica inexistencia); flysch sano formado por una alternancia de margas y

arcillas calcáreas gris oscuro muy duras y niveles de areniscas gris, con abundantes diaclasas subverticales en toda la serie paralela a la estratificación.

En el Sistema Unificado corresponden fundamentalmente al tipo CL, con límite líquido comprendido entre 33.2 y 47.1 e índice de plasticidad entre 13.0 y 26.3.

El contenido de carbonatos se sitúa entre 24,0 y 51,3%. A efectos de agresividad de los suelos se ha determinado su contenido en sulfatos, expresado en tanto por ciento de  $SO_3$  de diversas muestras obteniéndose generalmente que el porcentaje es inapreciable.

Los ensayos de penetración dinámica tipo SPT indican que estos materiales, incluso alterados, son generalmente de resistencia compacta a dura ya que en todos los casos se alcanza el rechazo (para profundidades menores de 3,5 m).

Los ensayos de rotura a c. simple disponibles, se han efectuado en muestras alteradas y sanas, por lo que se ha podido valorar el diferente comportamiento. Se ha observado que los resultados son un reflejo del grado de alteración. Para los materiales arcillosos más alterados se obtienen resistencias de 1.22 y 1.51 kp/cm<sup>2</sup>. En el nivel de transición al sustrato sano el valor de la resistencia a compresión simple ha sido de 0,07 kp/cm<sup>2</sup>, en las margas relativamente sanas este ensayo ha dado valores entre 49 y 428 kp/cm<sup>2</sup> siendo los valores más bajos generalmente los de muestras a menos profundidad, con una media cercana a 200 kp/cm<sup>2</sup>. Respecto a las areniscas pueden alcanzar hasta 795 kp/cm<sup>2</sup> de resistencia compresión simple.

Tomando como punto de partida los valores de la resistencia a compresión simple y empleando la correlación de Butler para arcillas sobreconsolidadas ( $ER = 130 \times q_u$ ) se obtiene un valor de módulo de deformación a largo plazo de las margas alteradas de cerca de 100 kp/cm<sup>2</sup>. No obstante, será probablemente algo más alto teniendo en cuenta que las correlaciones con los valores del golpeo en el ensayo SPT, como la enunciada por Stroud, permite deducir un módulo no inferior a 540 kp/cm<sup>2</sup>. En la zona menos alterada, el módulo de deformación deducido a partir de la resistencia a compresión simple (9,97 kp/cm<sup>2</sup>) se cifra en 650 kp/cm<sup>2</sup>.

La resistencia a compresión simple está bien correlacionada con la densidad seca de estos materiales. Ambos parámetros junto con la humedad natural sirven como indicadores del grado de alteración del flysch.

Respecto al comportamiento en deformación, en los dos ensayos edométricos llevados a cabo se han obtenido los siguientes parámetros. El índice de poros inicial  $e_0$ , ha tomado valores de 0,566 y 0,611, mientras que los índices de compresión  $C_c$  resultantes han sido de 0,153 y 0,161, estos valores nos indican una consistencia del material definida como dura.

Para estimar problemas de expansividad se han consultado ensayos Lambe, clasificándose las muestras como marginales o no críticas. Por ello, no son de esperar problemas de este tipo.

La caracterización del macizo rocoso en cuanto a resistencia a compresión y módulo de deformación se realiza a partir de los parámetros de la roca matriz minorándolos mediante reglas empíricas que tienen en cuenta la existencia de discontinuidades en el macizo. La resistencia a compresión del macizo se estima a 25 kp/cm<sup>2</sup>, mientras que el módulo de deformación a adoptar se cifra en 10.500 kp/cm<sup>2</sup>.

Igualmente se dispone de perfiles sísmicos realizados en esta formación, en los cuales se deduce que en el nivel más superficial correspondiente a la tierra vegetal y parte más alterada de este flysch, la velocidad de propagación de la onda sísmica es de 400 m/s aproximadamente. En la capa de flysch margoso comprimido y algo alterado esta velocidad puede oscilar entre 1000 y 1500 m/s, siendo en la zona sana superior a 3000 m/s.

De las determinaciones de humedad realizadas se deduce que el contenido de agua de las muestras superficiales alteradas es sólo ligeramente superior al óptimo exigido en la compactación. Este contenido desciende en las muestras de materiales sanos por lo que sería necesario su humectación para su empleo, además de algún tratamiento que resolviera el problema de su evolutibilidad.

Una característica fundamental de esta formación, que comparte con todas aquellas de carácter arcilloso y fuertemente preconsolidadas en su elevada susceptibilidad a la alteración inducida por la meteorización física-química. Así los desmontes observados

presentan taludes de mediana pendiente, estando el material en superficie muy troceado formando escamas que se desprenden fácilmente con la mano, aunque, como señala Wilson, para este tipo de formaciones la alteración no suele profundizar mucho debido a la cubierta que forma el suelo residual formado.

#### Características constructivas

##### -Condiciones de cimentación

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

Las presiones admisibles calculadas en el nivel superficial reblandecido o saturado son en el peor de los casos superiores a 1,4 kp/cm<sup>2</sup>, según se deduce de los ensayos de resistencia a compresión simple. Atendiendo a los resultados de los ensayos SPT serán probablemente mayores. En los niveles algo alterados y en los relativamente sanos, según los valores orientativos que se dan en el Código inglés CP2004/1972, pueden considerarse presiones admisibles entre 6 y 10 kp/cm<sup>2</sup>, posiblemente superiores 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, como norma general, para edificios altos o cuando se prevean fuertes cargas concentradas, se requerirá un estudio de resistencia y deformabilidad.

