



**Gobierno de Navarra**

Departamento de Obras Públicas,  
Transportes y Comunicaciones

CARTOGRAFÍA GEOLÓGICA DE NAVARRA

ESCALA 1:25.000

**HOJA 65-IV**

**ECHALAR**

MEMORIA

---

La presente Hoja y Memoria, ha sido realizado por “TECNOLOGÍA DE LA NATURALEZA S.L. (TECNA)”, durante el año 2001-2002, con normas, dirección y supervisión del Gobierno de Navarra, habiendo intervenido los siguientes técnicos:

**Dirección y Supervisión (GOBIERNO DE NAVARRA)**

Faci Paricio, E.                      Dirección del Proyecto

**Autores y Colaboradores (TECNA S.L.)**

Galán Pérez, G.                      Cartografía, Memoria e Informática

García de Domingo, A,              Cartografía y Memoria

Cabra Gil, P.                          Geomorfología y Cuaternario

González Lastra, J.                  Sedimentología

Martínez Torres, L.M.                Tectónica

Pesquera Pérez, A.                  Petrología

## ÍNDICE

<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
<b>2. ESTRATIGRAFÍA</b> .....	<b>4</b>
2.1. PALEOZOICO .....	4
2.1.1. Devónico-Carbonífero .....	5
2.1.1.1. Areniscas blancas masivas (formación Sumbilla), (nivel 53). Siegeniense-Emsiense..	5
2.1.1.2. Esquistos negros con intercalaciones de arenisca. (Formaciones Oronoz y Kalforro), (nivel 57). Siegeniense-Emsiense .....	5
2.1.1.3. Calizas, margas y esquistos. (Formación Oronoz), (nivel 56). Emsiense superior. ....	6
2.1.1.4. Esquistos arenosos y calizas (nivel 59) y niveles de calizas lenticulares (nivel 60). (Formación Elorzuri). Eifeliense-Frasniense. ....	7
2.1.1.5. Esquistos, pizarras y grauwacas alternantes (nivel 64). Frasnense-Westfaliense .....	8
2.1.1.6. Calizas masivas (nivel 65). Frasnense-Namuriense .....	9
2.1.1.7. Silexitas (nivel 66). Dinantiense .....	10
2.1.1.8. Calizas tableadas (nivel 67). Fameniense-Namuriense .....	10
2.1.1.9. Conglomerados (nivel 68). Namuriense-Westfaliense .....	10
2.1.1.10. Análisis secuencial del Devónico-Carbonífero.....	11
2.2. MESOZOICO .....	11
2.2.1. Triásico.....	12
2.2.1.1. Conglomerados (nivel 101), areniscas rojas y grises (nivel 103), areniscas y arcillas (nivel 104). Facies Buntsandstein. Triásico inferior. ....	12
2.2.1.2. Arcillas abigarradas y yesos (nivel 105). Triásico inferior. ....	14
2.2.1.3. Calizas y dolomías (nivel 107). Facies Muschelkalk. Triásico medio. ....	14
2.2.1.4. Análisis secuencial del triásico.....	15
2.3. CUATERNARIO .....	16
2.3.1. Pleistoceno.....	16
2.3.1.1. Gravas, cantos arenas y arcillas (nivel 524). Terrazas.....	16
2.3.1.2. Arcillas, gravas, cantos y arenas (nivel 519). Glacis .....	16
2.3.2. Holoceno.....	17
2.3.2.1. Acumulación de bloques, arcillas y arenas (nivel 545). Deslizamientos. ....	17
2.3.2.2. Bloques y cantos (nivel 547). Avalanchas de bloques.....	18
2.3.2.3. Arcillas y areniscas con bloques y cantos (nivel 543). Coluviones. ....	18
2.3.2.4. Cantos, gravas, arenas y arcillas (nivel 527). Fondos de valle. ....	19
2.3.2.5. Gravas, cantos, arenas y arcillas (nivel 536). Conos de deyección. ....	19
<b>3. TECTÓNICA</b> .....	<b>21</b>

3.1.	CONSIDERACIONES GENERALES .....	21
3.2.	ESTRUCTURAS DEL BASAMENTO PALEOZOICO (OROGENIA HERCINICA) .....	23
3.2.1.	Descripción de las principales estructuras.....	27
3.3.	ESTRUCTURAS DE LA COBERTERA MESOZOICA (OROGENIA ALPINA) .....	30
3.4.	CRONOLOGÍA DE LA DEFORMACIÓN. ....	31
<b>4.</b>	<b>GEOMORFOLOGÍA .....</b>	<b>34</b>
4.1.	DESCRIPCIÓN FISIAGRÁFICA .....	34
4.2.	ANTECEDENTES .....	35
4.3.	ANÁLISIS MORFOLÓGICO.....	36
4.3.1.	Estudio morfoestructural .....	36
4.3.2.	Estudio del Modelado .....	37
4.3.2.1.	Formas de laderas.....	37
4.3.2.2.	Formas fluviales .....	39
4.3.2.3.	Formas poligénicas.....	40
4.4.	FORMACIONES SUPERFICIALES .....	41
4.5.	EVOLUCIÓN GEOMORFOLÓGICA.....	43
4.6.	PROCESOS ACTUALES .....	44
<b>5.</b>	<b>PETROLOGIA .....</b>	<b>46</b>
5.1.	ROCAS FILONIANAS .....	46
5.1.1.1.	Cuarzo (nivel 7) .....	46
5.2.	ROCAS ÍGNEAS.....	46
5.2.1.1.	Diabasas (nivel 2) .....	46
5.2.1.2.	Ofitas (nivel 1).....	47
5.3.	METAMORFISMO REGIONAL .....	48
<b>6.</b>	<b>HISTORIA GEOLÓGICA.....</b>	<b>49</b>
6.1.	EL CICLO HERCÍNICO.....	49
6.2.	EL CICLO ALPINO .....	50
<b>7.</b>	<b>GEOLOGÍA ECONÓMICA .....</b>	<b>54</b>
7.1.	RECURSOS MINERALES.....	54
7.1.1.	Minerales metálicos y no metálicos.....	54
7.1.1.1.	Mineralizaciones de siderita, fluorita, galena, esfalerita, calcopirita. Zn-pb-f-(fe) .....	54
7.1.1.2.	Hierro .....	55
7.1.1.3.	Cobre.....	55
7.1.1.4.	Plata y mercurio .....	55

---

7.1.1.5. Barita .....	55
7.1.2. Rocas industriales .....	56
7.1.3. Interés potencial de los recursos mineros .....	56
7.2. HIDROGEOLOGÍA .....	56
7.2.1. Introducción .....	56
7.2.2. Descripción hidrogeológica .....	57
7.2.3. Acuíferos secundarios .....	58
7.2.3.1. Acuíferos aislados del paleozoico (devónico y carbonífero) .....	58
7.2.3.2. Buntsandstein-Muscheskalk .....	58
7.2.3.3. Cuaternario .....	59
7.2.4. Funcionamiento hidrogeológico .....	60
7.3. GEOTECNIA .....	61
7.3.1. Introducción .....	61
7.3.2. Metodología .....	62
7.3.3. Zonificación geotécnica .....	63
7.3.3.1. Criterios de división .....	63
7.3.3.2. División en áreas y zonas geotécnicas .....	63
7.3.4. Características geotécnicas .....	65
7.3.4.1. Introducción .....	65
7.3.4.2. Área I .....	76
7.3.4.3. Área II .....	79
7.3.4.4. Área III .....	84
7.3.4.5. Área IV .....	93
<b>8. BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>99</b>

## 1. INTRODUCCIÓN

La Hoja a escala 1:25.000 de Etxalar (65-IV), es el cuarto cuadrante de la Hoja a escala 1:50.000 de Vera de Bidasoa (65), junto con la hoja de Urdax(66), la hoja más septentrional de Navarra. Prácticamente, la totalidad de la hoja pertenece al denominado Macizo de Cinco Villas, a excepción de la esquina nororiental donde afloran materiales mesozoicos formando el Sinforme de Etxalar..

Topográficamente se trata de una Hoja muy accidentada, con fuertes contrastes altimétricos, lo que incide en la presencia de importantes desniveles y, en general terrenos abruptos, que generalmente suelen ir acompañados de una tupida cobertera vegetal, lo que dificulta sobremanera la observación de los posibles afloramientos geológicos. La máxima elevación de la Hoja se encuentra en el cuadrante nororiental de la Hoja, se trata del Monte Olaberri con 852 m, mientras que las mínimas alturas se encuentran alrededor de la llanura de inundación del río Bidasoa, en su confluencia con el río Tximista, donde la cota es 60 metros aproximadamente

El río Bidasoa es el principal de la red fluvial en esta Hoja y toda la hoja pertenece a la su cuenca, incluida en la vertiente cantábrica. Este valle del Bidasoa ocupa toda la parte occidental de la Hoja, en un curso que aunque meandriforme, sigue una dirección desde el Sur hasta el Norte y todos los cursos fluviales afluyen a él en el ámbito de la Hoja. Solamente los ríos de la esquina suroriental de la Hoja no lo hacen directamente, ya que se dirigen hacia el río Baztán, situado al Este, que a su vez confluye en el Bidasoa, fuera de los límites de la Hoja. Sin embargo, es el río Tximista el que articula la red fluvial, ya que su curso recorre la hoja desde su zona suroriental hasta su confluencia con el Bidasoa en la parte noroccidental de la Hoja. A estos dos ríos principales es a donde vierten sus aguas una gran cantidad de arroyos, regatas y barrancos, que recogen las aguas de la alta pluviometría que se produce a lo largo de todo el año.

La densidad de población es muy baja, ya que a excepción de la localidad de Etxalar, y del núcleo de Berrizaún, en el resto de la hoja solamente aparecen caseríos dispersos, existiendo zonas totalmente despobladas, es el caso de la zona de la Hoja perteneciente al Espacio Natural del Señorío de Bertiz, y otras de la zona occidental.

La red de comunicaciones es bastante deficiente, existiendo únicamente una carretera principal, la NA-121-A, que comunica Pamplona con Irún, siguiendo el curso del río Bidasoa. El resto de carreteras, o son de menor entidad, como la que conduce de Etxalar a Francia o apenas son pistas asfaltadas, como las que, desde Etxalar se dirigen hacia Zugarramurdi o hacia el valle del Baztán.

Desde un punto de vista geológico, la práctica totalidad de la Hoja se incluye dentro del Macizo de Cinco Villas, macizo paleozoico que se enmarca en la terminación occidental de los Pirineos, cerca ya de su confluencia con el Arco Vasco.

El orogeno pirenaico se caracteriza por un cinturón de pliegues y cabalgamientos de orientación E-O, desarrollados entre el Cretácico superior y el Mioceno inferior, como resultado de la convergencia entre las placas Ibérica y Europea, presenta una elevada simetría con respecto a la franja central denominada Zona Axial, integrada fundamentalmente por rocas plutónicas y materiales paleozoicos, que constituyen el zócalo regional. Flanqueando a la zona axial, se disponen las zonas Nor y Surpirenaica, constituidas por materiales mesozoicos y paleógenos, intensamente plegados, que integran la cobertera. Este último dominio cabalga sobre la Depresión del Ebro, cuenca de antepaís rellena por sedimentos neógenos postorogénicos.

En cuanto al Arco Vasco, se sitúa en el extremo oriental de la Cuenca Vasco-Cantábrica, considerada tradicionalmente como un sector marginal de la cadena pirenaica y constituida por materiales mesozoicos y paleógenos moderadamente deformados, que muestran cierta similitud con los de la Zona Norpirenaica. El límite entre el Pirineo Occidental y la Cuenca Vasco-Cantábrica coincide con un accidente transversal a la cadena, de dirección NE-SO, conocido como falla de Pamplona (o de Estella-Elizondo), cuyo reflejo superficial es la alineación de diapiros navarros. Dicho accidente no supone un límite arbitrario, ya que a ambos lados del mismo, se aprecia una importante variación de las características estratigráficas y estructurales de los materiales aflorantes.