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

Con mayor probabilidad la cimentación será de tipo superficial (zapatas o losa) o semiprofunda, mediante pozos. Para edificios bajos, de menos de seis alturas, la cimentación en general, podrá realizarse mediante zapatas; para alturas superiores se deberá o bien recurrir a losa si la capacidad portante del terreno se sitúa en torno a 1,5 kp/cm<sup>2</sup>, o bien deberán buscarse niveles resistentes más profundos en cuyo caso se deberá recurrir a cimentación semiprofunda (mediante pozos) siempre que esos

niveles se encuentren entre 3 y 6 m de profundidad. Ocasionalmente, puede ser necesario el empleo de pilotes si el espesor de margas alteradas es superior a 5-6 m y se precisen cargos admisibles superiores a las que posean dichas margas en el punto considerado.

El empleo de losa de cimentación puede ser particularmente adecuado cuando en el área ocupada por el edificio, se produzcan variaciones notables en el espesor del horizonte alterado, que den lugar a asentamientos diferenciales inadmisibles si se pretendiera cimentar mediante zapatas aisladas, por otra parte, la cimentación por losa es una solución costosa para edificios bajos (6-8 plantas).

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

En función de los resultados del análisis del contenido en sulfatos de los materiales de esta formación no se esperan problemas de agresividad; tampoco de afluencia de agua a las excavaciones.

Entre los problemas de cimentación pueden considerarse:

.Variaciones importantes del espesor del horizonte compresible, que dan lugar a asentamientos diferenciales inadmisibles.

.Alterabilidad del material que aconseja realizar las cimentaciones inmediatamente después de excavadas o al menos la protección del fondo con una capa de hormigón pobre.

.Dificultad en la excavación al encontrarse el horizonte no ripable a poca profundidad que puede llegar a aparecer a 2,50 m.

Condiciones para obras de tierra

-Excavabilidad

A partir de 4,0 m de profundidad, como media, se deberá excavar con ayuda de explosivos ya que se detectan rocas en estado sano con velocidades de onda sísmica superiores a 3.000 m/sg. y no arrancables por medios mecánicos según los catálogos de distintos fabricantes de maquinaria de movimiento de tierras.

Los niveles suprayacentes son arrancables por medios mecánicos convencionales, es decir tractores o bulldozers de potencia superior a 240 CV en estado normal de uso.

Se recomienda además para evitar una intensa fracturación del macizo la utilización de técnicas especiales de voladura como el precorte o el control exhaustivo del volumen de explosivo. Esta precaución redundará además en una mejor conservación del talud de desmonte y una menor meteorización.

#### -Estabilidad de taludes

En referencia a este punto, la problemática que presenta esta formación similar a la de las margas eocenas englobadas con la denominación de Margas de Pamplona. Es decir se trata de taludes inestables, donde son posibles los deslizamientos por sobresaturación del sustrato

Se observa en los taludes naturales la típica escamación y fisuración de estas formaciones que no impide sin embargo que existan taludes naturales abruptos, ya que su resistencia es elevada. Soportan bien, salvo con estratificación desfavorable, cortes de elevada altura con taludes inclinados. La presencia de capas de areniscas calcáreas, que arman el talud, es un factor primordial para esta resistencia.

Desde el punto de vista de la estructura del macizo, la existencia de zonas con alto buzamiento de las capas de flysch margoso (60° a 70°) implica que ángulos de corte por debajo de los 60° darían lugar a taludes seguros ya que todos los estratos quedarían enclavados y encajados en el terreno sin posibilidades de rotura plana a favor de la estratificación. Sólo sería entonces posible roturas a favor de planos de continuidad (diaclasas) con orientación desfavorable, que da lugar al fenómeno de toppling o vuelco de estratos. Otras zonas, sin embargo, presentan buzamientos de 25° a 45°. En donde se dieran condiciones desfavorables de rumbos de desmonte y de la estratificación paralelos, deben adoptarse taludes suaves del orden de la inclinación de la estratificación para prevenir la rotura plana a favor del buzamiento de

los estratos, máxime teniendo en cuenta la alterabilidad de estos materiales. El talud del lado contrario no presentaría problemas de estabilidad al dirigirse los estratos hacia el interior del macizo pudiendo adoptarse taludes abruptos.

En la zona de meteorización de la roca la rotura del talud puede llegar a ser circular, según se señala en el Capítulo 9 del libro "Rock Slope Engineering" de Hoek y Bray. Estos deslizamientos serían poco profundos dado que la alteración no es muy profunda.

-Empujes sobre contenciones

Se estiman entre Bajos y Medios, dependiendo de la alteración de los materiales y de la protección que se de a la coronación del talud.

-Aptitud para préstamos

Al igual que las Margas de Pamplona se consideran materiales No Aptos, ocasionalmente Marginales. Las condiciones de su posible uso deben ajustarse a lo que recomienda en el caso de las Margas de Pamplona.

-Aptitud para explanada de carreteras

Se trata de suelos E-3, No Aptos, que precisarán la extensión sobre ellos de una explanada mejorada.

-Obras subterráneas

Las obras subterráneas realizadas en estas Zonas afectarán a la formación sana que, de acuerdo con los términos descritos en la Metodología se consideran terreno medio. Considerada como formación rocosa, según la clasificación de Bieniawski (1979), corresponde a roca Media (Clase III)- Mala (Clase IV).

## **Zona II4**

-Características Geológico-Geotécnicas

Está constituida por un potente conjunto margoso del Eoceno medio-superior, de pobre expresión morfológica en el paisaje, definiendo formas alomadas de relieve. En general, se trata de margas grises masivas sin planos de estratificación. Aflora en los alrededores del embalse de Yesa.

En contacto con la atmósfera y sometidas a cambios de humedad, se alteran rápidamente sufriendo un proceso de fragmentación y disgregación espontánea que favorecen la erosión superficial y los desprendimientos en taludes, así como un cambio de color a marrón grisáceo (que se reconoce muy bien en juntas y grietas). El espesor del horizonte superficial de alteración se sitúa próximo a los 4 m, llegando a alcanzar 15 m en zonas próximas a cursos fluviales.