El macizo de Cinco Villas, según la terminología de HEDDEBAUT (1973), se puede diferenciar en dos dominios desde el punto de vista estratigráfico: el dominio oriental, que estaría representado por materiales fundamentalmente devónicos, y el dominio occidental, en el cual se englobaría toda esta Hoja de Etxalar, caracterizado por una

litología muy monótona y pobre en fósiles. Existe una controversia en cuanto a su edad, pero, últimamente, se acepta el Carbonífero como su edad más probable.

Además, la tectónica del macizo es sumamente compleja, consecuencia de la superposición de las orogénias hercínica y alpina lo que ha ocasionado la existencia de superposición de pliegues y la fracturación del macizo en grandes bloques. Este hecho de superposición de varias fases de plegamiento puede observarse con detalle en el valle del río Tximista, donde numerosos afloramientos dan detalle de la complejidad de la historia tectónica de Cinco Villas. Incrustado en el macizo, aunque no aflora en esta Hoja, aparece el stock granítico de Peñas de Aya, lo que añade un nuevo factor a la complejidad estructural de toda la zona

La cartografía de esta Hoja esta basada en la realizada a escala 1:25.000 por la DIPUTACIÓN FORAL DE NAVARRA, la Hoja de Vera de Bidasoa a escala 1:50.000 del plan MAGNA, y los datos cartográficos de distintos estudios. Sobre todos estos trabajos se ha realizado la pertinente actualización cartográfica y geológica sobre la base de criterios estructurales y sedimentarios fundamentalmente.

Son numerosos los trabajos de carácter general que pueden encontrarse en la literatura geológica regional acerca de la Cuenca Vasco-Cantábrica y el Pirineo, tal como podrá apreciarse en el capítulo correspondiente a bibliografía. De entre los que afectan de forma específica al territorio ocupado por la Hoja, destaca el realizado por HEDDEBAUT (1973), sobre los macizos paleozoicos vascos y PESQUERA (1985), más dedicado a la mineralogía, petrología y metalogenia del MCV, son los más importantes y en ellos se basarán algunas de los comentarios realizados en esta memoria.



## 2. ESTRATIGRAFÍA

La estratigrafía de esta Hoja se ha realizado basándose en criterios secuenciales, definiendo unidades tectosedimentarias limitadas por rupturas deposicionales con expresión cuencial. En cada unidad así definida y delimitada se han cartografiado los distintos cuerpos litológicos, determinando hasta donde ha sido posible, sus variaciones espaciales y sus relaciones de facies.

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

Los materiales aflorantes en la Hoja de Etxalar pueden agruparse en tres grandes conjuntos: Paleozoico, Mesozoico y Cuaternario, cuyas características y distribución presentan acusadas diferencias estando totalmente ausentes los depósitos pertenecientes al Terciario.

El Paleozoico aparece representado en el dominio estructural del macizo de Cinco Villas que se prolonga hacia Francia.

Este macizo, se encuentra separado del Macizo de Alduides, por la falla Norpirenaica, presentando, ambos dominios, características litológicas, sedimentológicas y tectónicas diferentes, sin aparente correlación estratigráfica.

El Triásico, está constituido por un conjunto de areniscas en facies "Buntsandstein", con un nivel en el techo de arcillas yesíferas y un nivel carbonatado en facies "Muschelkalk", faltando el nivel de arcillas yesíferas que representan las facies "Keuper".

### 2.1. PALEOZOICO

Los materiales paleozoicos aflorantes en esta Hoja se asocian a los al macizo estructural del macizo de Cinco Villas. Se extiende por toda la hoja, a excepción del sinforme de Etxalar, en afloramientos muy poco visibles y en general con una gran monotonía litológica..

### **2.1.1. Devónico-Carbonífero**

#### **2.1.1.1. Areniscas blancas masivas (formación Sumbilla), (nivel 53). Siegeniense-Emsiense**

Únicamente se reconocen dos afloramientos de este nivel. El primero de ellos aparece en la margen derecha del barranco Inferneko, mientras que el segundo afloramiento aparece, dentro de los límites del Señorío de Bertiz, junto al barranco Araneka. En ambos casos los afloramientos son muy difíciles de observar.

Los niveles arenosos (nivel 53), adquieren tonos grises, generalmente más claros que los de las pizarras, sin estructuras sedimentarias externas ni internas pero con un ligero bandeado. No se observan con precisión las superficies de estratificación. Los granos son fundamentalmente de cuarzo, subredondeados y alargados según la esquistosidad, aunque en menor proporción se observan granos de feldespatos y fragmentos de rocas, con un tamaño de grano variable, predominando el fino. La matriz esta formada por minerales micáceos y arcillosos y el cemento, aunque escaso, suele ser silíceo

El espesor de esta unidad cartográfica es del orden de unos 40 m, aunque los afloramientos presentan una deficiente calidad de observación, debido a la intensa meteorización que sufren este tipo de materiales y a la abundancia de vegetación, atribuyéndose al Devónico inferior, atendiendo únicamente a su posición estratigráfica al no poseer ningún criterio de datación paleontológica.

#### **2.1.1.2. Esquistos negros con intercalaciones de arenisca. (Formaciones Oronoz y Kalforro), (nivel 57). Siegeniense-Emsiense**

Este tramo se puede observar en algunas zonas del Señorío de Bertiz, muy afectados por fracturas y de muy mala calidad debido a la intensa meteorización que sufren este tipo de materiales y a la abundancia de vegetación.

Litológicamente está formado por un conjunto de pizarras y areniscas atribuidas al Devónico inferior indiferenciado al no poseer ningún criterio de datación paleontológica.