Se dispone de una amplia relación de ensayos de laboratorio de las Margas de Pamplona, 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 a ambos. A continuación se describen los valores más característicos:

#### Cuadro Resumen de Características Geotécnicas

Clasificación de Casagrande:CL

Densidad seca (margas no alteradas):1,69 - 1,87 gr/cm<sup>3</sup>

Densidad seca (margas alteradas):0,84 - 2,13 gr/cm<sup>3</sup> Porcentaje pasa tamiz nº 200 (margas no alteradas):46 - 99 %

Porcentaje que pasa tamiz nº 200 (margas alteradas):23 - 89 %

Límite líquido (margas no alteradas):32 - 44

Límite líquido (margas alteradas) 31,2 - 45

Índice plasticidad (margas no alteradas) 13 - 24,5

Índice plasticidad (margas alteradas) 14 - 41,1

Humedad (margas no alteradas) 11,6 - 19,86

Humedad (margas alteradas) 11,2 - 21,3

Contenido en carbonatos (margas no alteradas) 40-50 %

Contenido en carbonatos (margas alteradas) 26 - 49,6 %

Contenido en sulfatos (margas no alteradas) < 0,01%

Contenido en sulfatos (margas alteradas) 0,0

Densidad Proctor (margas no alteradas) 1,83 gr/cm<sup>3</sup>

Densidad Proctor (margas alteradas) 1,61 - 2,04 gr/cm<sup>3</sup>

Humedad óptima (margas no alteradas) 15,1 %

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

Índice C.B.R. (margas alteradas) 2,9 - 7,2

Resistencia a compresión simple (margas no alteradas) 100 - 200 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

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

Coeficiente de Poisson (margas alteradas):0,3

Hinchamiento de Lambe:Marginal

El contenido en carbonatos disminuye hasta niveles superficiales debido a la disgregación y alteración de las margas por procesos de meteorización. Su bajo contenido en sulfatos permite descartar problemas de agresividad al hormigón, mientras que su carácter impermeable, determina la ausencia de agua en profundidad. Únicamente, cabe considerar una saturación potencial de los niveles alterados y la infiltración a través de fisuras, factores estos que no deben crear problemas de drenaje en excavaciones.

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>. 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>.

-Características constructivas

a.Condiciones de cimentación

La capacidad de carga varia entre 2,5 - 10 kp/cm<sup>2</sup>, dependiendo que la roca se encuentre alterada o en estado sano. En las margas sanas según los valores normalizados que se dan en el Código Británico puede considerarse una capacidad portante superior dada la resistencia a compresión supera en muchos casos los 100 kp/cm<sup>2</sup>. No obstante, para edificios habituales, suponen valores suficientes.

Los problemas de cimentación estarán relacionados con variaciones importantes del horizonte de alteración y presencia de intercalaciones de arcillas blandas, que pueden provocar asientos diferenciales y fenómenos de punzonamiento.

-Condiciones para obras de tierra

.Excavabilidad

Las margas alteradas son fácilmente excavables. En estado sano, su excavabilidad, así como la de las intercalaciones de areniscas, está asegurada por medios mecánicos, empleando retoexcavadoras de gran potencia con martillo picador.

.Estabilidad de taludes

Generalmente, 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.).

.Aptitud para préstamos. Se consideran Inadecuados, debido a su elevada alterabilidad en condiciones de afloramiento.

.Aptitud para explanada en carreteras. Constituyen Suelos No Aptos, que precisan la extensión sobre ellos de una explanada mejorada.

.Obras subterráneas. En general afectarán al sustrato inalterado, varía entre Clase III y Clase IV (Roca Media-Mala).

#### **6.3.3.5. Área III**

##### **Zona III1**

-Características Geológico-Geotécnicas

Esta constituida por un conjunto margoso de color rojo que intercala pequeños niveles areniscosos, mas frecuentes hacia techo. Ocasionalmente se reconocen yesos y en subsuelo se reconocen sales, que en otro puntos son objeto de explotacion minera.

Se localiza en el cuadrante suroccidental de la Hoja, cerca del alto de Santa Cruz, y no se disponen de ensayos de laboratorio de estos materiales,

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

Características constructivas:

.Cimentación:

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

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

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

.Excavabilidad

Son materiales facilmente excavables.

.Estabilidad de taludes

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

En los taludes artificiales deberán disponerse las medidas correctoras adecuadas.

.Aptitud para explanadas de carreteras

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

### **Zona III2**

#### **-Características Geológico-Geotécnicas**

Está constituida por una alternancia de areniscas y lutitas de origen fluvial de edad Oligoceno. Las lutitas se presentan en estratos de espesor variable, de decimétrico a métrico. Las areniscas tienen un aspecto duro y compacto. Son de grano fino a medio, y se encuentran cementadas por  $\text{CaCO}_3$ , aflorando a modo de lentejones métricos a decamétricos y en capas continuas de 3-5 m de espesor y varios kms de longitud.

La meteorización prácticamente no va a afectar a las areniscas. Sin embargo, en las lutitas va a producir cambios de color, disminuyendo su compacidad natural y por tanto, aumentando su erosionabilidad. El tránsito entre roca sana y alterada es transicional.

En general, la permeabilidad es baja, debido a la propia naturaleza de las lutitas y a la escasa porosidad eficaz de las areniscas a causa de su cementación. No obstante, estas últimas a nivel superficial, y hasta una profundidad de 10 m presentan una permeabilidad mayor, debido a la fracturación y presencia de juntas abiertas.

Se dispone de los siguientes ensayos de Laboratorio:

#### **Cuadro Resumen de Características Geotécnicas**

(Roca inalterada)

Clasificación de Casagrande: CL

Porcentaje pasa tamiz nº 200: 58,2 - 99,8 %

Límite líquido: 37,25

Índice plasticidad: 20,33

Humedad 14,5

Densidad Proctor 2,05 gr/cm<sup>3</sup>

Humedad óptima 11,6 %

Indice C.B.R. 4,4

Resistencia a compresión simple (lutitas sanas): > 25 Kp/cm<sup>2</sup>

Resistencia a compresión simple (areniscas): 300-700 Kp/cm<sup>2</sup>

R.Q.D. medio: 80-100 %

Angulo rozamiento interno ( $\phi$ ) 30°

Cohesión 0,15

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.

-Características constructivas

a. Condiciones de cimentación.

La Norma DIN 1054 y el Código Británico establecen presiones admisibles del orden 20 kp/cm<sup>2</sup>, valores estos que deben reducirse a la mitad cuando el espesor de los tramos lutíticos aumenta o la disposición de la estratificación y grado de diaclasado son desfavorables. Se estima que la capacidad portante de estos materiales se sitúa entonces entre 6 y 10 kp/cm<sup>2</sup>, valores 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 eliminación del horizonte de alteración. Es de esperar la presencia de asientos diferenciales y fenómenos de

punzonamiento debido a la intercalación de niveles lutíticos blandos entre los paquetes de areniscas.

b. Condiciones para obras de tierra.

.Excavabilidad. En general, son materiales Duros, por lo que su excavación precisa el empleo de explosivos. Las lutitas alteradas son fácilmente excavables.

.Estabilidad de taludes. Cuando la disposición de los materiales es transversal a la orientación de las laderas, y su buzamiento es superior a la pendiente, no se observa ningún fenómeno de inestabilidad. Por otra parte la naturaleza de estos materiales en cuanto a sus parámetros resistivos y disposición alternante no favorece la aparición de deslizamientos.

Únicamente existe riesgo de caída de bloques en los resaltes areniscosos en aquellas zonas donde existan escarpes pseudoverticales o en voladizo por descalce de los niveles lutíticos inferiores.

.Empuje sobre contenciones. Bajos para las lutitas, y No serán necesarios para las areniscas.

.Aptitud para préstamos. Las niveles arcillosos se consideran No Aptas para su uso en terraplenes y pedraplenes. Los niveles de areniscas, constituyen por el contrario, Terrenos Adecuados.

.Aptitud para explanada en carreteras. En el caso de desmontes en roca, la categoría de la explanada areniscas es la E-3, mientras que sobre las lutitas se requerirá la extensión de un firme seleccionado.

.Obras subterráneas. Se encuadran entre la Clase III (Calidad Media) y Clase IV (Calidad Mala) de la Clasificación de Bieniawski (1979), jugando un papel importante la orientación de la estratificación y el grado de diaclasado

### **Zona III3**

-Características Geológico-Geotécnicas

Se incluyen dentro de este apartado un conjunto de materiales formados por areniscas y lutitas rojas que se extienden por el angulo suroccidental de la Hoja. Los niveles duros suelen tener espesor decimetrico a metrico, destacando a veces sobre el terreno, siendo muy irregular la proporcion con que se encuentran estos respecto a los materiales mas finos. Ocasionalmente se reconocen delgados niveles carbonatados de espesor centimetrico a decimetrico.

Los afloramientos por lo general son de buena calidad si bien los terminos mas blandos son utilizados como campos de labor.

Características constructivas:

.Cimentación

Con los valores que se disponen de ensayos de laboratorio y aplicando los diferentes Códigos y Normas, se puede ejercer cargas admisibles entre 1,5 y 3 Kp/cm<sup>2</sup>, esperandose asientos de consolidación a largo plazo.

.Excavabilidad

Son materiales facilmente excavables.

.Estabilidad de taludes

Los taludes son estables, aunque pueden llegar a producirse puntualmente deslizamiento. En taludes artificiales se puede producir un deterioro progresivo del mismo.

.Aptitud para explanadas de carreteras

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

### **6.3.3.6. Área IV**

#### **Zona IV1**

##### **-Características Geológico-Geotécnicas**

Esta zona está definida por depósitos de origen cárstico, de naturaleza arcillosa con contenido variable de bloques y cantos de rocas carbonatadas. Se localizan en zonas deprimidas, tapizando fondo de dolinas, uvalas y formas menores del carst. Presentan una potencia variable, que en el caso de las arcillas de descalcificación, está en función de la intensidad del proceso de carstificación y del tamaño de la forma que rellena.

En general se trata de pequeños afloramientos que se localizan al norte de la Hoja, en el espaldar de la Sierra de Leyre.

Desde el punto de vista hidrogeológico presentan una permeabilidad baja a muy baja, debido a su carácter predominantemente arcilloso. 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 asientos de consolidación a largo plazo. Para la Norma DIN 1054 a una profundidad de

cimentación de 2 m, las cargas admisibles en este tipo de arcillas es del orden de 2,5 - 3 kp/cm<sup>2</sup>, esperándose asientos en torno a 4 cm.

No obstante aunque presenten una capacidad portante suficiente en algunos casos para determinados tipos de edificios, se localizan en emplazamientos muy desfavorables (áreas endorréicas, 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

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. 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 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.

### .Obras subterráneas

En general, las obras subterráneas importantes afectarán al sustrato. Obras de menor entidad, encontrarían un terreno tipificado como "Difícil".

## **Zona IV2**

### -Características Geológico-Geotécnicas

Esta Zona está definida por depósitos cuaternarios relacionados con procesos de gravedad y corto transporte por agua, tales como, coluviones y canchales. Los coluviones con grandes bloques se desarrollan al pie de la Sierra de Leyre, en su falda meridional. Los canchales aparecen a pie de los escarpes.

Está formada esta unidad por arcillas limosas o areniscas con abundantes bloques, cantos y lutitas procedentes de la decomposición de materiales carbonatados y areniscosos que se presentan sueltos, generalmente sin ningún tipo de cementación. En el caso de los canchales se trata de una acumulación de bloques muy heterométricos, sin apenas elementos finos. Aunque en conjunto son depósitos relativamente frecuentes, poseen un reducido espesor y carácter errático.