En Hojas próximas a esta, (Sumbilla nº 90), se indica la presencia de la fauna siguiente: *Leptagonia cf zlichovensis*, HAULICEK, *Mesodouvillina sp*, *Leptostrophia sp*, “*Gypidula*” *sp*, *Acrospirifer sp*, *Alatiformia cf alatiformis* (DREVERMANN). En la Hoja de Vera de Bidasoa, (nº 65), se han determinado la siguiente relación de fauna: *Schellwienella sp.*, *Hysterolites sp.*, *Pleurodictyum sp.*, *Douvillina sp.*, *Reticulariopsis sp.*, *Playorthis circularis* (SOWERBY), *Plicostropheodonta cf. Murchisoni*, *Douvillina sp.* que asigna a esta unidad una edad comprendida dentro del Emsiense superior

El espesor de esta unidad es del orden de 200 m, aunque al encontrarse los afloramientos muy alterados su observación es francamente difícil.

El ámbito de sedimentación, teniendo en cuenta la falta de estructuras sedimentarias tractivas, permite atribuir a estas facies a un ambiente deposicional “offshore”.

#### **2.1.1.3. Calizas, margas y esquistos. (Formación Oronoz), (nivel 56). Emsiense superior.**

Este nivel, aflora en el señorío de Bertiz, en una zona donde es difícil observar con detalle las características de la unidad, a causa de los malos afloramientos en una zona con una vegetación muy tupida y con gran desarrollo de suelos.

Está formado por un conjunto, con un espesor de 150 m de calizas bandeadas con intercalaciones de pizarras, que han sido denominadas como “Calizas de Oronoz” dentro de la Formación Oronoz, a su vez incluidas en el Grupo Bertiz.

Los estudios paleontológicos citados en la Hoja MAGNA de Sumbilla (Nº90) son: *Schizophoria sp*, *Leptostrophia cf. magnifica* (HALL), *Schelwienella sp*, *Anathyris alejensis*, COMTE; *Paraspirifer cultrijugatus sp*, *Costisspirifer sp*, *Alatiformia Alatiformis* (DREVERMANN), *Euryspirifer paradoxus* (SCHLOTHEIM) que indican el Emsiense superior.

Esta unidad presenta laminaciones asociándose a ambientes de plataforma carbonática somera.

Hacia techo de esta unidad, se observa un conjunto con una potencia que oscila entre 300 y 500 m de pizarras negras con intercalaciones arcillo-calcáreas y areniscosas,

---

predominando estas últimas en la base de esta unidad. Las pizarras son arenosas o limosas sericíticas negras con intercalaciones de calizas margosas. En las areniscas son muy abundantes las estructuras de “flasers” arcillosos y “linsens” de areniscas que indican un ambiente de plataforma poco profunda. La fauna citada en la Hoja MAGNA de Vera de Bidasoa (Nº 65) es la siguiente: *Anathyris alejensis*, COMTE; *Euryspirifer paradoxus* (SCHLOTHEIM); *Paraspirifer cultrijugatus cf cultrijugatus* ROEMER, *Subcuspidella cf longeincisa sp Reticulariopsis curvata* (SCHNUR), *Leptostrophia cf magnifica* (HALL) de Emsiense superior.

A techo afloran un conjunto calcáreo denominado como “Calizas de Marquesenea”. Se trata en concreto de una alternancia de esquistos, margas y calizas margosas, (biomicritas), recristalizadas y a veces algo dolomíticas, limosas con piritita y óxido de hierro, con un porcentaje de cuarzo que oscila entre el 4 y el 12%, asimilándose a un ambiente de plataforma carbonática somera.

Los estudios de microfauna han determinado *Anathyris alejensis*, *Euryspirifer paradoxus*, *Paraspirifer cultrijugatus*, *Subcuspidella gosleriensis* que indican para estos tramos superiores una edad Emsiense superior, con un espesor muy variable oscilando entre 10 y 200 m. El conjunto de estos dos últimos tramos han sido denominados como Formación Kalforro, dentro del Grupo Bertiz.

#### **2.1.1.4. Esquistos arenosos y calizas (nivel 59) y niveles de calizas lenticulares (nivel 60). (Formación Elorzuri). Eifeliense-Frasniense.**

Estas unidades se disponen en continuidad estratigráfica con las definidas anteriormente. Los afloramientos de esquistos arenosos y calizas se extienden en toda la zona occidental de la Hoja y rodeando el sinforme de Etxalar, cabalgando sobre los esquistos, pizarras y grauwacas carboníferas. Únicamente se ha observado un afloramiento de calizas lenticulares y de muy mala calidad en las proximidades de la carretera que desde el puerto de Otxondo se dirige hacia Oronoz-Mugaire.

Estos niveles han sido incluidos en la “Formación Elorzuri” dentro del Grupo Bertiz. Está formado por un conjunto de esquistos arenosos y margosos, observándose en la base pizarras margosas en bancos de unos 10 cm, alternando con niveles de calizas oscuras muy recristalizadas, margas y pizarras arcillosas y arenosas.

Estos niveles contienen estructuras “flasers” y nódulos arcillosos, intercalados en estos niveles esquistosos y hacia los tramos centrales de este conjunto se observan intercalaciones de niveles calcáreos de hasta 60 m de espesor (nivel 60).

La datación de estos niveles se ha efectuado en la realización de la Hoja MAGNA de Sumbilla (Nº 90) y Vera de Bidasoa (Nº 65), estando basada tanto en macrofauna como en microfauna: *Paraspirifer cultrijugatus*, *Subcuspidella crassifulcita*, *Alatiformia cf dorsocava*, *Schizophoria cf schnuri*, *Polygnathus cf latus*, WITTEKINDI; *P. Linguiformis linguiformis*, HINDE; *P. Varcus*, STAUFFER; *P.pennatus*; HINDE; *Schmidtnathus wittekindti* ZIEGLER, que indican una edad comprendida entre el Eifeliense superior, Givetiense e incluso parte del Frasnense

El espesor total de esta formación es del orden de 800 m, depositándose en un ambiente de plataforma marina somera mixta, terrígeno-carbonatada.