### -Características geotécnicas

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

### Cuadro Resumen de Características Geotécnicas

Humedad 20,5 %

Contenido en Finos (<0.08mm) 80,4 %

Límite Líquido (WL) 28,1-40,4

Índice de Plasticidad (IP) 12,3-19,2

Densidad PROCTOR 1,86 gr/cm<sup>3</sup>

Humedad PROCTOR 12,7 %

CBR 100 % Densidad PROCTOR 14

Clasificación de Casagrande GC-CL

Contenido en Sulfatos 0,01 %

Ángulo de Rozamiento interno ( $\phi$ ) 38°

En base a los datos existentes, los materiales analizados están constituidos por suelos limo-arcillosos de baja plasticidad, que presentan un cierto contenido en grava y arena. Presentan consistencia media, baja capacidad portante, y un valor alto en el índice CBR, por lo que su comportamiento en explanadas puede calificarse como aceptable.

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

#### -Características constructivas

a. Condiciones de cimentación. Se consideran cargas admisibles entre 1,5-2,5 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. Hay que prestar atención al contenido en humedad ante las posibilidades de cambios volumétricos.

b. Condiciones para obras de tierra.

.Excavabilidad. Se consideran Terrenos Medios; su excavación puede realizarse por medios mecánicos sin dificultad.

.Estabilidad de taludes. Constituyen depósitos no consolidados estables en condiciones naturales si no se alteran sus condiciones de equilibrio.

.Empuje sobre contenciones. En general, serán de tipo Medio.

.Aptitud para préstamos. Previa eliminación de la cubierta vegetal, constituyen suelos Marginales, o incluso Adecuados.

.Aptitud para explanada en carreteras. En desmontes definen explanadas tipo E-0 ó E-1.

.Obras subterráneas. Debido a su reducido espesor, este tipo de obras afectarán a materiales del sustrato. No obstante, para obras de pequeña envergadura, nos encontraremos con Terrenos Difíciles, que en principio precisarán entibación total.

### **Zona IV3**

#### **-Características Geológico-Geotécnicas**

Constituyen los depósitos fluviales y aluviales de los principales valles y barrancos así como los depósitos poligénicos, representados por conos aluviales, depósitos de fondo de valle, cauces activos, terrazas y glaciares de cobertera.

Están formados por gravas y cantos de naturaleza calcárea y cuarcítica, arenas, limos y arcillas. Su proporción, grado de cementación y distribución es muy variable, aumentando la proporción de finos en los depósitos de fondo de valle. La naturaleza de la fracción gruesa depende del área de procedencia.

Afloran estos materiales a favor de la red fluvial actual y en la ladera meridional de la Sierra de Leyre, en su límite con Aragón, así como también se localiza algún que otro depósito aislado a favor de dicha sierra.

#### **-Características geotécnicas**

Se trata de materiales poco consolidados, donde los problemas geotécnicos están condicionados a su disposición geomorfológica y estratigráfica. Se dispone de

ensayos geotécnicos procedentes de catas realizadas sobre tramos arcillosos de terrazas aluviales y depósitos de glaciares en la vecina Hoja 173. A continuación se resumen los valores más representativos:

#### Cuadro Resumen de Características Geotécnicas

Contenido en Grava (>5mm) 5/65 %

Contenido en Arena (5-0.08mm) 20/20 %

Contenido en Finos (<0.08mm) 75/15 %

Límite Líquido (WL) 28/-

Límite Plástico (WP) 16/No plástico

Índice de Plasticidad (IP) 12/-

Clasificación de Casagrande CL/GW-GM

Densidad Máxima Proctor Normal 1,8/2,13 gr/cm<sup>3</sup>

Humedad Óptima Proctor Normal 15/7 %

Ángulo de Rozamiento Interno ( $\phi$ ) 30,5/40 °

Cohesión (C') 1,0/2,20

En esta Zona hay que evaluar el riesgo potencial de inundaciones y avenidas debido a precipitaciones importantes concentradas. Presentan una permeabilidad variable entre alta (detriticos gruesos) y baja (áreas con alto contenido en finos), y un nivel freático continuo y somero.

#### -Características constructivas

a. Condiciones de cimentación. Para el conjunto de los materiales que definen la Zona, se estima una capacidad portante variable entre 1 y 3,5 Kp/cm<sup>2</sup>, dependiendo de que

se trate de un limo de consistencia más o menos rígida o una grava de compacidad alta, y de la presencia o ausencia de nivel freático.

El tipo de cimentación será superficial, salvo cuando no se reúnan las condiciones anteriores, las cargas proyectadas sean superiores a las dadas, en el caso de depósitos aluviales (con alto riesgo de avenidas), que será necesario encontrar niveles profundos más resistentes (incluso el sustrato). En estos casos, el tipo de cimentación será semiprofunda.

Los condicionantes geotécnicos más importantes estarán relacionados con la posición del nivel freático, que puede dar lugar a subpresiones y fenómenos de inestabilidad en excavaciones y obras, así como agotamientos importantes. Por otro lado, la presencia de intercalaciones de arcillas blandas puede provocar asentamientos diferenciales no admisibles.

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

.Excavabilidad. Constituyen Terrenos Medios, su excavación puede efectuarse por medios mecánicos sin dificultad.

.Estabilidad de taludes. La estabilidad del talud dependerá de la profundidad del nivel freático y del tipo unidad morfológica. En general, para alturas superiores a 3 m pueden proyectarse taludes 3H: 4V. De manera ocasional, pueden producirse pequeños desprendimientos de cantos de escasa relevancia en los bordes de taludes subverticales.

.Empujes sobre contenciones. Serán de tipo Medio. En zonas de gravas varían de Altos a Bajos en función de la profundidad del nivel freático.

.Aptitud para préstamos. En general, constituyen Terrenos Marginales. Los tramos de gravas se consideran Aptos, si bien precisan una clasificación que elimine los tamaños gruesos (8-10 cm).

.Aptitud para explanada en carreteras. Para constituir explanadas de tipo E-1 en desmontes en roca, precisan sobre ellos la extensión de 50 cm de Suelo Adecuado (ej.: grava clasificada).

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

## 7. BIBLIOGRAFIA

ADAN DE YARZA, R.

1918

Descripción físico-geológica del País Vasco-Navarro. Geografía General del País Vasco Navarro.

T.1., pp. 1-86. 49 fig., 1 mapa geol. 1:800.000, Barcelona

ADARO

1988

Investigación y evaluación de mineral en el área de Javier-Los Pintano.

Informe para Potasas de Subiza, S.A.

ARENAS, C.; PARDO, G.; VILLENA, V.

1990

Las unidades tectosedimentarias del margen septentrional de la Depresión del Ebro en el sector Luesia-Riglos

Geogaceta nº 8 pp. 92-94

AZANZA, B.; CANUDO, J.L.; CUENCA, G.

1988

Nuevos datos bioestratigráficos del Terciario continental de la Cuenca del Ebro

II Congreso Geológico de España, Granada, vol. 1. pp. 261-264.

BARNOLAS, A.; SAMSO, J.M.; TEIXELL, S.A.; TOSQUELLA, J. Y ZAMORANO, M.

1991

Evolución sedimentaria entre la cuenca de Graus-Tremp y la cuenca de Jaca-Pamplona.

I Congreso Grupo Español del Terciario, Libro-Guia Excursión n 1, Vic, 1991, 123 pp.

BARNOLAS, A. y TEIXELL, A.

1992

La cuenca surpirenaica de Jaca como ejemplo de cuenca de antepaís marina profunda con sedimentación carbonática en el margen distal.

Simposio sobre Geología de los Pirineos, III Congr. Geol. de Esp. Salamanca 9 pp.

BRAITSCH

1971

Salts deposits. Their origin and composition.

Springer-Verlag, 297 pp.

C.G.S.

1990

Estudio hidrogeológico de la unidad sur. Sector de Subiza-Guirguillano

Informe para el Gobierno de Navarra

CAMARA, P.; KLIMOWITZ, J.

1985

Interpretación geodinámica de la 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.

CASTIELLA, J.; SOLE, J. y DEL VALLE J.

1978

Memoria Explicativa de la Hoja 1:200.000. Mapa Geológico de Navarra.

Servicio Geológico, Diputación Foral de Navarra.

CASTIELLA, J.; SOLE, J.; NINEROLA, S.; OTAMENDI, A.

1982

Las aguas subterráneas en Navarra. Proyecto hidrogeológico

Diputación Foral de Navarra, 230 pp.

CAVELIER, C.

1968

L'Eocène supérieur et la base de L'Oligocene en Europe occidentale

Memoire du BRGM, Colloque sur L'Eocene.

CIRY, R.

1951

Observations sur le Crétacé de la Navarre espagnole au nord-ouest de Pamplone.

C.R. Acad. Sc., 233, pp. 72-74, Paris.

CIRY, R. y MENDIZABAL, J.

1949

Contribution à l'étude du Cenomanien et du Turonien des confins septentrionaux des provinces de Burgos, d'Alava et Navarra.

Ann. Hebert et Hang (livre Jub. Charles Jacob). T.7, pp. 61-79

COLOM, G.

1945

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

Est. Geol. nº 2 pp. 33-84. Madrid.

CRUSAFONT, M.; TRUYOLS, J.; RIBA, O.

1966

Contribución al conocimiento de la estratigrafía del Terciario continental de Navarra y Rioja

Not. y Com. del IGME, num. 90, pp 53-76.

CHAVEZ, A.; NEURDIN, R.; MAROCCO, J.; DELFAUD, J.

1985

Sedimentary organization of the upper Eocene deep sea fan (Tubiditas de Yesa) of Sangüesa 6th Europ Meeting of Sedimentology IAS-Lleida 84-87.

DEL VALLE, A.

1932

Descubrimiento de la cuenca potásica de Navarra

Notas y comunicaciones del IGME, vol. IV.

DEL VALLE, J.

1993

Acuíferos de la Cuenca de Pamplona

Inédito

DEL VALLE, J. y PUIGDEFABREGAS, C.

1978

Mapa Geológico de España. E. 1:50.000, 2ª ser., Hoja nº 141. Pamplona

IGME

DELFAUD, J.

1969

Essais sur la géologie dynamique du domaine aquitano-pyrénéen durant le Jurasique et le Crétacé supérieur.

Thèse Fac. Sc. Bordeaux, 5 vol., 820 pp.

DONEZAR, M.; ILLARREGUI, M.; DEL VAL, J. y DEL VALLE DE LERSUNDI, J.

1990

Mapas de erosión actual y erosión potencial en Navarra, a escala 1:200.000.

Inst. Suelo y Conc. Parc. de Navarra y I.T.G.E.

ESTRADA, M.R.

1982

Lóbulos deposicionales de la parte superior del Grupo de Hecho entre los anticlinales de Boltaña y el río Aragón (Huesca).

Tesis Doctoral. Univ. Autónoma de Barcelona, 164 pp.

FACI, E.; CASTIELLA, J.; DEL VALLE, J.; GARCIA DE DOMINGO, A.; DIAZ DE NEIRA, A.; SALVANY, J.M.; CABRA, P. y RAMIREZ, J.

1992

Mapa Geológico de Navarra a escala 1.200.000

Gobierno de Navarra.

FROUTE J.Y.

1988

Le rôle de l'accident d'Estella dans l'histoire géologique du Cretace supérieur à Miocene de Navarra-Alavais.

These. Université de Pau

GARCIA SANSEGUNDO, J.

1991

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

Tesis Doctoral. Univ. de Oviedo.

GARCIA SIÑERIZ, J.

1943

La cuenca potásica surpirenaica. C.S.I.C. Primera Reunión del Patronato de la Estación de Estudios Pirenaicos.