#### **2.1.1.5. Esquistos, pizarras y grauwacas alternantes (nivel 64). Frasniense-Westfaliense**

Es la unidad paleozoica con mayor superficie de afloramiento, cubriendo toda el área occidental de la Hoja. Los mejores afloramientos se pueden observar en cortes y trincheras de carreteras y pistas, así como en el valle del río Tximista, donde la erosión del cauce a dejado al descubierto buenos afloramientos, no cubiertos por la vegetación ni alterados por la acción antrópica.

Se trata de una monótona alternancia rítmica entre esquistos y grauwacas en facies “Culm”, cuya potencia puede llegar a los 1000 m, que corresponden a subarkosas con matriz sericítica cementada por óxidos de hierro, con biotita alterada a clorita. El techo de este conjunto se encuentra afectado por una discordancia de carácter regional que separa esta unidad de la inmediata superior.

Los niveles de pizarras, se encuentran en general poco metamorfizados, aunque se reconoce un metamorfismo creciente de oeste a este

Los niveles areniscosos presentan granoselección positiva, laminación paralela en la base y, ocasionalmente, “ripples” a techo; esporádicamente aparecen tramos de “slumping” y “debris-flow”. Su depósito presenta carácter turbidítico, con inclusión de

olistolitos carbonatados procedentes de las plataformas carbonatadas namurienses, en la base de la serie. Estas turbiditas son de tipo talud, asimilables a un sistema turbidítico de tipo III (MUTTI, 1985)

Se han datado por restos fósiles entre los niveles calcáreos que se sitúan en el intervalo Devónico superior-Westfaliense.

#### **2.1.1.6. Calizas masivas (nivel 65). Frasnense-Namuriense**

Forman un resalte morfológico allí donde aparecen, constituyendo un importante cambio litológico en la serie paleozoica, con la intercalación de diversos términos carbonatados en el muro de los términos detríticos ya descritos. Presentan una amplia distribución, aunque en esta Hoja están reducidas a intercalaciones dentro de la serie pelítica. Se han reflejado en la cartografía en aquellas zonas donde los afloramientos han permitido observarlas, sin embargo, su presencia no debe estar reducida a estos niveles, debiendo estar presentes en todo el macizo.

Se trata de un conjunto de calizas masivas de color blanco a gris azulado, recristalizadas, con aspecto marmóreo, que forman la base de la serie carbonífera, y a su vez, aparece como intercalaciones en ella. El tránsito con los niveles pizarrosos se realiza de una forma transicional, con intercalaciones de niveles pizarrosos.

En estos tramos calcáreos se ha encontrado abundante fauna muy diversa, entre ella: *Palmatolepis gracilis gracilis*, *Palmatolepis* sp., *Acodina delata*, *Spathognathodus* sp., *Ligonodina* sp., *Nothognathella* sp., *Lonchodina* sp., *Icriodus* sp., que asignan una edad comprendida entre Fameniense y el Namuriense

Sedimentológicamente, se asocian a depósitos de plataforma, con aportes detríticos esporádicos. Aunque ocasionalmente aparecen niveles que indican presencia de organismos constructores como corales y briozoos, no hay evidencia de formaciones arrecifales

**2.1.1.7. Silexitas (nivel 66). Dinantiense**

Relacionadas con la unidad calcárea descrita anteriormente, se ha observado un nivel de silexitas negras en la zona de Lakain, muy delgado y muy tectonizado que apenas puede seguirse con nitidez

Aunque es muy difícil observar sus características para obtener datos sobre su origen posiblemente se trate de un nivel originado por la diagénesis y silicificación de tierras con altos contenidos de diatomeas y radiolarios.

**2.1.1.8. Calizas tableadas (nivel 67). Fameniense-Namuriense**

Sus afloramientos se distribuyen por la zona de Lakain, al Norte de la Hoja, en un afloramiento que constituye sin dúbale mejor de los existentes en la región. Aparecen por encima del nivel de silexitas anterior y son afloramientos que aparecen debido a la presencia de distintas fracturas que limitan los afloramientos por el Norte

Se encuentran intercaladas entre los esquistos que constituyen la gran masa litológica aflorantes e en esta región. Se trata de intercalaciones calcáreas lenticulares (micritas muy recristalizadas), con una potencia que no supera el centenar de metros, de tonos oscuros o grises, de aspecto tableado, distribuidas en bancos finos, normalmente con estratificación ondulada y con intercalaciones de niveles de esquistos

La fauna recogida en este nivel, le asigna una edad similar a la descrita para las calizas masivas, es decir Fameniense-Namuriense.

**2.1.1.9. Conglomerados (nivel 68). Namuriense-Westfaliense**

Los afloramientos de esta unidad se encuentran muy dispersos entre los materiales pelíticos de la unidad 11. Su observación resulta complicada cuando no forman un resalte o aparecen en cortes de vías de comunicación.

La distribución geográfica de estos conglomerados es muy irregular, no observándose tampoco un nivel estratigráfico preferente de sedimentación, sino que se encuentran distribuidos aleatoriamente por la serie estratigráfica. Su espesor es así mismo muy variable, con espesores medios entorno 10 m.

La naturaleza fundamental de estos conglomerados son fundamentalmente de cuarzo, cuarcitas blancas, pizarras y lilitas negras, heterométricos, con un tamaño que oscila entre 0,3 y 1 cm, unos muy redondeados y otros de aspecto bréchico. Los cantos aparecen elongados en dirección de la esquistosidad, indicando crecimientos diagenéticos estructurales. La matriz es areniscosa y pelítica, ocasionalmente puede contener microconglomerados

La naturaleza detrítica de este nivel no ha permitido datarlo, aunque teniendo en cuenta su posición estratigráfica se puede encuadrar dentro del Namuriense-Westfaliense.

#### **2.1.1.10. Análisis secuencial del Devónico-Carbonífero**

En esta zona del macizo de Cinco Villas es difícil establecer con precisión secuencias deposicionales ya que únicamente se identifica una única macrosecuencia, que comienza por el desarrollo de plataformas carbonatadas a las que sigue un cambio paleogeográfico importante, con instalación de aparatos turbidíticos en cuyos episodios iniciales se produce el desmantelamiento de las plataformas carbonatadas namurienses.