Agosto 1943, p. 37-52

HERNANDEZ, A.; RAMIREZ, J.I.; RAMIREZ DEL POZO, J. y PUIGDEFABREGAS, C.

1987

Mapa Geológico de España, E. 1:50.000, 2ª Ser., Hoja nº 173 Tafalla.

IGME.

HERNANDEZ SAMPELAYO, P.

1933

El flysch en Yesa, Navarra . Comunicados del IGME.

HOTTINGER, L.

1961

Acerca de las Alveolinas paleocenas y eocenas

N. y C. IGME, nº 64, p. 37, Madrid.

IGME

1973

Mapa Geológico a escala 1:50.000 nº 175. Sigües

2ª Serie

IGME

1978

Mapa Geológico a escala 1:50.000 nº 142. Aoiz.

2ª Serie

IGME

1987

Mapa Geológico a escala 1:50.000 nº 174. Sangüesa

2ª Serie

IGME

1987

Contribución de la exploración petrolífera al conocimiento de la geología de España

LABAUME, P.

1983

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

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

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

1983

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

Bull. Soc. Géol. France, (211), 25 pp.

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

1987

Megaturbidites: A Depositonal Model From the Eoceno of the SW-Pyrenean Foreland Basin Geo-Marine. Letters 7 pp. 91-101.

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

1985

Evolution of a turbidite foreland basin and analogy with an accretionay prism: Example of the Eoceno South-Pyrenean basin.

Tectonics 4 pp. 661-68.

LAMARE, P.

1927

Sur la structure des Pyrénées navarraisses.

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

LAMARE, P.

1931

Sur l'age des couches á facies flysch de la zone sudpyrénéenne en Navarra.

C.R. Somm. S.G.F., 4 mai 1931, 9-10, 107-109, Paris.

LEON, I.; MARROCCO, R.; NEURDIN, J.; DELFAUD, J.

1985

The tidal-flat of the Sangüesa zone, Uppermost Eocene (Areniscas de Liedena Formation) of the South Pyrenean Basin of Jaca-Pam.

6th European Reg. Meeting of Sediment. IAS, Lleida-85, pp.248-251 (Astract.)

LEON, L.

1972

Síntesis paleogeográfica y estratigráfica del Paleoceno del Norte de Navarra. Paso al Eoceno. Bol. Inst. Geol. Min. España t. 83, pp. 234-241, Madrid.

LEON, L.; PUIGDEFABREGAS, C.; RAMIREZ DEL POZO, J.

1971

Variaciones sedimentarias durante el Eoceno medio en la Sierra de Andía (Navarra)

Acta Geol. Hispanica T. 4, vol. 2, pp. 36-41.

LEON, L.

1985

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

These. Universite de Pou.

MANGIN, J.P.

1960

Le Nummulitique sudpyrénéen á l'Ouest de l'Aragon

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

MANGIN, J.P.

1965

Le segment Basco-Aragonais dú Front Sud-Pyrénéen

Actes IV Congrès Intern. Etudes Pyrénéens y -Lourdes, 11-16, Set. 1962, 1 (185), pp. 69-73, 1 fig., Toulouse.

MENDIZABAL y CINCUNEGUI, M..

1932

Nota acerca de la extensión del Oligoceno en Navarra

Información de carácter geológico, 2ª Región N. y C. del IGME, núm. 4. pp. 140-142.

MENSUAS, S.

1960

La Navarra media oriental. Estudio geográfico.

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

MUTTI, E.; LUTERBACHER, H.; FERRER, J. Y ROSELL, J.

1972

Schemas stratigrafico e lineament. facies del paleog. marino della zona cent. Sudpirenaica tra Tremp (Catalogna) e Pamplona (Nav.).

Mem. Soc. Gel. Ital., 11: 391-416.

MUTTI, E.; REMACHA, E.; SGAVETTI, M.; ROSELL, J.; VALLONI, R. y ZAMORANO, M.

1985

Stratigraphy and facies characteristics of the Eocene Hecho Group turbidite systems. South-central Pyrenees.

In: M.D. Milá y J. Rosell eds: 6th European Regional Meeting I.A.S. y Lleida.

ORTI CABO, F.; ROSELL ORTIZ, L. y PUEYO MUR, J.J.

1984

Cuenca evapor. (potásica) surpir. del Eoc. sup. Aportac. para una interpr. deposic. Libro Homenaje a L. Sánchez de la Torre.

Publicaciones de Geología, nº 20. Universitat Autònoma de Barcelona, p. 209-231.

ORTI, F.; SALVANY J.M.; ROSELL, L.; PUEYO, J.J.; INGLES, M.

1986

Evaporitas antiguas (Navarra) y actuales (Los Monegros) de la Cuenca del Ebro.

Guía de las Excursiones del XI Congreso Español de Sedimentología. Barcelona.

ORTI CABO, F.; SALVANY, M.

1986

Programa de investigación de las formaciones evaporíticas en Navarra. Memoria proyecto. Gob. Navarra  
Vol. 1, Est. Geol. 121 pp.; Vol. 2 Est. Geoecon., 125 pp., 2 anejos (inédito).

ORTI CABO, F.; PUEYO MUR, J.; ROSELL ORTIZ, L.

1985

La halite du bassin potassique sud-pyrénéen (Eocene supérieur)

Bull. Soc. Geol. France, t.I.

nº 6.

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

1994

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

Geogaceta nº 16, pp.90-94.

PELUG, R.

1973

El diapiro de Estella (traducción de J. GOMEZ DE LLARENA)

Rev. MUNIBE. Soc. Cien. Nat. ARANZADI, año XXV, núm. 2-4 pp. 171-202, San Sebastián.

PLAZIAT, J.C.

1969

La transgr. de l'Eocene moyen en Haut Arag. et Nav. et son rôle dans la defin. des grandes ensembles  
struct. en domaine subpy.

94º Cong. National del Societe savants. Pau 1969. Sciences vol. 2, pp. 293-304.