## **2.2. MESOZOICO**

Está representado por dos conjuntos claramente diferenciados, separados por una importante discordancia

El Triásico orla a los depósitos paleozoicos, estando representado por los dos litotipos inferiores característicos de las facies germánicas: el tramo inferior de naturaleza detrítica y tonos rojos característicos (facies "Buntsandstein") y el tramo intermedio, fundamentalmente carbonatado (facies "Muschelkalk"), no observándose el tramo superior arcillo-yesífero posiblemente por motivos tectónicos, ya que constituye un importante nivel de despegue estructural en esta región.

El Cretácico comienza con la aparición del ciclo Albiense representado por arcillas, areniscas, pizarras y calizas bioconstruidas en facies supraurgonianas.



El Cretácico superior está representado por los depósitos de calizas arcillosas y alternancias de areniscas y arcillas calcáreas.

### **2.2.1. Triásico**

Después de la formación de la cadena Hercínica Pirenaica y su posterior peneplanización, la sedimentación en la cuenca se reanuda con la deposición de las facies detríticas rojas del Buntsandstein.

#### **2.2.1.1. Conglomerados (nivel 101), areniscas rojas y grises (nivel 103), areniscas y arcillas (nivel 104). Facies Buntsandstein. Triásico inferior.**

Sus afloramientos se sitúan en todo el borde del Sinforme de Etxalar desde Orizqui, hasta la zona de Ezkurbi, donde los conglomerados forman la base discordante del sinforme sobre los esquistos y pizarras de la unidad 59 y las areniscas de las unidades 103 y 105 ocupan en gran medida el núcleo del sinclinal. También aparecen en la esquina suroriental de la Hoja, en la zona de Legate y Umoto, donde forman los relieves mas elevados de esta parte de la Hoja.

En general las facies "Buntsandstein" poseen un marcado carácter detrítico, así como una tendencia granodecreciente y típicos tonos rojizos; su espesor, aunque variable, puede alcanzar 500 m.

Su base está marcada por una discordancia sobre la que se dispone un tramo conglomerático poligénico muy cementado (nivel 101), de cantos subredondeados de cuarzo, cuarcita, y liditas con diámetro medio de 3-8 cm y tamaño máximo 12 cm con soporte clástico en matriz arenosa de grano grueso a medio, mal clasificada y cemento de naturaleza silícea. Intercalados entre estos conglomerados se observan niveles de areniscas de geometría lenticular, con tamaño de grano medio a grueso, cicatrices irregulares de erosión tapizados por "lag" de cantos, con laminación paralela. Hacia techo se observan láminas cruzadas de bajo ángulo y estratificación cruzada de surco laxo. En general, se organizan en niveles de tendencia tabular groseramente gradados, con eventual estratificación cruzada planar de láminas muy inclinadas. Su potencia puede alcanzar 25 m.

Sedimentológicamente, los conglomerados basales se integran en un contexto de barras longitudinales de gravas, localizadas en la orla proximal-media de abanicos aluviales en la que coexisten procesos de transporte en masa y por agua, con desarrollo de bancos de gravas en canales de baja sinuosidad, muy tractivos.

Sobre el tramo conglomerático se dispone un conjunto esencialmente arenoso rojo (nivel 103), próximo a 300 m. de espesor. En su mitad inferior predominan las areniscas de grado medio y composición cuarcítico-micáceas, con cemento silíceo y a veces ferruginoso, así como matriz limosa-arenosa bien cementada, frecuentemente alterada a limonita. A veces se observan impresiones en los cantos de origen mecánico, por compresión de unos cantos con otros. El tamaño de los cantos, varía normalmente entre 1 y 10 cm, aunque puede llegar a 20 cm muy heterométricos y redondeados. Se organizan en secuencias positivas de relleno de canales fluviales de baja sinuosidad integrados por sets tabulares de láminas cruzadas y cosets de estratificación cruzada de mediana escala, de tipo surco y planar. Estas facies son típicas de barras arenosas longitudinales y transversales de cauces trenzados asociados a las zonas intermedias de un abanico fluvial.

En la mitad superior se aprecia la progresiva incorporación de tramos limolíticos rojos, que dan lugar a una alternancia de areniscas y limolitas (nivel 104), con predominio de las limolitas sobre las areniscas cuyos niveles van disminuyendo hacia techo. Las areniscas de grano medio a fino con cemento silíceo y carbonatado, se disponen en bancos de aspecto canalizado cuyo espesor no suele superar los 30 cm, apreciándose una importante concentración de micas en los planos de estratificación. En la vertical existe un incremento progresivo de la sinuosidad de los canales como sugiere el paso de cosets tabulares de láminas cruzadas, enfrentadas o normales al sentido de acreción, y "climbing ripples". Los niveles limolíticos poseen carácter masivo o bien intercalan capas decimétricas de areniscas de grano fino o muy fino, muy bioturbadas, asimilables a depósitos de desbordamiento de tipo "crevasse splay".

No se han encontrado restos fósiles que permitan la datación de la unidad, que de forma tentativa se ha asignado al Triásico inferior.

Los análisis petrológicos de areniscas han señalado ciertas variaciones composicionales y texturales, pero en general los valores están comprendidos entre 50 y 75% de cuarzo, e inferiores al 10% de fragmentos de rocas metamórficas y

plagioclasa; en la mayor parte de los casos se observa matriz arcillosa (10-12%) y cemento silíceo o ferruginoso (15-30%). Dichos análisis han permitido su clasificación como sublitoarenitas en la mayor parte de los casos, con cuarzoarenitas en menor proporción.