PUIGDEFABREGAS

1975

La sedimentación molásica en la cuenca de Jaca

Tesis Doctoral. Revista Pirineos, nº 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 DEL POZO, J.

1971

Bioestratigrafía y microfacies del Jurásico y Cretácico del Norte de España (región cantábrica)

Mem. Inst. Geol. M.E. 78 (3 vol.) 357 p., 141 lám., Madrid.

RAMIREZ DEL POZO, J.

1986

Informe micropaleontológico de la Hoja a escala 1:50.000 nº 174. Sangüesa. MAGNA.

Documentacion complementaria.

REMACHA, E.

1983

Sand tongues de la Unidad de Broto (Grupo de Hecho) entre el anticlinal de Boltaña y el Rio Osca (Prov. de Huesca).

Tesis Doct. Univ. Autonoma de Barcelona, 163 p.

REMACHA, E.; ARBUÉS, P. y CARRERAS, M.

1987

Preciones sobre los límites de la secuencia deposicional de Jaca. Evolución de las facies desde la base de la secuencia hasta el techo de la arenisca de Sabiñánigo.

Bol. Geol. y Min. 98, pp 40-48.

REMACHA, I. y PICART, J.

1991

El complejo turbidítico de Jaca y el delta de la arenisca de Sabiñanigo. Estratigrafía. Facies y su relación con la tectónica.

I Congreso del Grupo Español del terciario, Libro Guía excursión nº 8. Vic. 117 pp.

RIBA, O. y PEREZ MATEOS, J.

1962

Sobre una inversión de aportes sedimentarios en el borde Norte de la cuenca Terciaria del Ebro (Navarra)

II Reunión del Grupo Español de Sedimentología. Sevilla.

RIOS, J.M.

1963

Materiales salinos del suelo español

IGME, Mem. 64, 161 pp.

RIOS, J.M.; ALMELA, A. y GARRIDO, J.

1944

Datos para el conocimiento estratigráfico y tectónico del Pirineo Navarro

Notas y com. Inst. Geol. y Min. España. 13 (1944): 141-164; 14 (1945): 139-198; 16 (1946): 57-119.

ROBADOR, A.

1990

Early Stratigraphy

In: Introduction to early Paleogene of the South Pyrenean basin. Field Trip guidebook. I.G.C.P. Project 286 (Early Paleogene Benthos). IUGS-UNESCO, Chap. 2.

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

ROJAS, B.; FERNANDEZ VARGAS, E. y LATORRE, E.

1973

Investigación de la Reserva de Potasas surpirenaicas. ENADIMSA..

ROSELL ORTIZ, L. y ORTI CABO, F.

1980

Presencia de analcima y observ. diagenét. en la anhidrita basal de la cuenca potás. de Nav. (Eoceno sup., cuenca del Ebro, España).

Rev. Inst. Inv. Geol. Dip. Barcelona, 34: 223-235.

ROSELL ORTIZ, L. y ORTI CABO, F.

1981

The Saline (Potash) Formation of the Navarra Basin (Upper Eocene, Spain).

Petrology. Rev. Inst. Inv. Geol. Dip. Prov. Barcelona, 35: 71-121.

ROSELL ORTIZ, L. y PUEYO MUR, J.J.

1984

Características geoquímicas de la formación de sales potásicas de Navarra (Eoceno superior).

Comparación con la cuenca potásica catalana. Acta Geol. Hispánica, 19:81-95.

ROSELL, J. y PUIGDEFRABREGAS, C.

1975

The sedimentary evolution of the Paleogene south Pyrenean basin.

IAS 9 th. International Congress. Nice, July 1975.

ROSELL ORTIZ, J.

1983

Estudi petrològic, sedimentològic i geoquímic de la formació de sals potàssiques de Navarra (Eocé superior).

Tesis Doctoral. Universidad de Barcelona, 321 p.

RUPKE, N.A.

1976

Sedimentology of very thick calcarenite-marlestone beds in a flysch succession, southwestern Pyrenees

Sedimentology 23.

SEGURET, M.; LABAUME, P y MADARIAGA, R.

1984

Eocene seismicity in the Pyrenees from megaturbidites in the south-Pyrenean Basin (Nord Spain).

Mem. Geol., 5 pp. 117-131.

SOLE SEDO, J.

1972

Formación de Mues: Litofacies y procesos sedimentarios

Tesis de Licenciatura. Fac. de Ciencias de la Universidad de Barcelona (inédita).

SOLER, M. y PUIGDEFRABREGAS, C.

1970

Líneas generales de la geología del Alto Aragón Occidental

Pirineos, 96

SOUQUET, P.

1967

Le Crétacé Supérieur sud-pyrénéen en Catalogne, Aragon et Navarre

Thèse Doct. Sc. Nat. Arch. Orig. Centre Docum. C.N.R.S. Nr. 1.351, 488 p., 13 cartes, 86 pl.,

Toulouse 1967 (édit privat., 529, p., 29 pl. Toulouse, 1967).

TEIXELL CACHARO, A.

1992

Estructura Alpina en la transversal de la terminación occidental de la zona Axial Pirenaica.

Tesis Doctoral, Departamento de Geología Dinámica, Geofísica y Paleontología.

Facultad de Geología, Universitat de Barcelona.

TURNER, J.P. & HANCOLK, L.

1990

Relationships between thrusting and joint systems in the Jaca thrust-top, Spanish Pyrenees.

Journ. struct. Geol. Vol. 12, nº 2, pp 217-226

VAIL, P.R.; AUDEMARD, F.; EISNER, P.N. % PEREZ CRUZ, G.A.

1990

Stratigraphic signatures separating tectonic, eustatic and sedimentologic effects on sedimentary sections.

AAPG Annual Convention, San Francisco. AAPG. Bul.

VAN DE VELDE, E.

1967

Geology of the Spanish Pyrenees, North of Canfranc, Huesca province.

Est. Geol.