#### **2.2.1.2. Arcillas abigarradas y yesos (nivel 105). Triásico inferior.**

Culminando la unidad se aprecia la presencia de un tramo arcilloso de colores abigarrados (nivel 105), que puede alcanzar 40 m de espesor. Generalmente aparece en afloramientos de mala calidad, pudiendo confundirse puntualmente con niveles arcillosos triásicos correspondientes a las facies “Muschelkalk” y “Keuper”, no aflorante en esta zona. Hacia la base se intercalan niveles de areniscas de orden decimétrico que presentan bases canalizadas con probables retoques mareales, como sugieren cierta bimodalidad en las láminas cruzadas, “drappers” y posibles “wave-ripples”, si bien predominan los procesos puramente fluviales; con estratificación cruzada de surco planar que hacia techo presentan laminación cruzada ascendente, por contra, hacia el techo se intercalan niveles calcáreos muy delgados que sugieren el tránsito a la facies “Muschelkalk”.

Como sucede en los niveles anteriormente descritos, no se han encontrado restos fósiles que permitan la datación de la unidad, que se ha asignado al Triásico inferior por su posición estratigráfica.

Los únicos afloramientos de esta unidad se localizan en el núcleo del sinforme de Etxalar, en las proximidades del collado de Orizkie y en la cabecera del barranco de Ezkurbi, apareciendo únicamente en el flanco norte en sucesión continua con el resto de unidades del Buntsandstein, mientras que su contacto del flanco sur es tectónico, al cortarse la unidad por la falla que corta el sinclinal según su eje.

#### **2.2.1.3. Calizas y dolomías (nivel 107). Facies Muschelkalk. Triásico medio.**

Como el resto de unidades mesozoicas, aparece en el sinforme de Etxalar, en un afloramiento de escasa entidad y muy mala calidad, en la zona de Okalarre.

A grandes rasgos, se trata de una sucesión de dolomías y calizas tableadas y en bancos, de tonos oscuros, cuyo espesor máximo se aproxima a 20 m según las observaciones realizadas. En el Puerto de Velate (EWERT, 1965), donde se ha señalado la existencia de tres tramos: inferior, constituido por 35 m de dolomías y calizas en bancos gruesos; medio, con 9,5 m de calizas laminadas; y superior, integrado por 10 m de calizas y margas dolomíticas. En esta Hoja se han identificado las calizas dolomíticas en bancos gruesos de aspecto uniforme, dolomías tableadas de aspecto pulverulento, calizas en bancos gruesos de aspecto masivo, así como calizas tableadas con Lamelibránquios, aunque con espesores más reducidos que lateralmente pasan a areniscas. Al microscopio aparecen como micritas, micritas biogénicas, dolomías y calizas recristalizadas.

La naturaleza de los afloramientos no permite precisiones sedimentológicas de la unidad, que parece haberse depositado en ambientes de plataforma somera carbonatada de baja energía.

En lámina delgada, los niveles calizos aparecen fundamentalmente como micritas (> 90%), con presencia ocasional de fósiles (< 7%) y cuarzo (1%). En cuanto a los niveles dolomíticos, se trata de dolomicritas (80-85%) con cemento esparítico (15-20%).

El contenido fosilífero no permite precisar la edad de la unidad que, tentativamente, se ha asignado al Triásico medio. No obstante en facies similares a esta, se han citado la presencia de *Frondicularia weadwardi*, que confirma la pertenencia de esta unidad a las facies Muschelkalk.

#### **2.2.1.4. Análisis secuencial del triásico**

El inicio del Ciclo Inferior se caracteriza por el desarrollo de orlas proximales y medias de abanicos aluviales correspondientes a la facies "Buntsandstein" (nivel 101), que reflejan la reactivación del relieve tras la reestructuración tardihercínica. La evolución secuencial está caracterizada por una disminución del tamaño de grano, relacionada con una degradación del relieve o con una mayor extensión del área de relleno en las fosas generadas durante el período tardihercínico. Con ello, se produce la aparición sucesiva de sistemas fluviales de alta sinuosidad, sistemas fluviales de sinuosidad media y sistemas meandriformes, con episodios de desbordamiento.

## **2.3. CUATERNARIO**

Los depósitos cuaternarios de la hoja de Etxalar ofrecen escasa variedad, limitándose a una serie de depósitos de origen fluvial y de gravedad y poligénicos. Destacan por su representación superficial los coluviones y los deslizamientos. Fondos de valle, terrazas y glacis completan el espectro de los depósitos recientes.

### **2.3.1. Pleistoceno**

#### **2.3.1.1. Gravas, cantos arenas y arcillas (nivel 524). Terrazas**

Esta litología corresponde a un pequeño afloramiento de terraza del valle del Bidasoa, situado en el extremo suroeste de la hoja. Su litología es similar a la del fondo de valle del mismo río. En sus depósitos predominan los cantos de composición cuarcítica, grauváquica, pizarrosa y areniscosa con algunos fragmentos de calizas. La matriz, arenoso-arcillosa, posee cierto contenido en carbonatos. El tamaño de los cantos está comprendido entre 5 y 8 cm, en tanto que el máximo observado es de 30 cm, si bien la abundancia de bloques en algunas zonas sugiere que pueden existir tamaños superiores. A techo, desarrolla un suelo pardo de vega, poco evolucionado. Su edad podría asignarse al Pleistoceno superior, pudiendo llegar hasta el Holoceno.

#### **2.3.1.2. Arcillas, gravas, cantos y arenas (nivel 519). Glacis**

Los glacis son depósitos originados en las vertientes y debidos a procesos de gravedad y de arroyada. El único ejemplo existente en la hoja se localiza en la esquina noroeste y se caracteriza por una morfología superficial plana, de escasa pendiente, con bordes lobulados o redondeados y dirigido al río Orabidea, cuyo encajamiento y el de sus pequeños afluentes produce escarpes en el borde del depósito, muy suavizados en la actualidad. Por sus características se trata de un glacis de cobertera, con un depósito poco potente constituido por arcillas y arenas con cantos y gravas de pizarras, grauvacas y areniscas. Por su posición algo descolgada de la red de drenaje actual se le asigna una edad Pleistoceno.

## **2.3.2. Holoceno**

### **2.3.2.1. Acumulación de bloques, arcillas y arenas (nivel 545). Deslizamientos.**

Son formas asociadas a altas pendientes y a la presencia de litologías blandas o alternantes. En este caso, todos los deslizamientos se desarrollan en el macizo de Cinco Villas en el que hay una abundancia considerable de pizarras, material idóneo para la formación de deslizamientos, no sólo por su naturaleza, sino también por su pizarrosidad, su plegamiento y su fracturación que, en numerosas ocasiones, colaboran con sus planos estructurales al movimiento del material deslizado. En este sentido es interesante el estudio realizado por MARTINEZ TORRES Y RAMON-LLUCH (1984) sobre las "Relaciones entre estructura y deslizamientos de laderas en el Macizo de Cinco Villas (Pirineo Occidental)". En este trabajo considera que dada la monotonía litológica de las pizarras y reconocida las diferentes fases de deformación, la realización de una red de medidas estructurales de detalle y su intersección con la orientación de las laderas, permite la delimitación de áreas favorables o desfavorables para la formación des deslizamientos.

En el caso concreto de la hoja de Etxalar, donde los deslizamientos son muy abundantes, no se observa una preferencia clara por dirección alguna, lo que puede ser debido a que en cada caso son numerosas las variables que intervienen. Lo que sí es cierto que los deslizamientos de mayor desarrollo se localizan en el sector noreste y en el límite sureste, siendo más parca, en este tipo de procesos, la mitad oeste de la hoja. En casi todos los casos son observables tanto la cicatriz de despegue como la masa deslizada pero, en otros, esta masa ha desaparecido, por erosión, incorporándose al torrente fluvial. La mayoría de los deslizamientos aquí existentes son de carácter traslacional, aunque, los de mayor tamaño parecen tener una componente rotacional.

El resultado del proceso de deslizamiento es una acumulación caótica de bloques y cantos empastados en una masa arcilloso-arenosa, pero, en algunos casos, se puede adivinar que lo que se desliza es una gran masa de material que una vez transportado, mantiene sus características iniciales, pero desplazada de su lugar original. Su potencia es variable y está relacionada con sus dimensiones superficiales y con la profundidad del plano de deslizamiento, pudiendo llegar a tener más de 20

m. Los deslizamientos de mayor tamaño parecen ser bastante antiguos, estando ya estabilizados en la actualidad. Se les atribuye una edad holocena.

#### **2.3.2.2. Bloques y cantos (nivel 547). Avalanchas de bloques.**

Estos depósitos son poco frecuentes en la hoja de Etxalar, apareciendo, al este del paraje Artola, límite sureste, por debajo de los grandes escarpes y alternando con los grandes coluviones. Se suelen producir en las cabeceras de algunos de los cauces, siguiendo la línea de drenaje. Por su aspecto superficial parece que se construyeran a bocanadas, después de fuertes lluvias, de forma similar a como lo hacen los ríos de piedra. Son depósitos muy lavados, con abundancia de grandes bloques, aunque también están constituidos por fragmentos menores. Parecen de formación muy reciente.

#### **2.3.2.3. Arcillas y areniscas con bloques y cantos (nivel 543). Coluviones.**

Aparecen a pie de laderas, aunque también pueden hacerlo en zonas más elevadas de las mismas. Se generan por la acción conjunta del agua y la gravedad, siendo relativamente frecuentes en toda la superficie de la hoja. Los coluviones poseen naturaleza arcilloso-arenosa, pero incluyen numerosos cantos de carácter anguloso cuya litología es función directa del área madre, predominando los de pizarras y grauvacas con algunos fragmentos de cuarzo. Su potencia es muy variable, desde unos pocos centímetros hasta varios metros. El tamaño de los cantos ofrece también una gran variedad, con fragmentos que oscilan entre pocos centímetros y 2 metros. En este grupo se han considerado, además, los canchales puesto que no siempre es fácil diferenciarlos de los coluviones. En muchas ocasiones, estos depósitos que parecen una simple acumulación de cantos y bloques sin matriz, son, en realidad, grandes coluviones que han sufrido un proceso de lavado superficial que se ha llevado los elementos más finos. Lo cierto es que cuando se logra observar un corte de estos depósitos, se ve que tienen las características propias de los coluviones. Los mejores ejemplo se pueden observar al sureste de la hoja, al pie de los grandes escarpes de Cruz de Legate, donde los coluviones formados a sus expensas alcanzan notables dimensiones. De más fácil observación son los coluviones que se originan en las laderas del valle del Bidasoa, puesto que pueden verse por la carretera N-121 A. La edad de estos depósitos es holocena

---

#### **2.3.2.4. Cantos, gravas, arenas y arcillas (nivel 527). Fondos de valle.**

Estos depósitos poseen formas alargadas y estrechas, con algunas zonas de ensanchamiento que propician la instalación de núcleos poblacionales como sucede en el río Tximista con la localidad de Etxalar. Los aluviales más desarrollados son los del río Bidasoa y su afluente principal, en esta hoja, el río Tximista. En la esquina noreste, destaca, también el fondo de valle del río Orabidea. En cuanto a sus depósitos, predominan los cantos de composición cuarcítica, pizarrosa y areniscosa con algunos fragmentos de calizas. La matriz posee cierto contenido en carbonatos. El tamaño de los cantos está comprendido entre 5 y 8 cm, en tanto que el máximo observado es de 30 cm, si bien la abundancia de bloques en algunas zonas sugiere que pueden existir tamaños superiores, dada la alta capacidad erosiva de estos cursos, tanto por las notables diferencias altimétricas como por la elevada pluviometría. Además, la presencia de una estación fría favorece la alteración mecánica y la puesta en movimiento de los fragmentos rocosos. Aunque su espesor total no es visible en la mayoría de los casos, no parece superar 5 m. Por representar la última etapa de sedimentación fluvial se atribuye al Holoceno.

#### **2.3.2.5. Gravas, cantos, arenas y arcillas (nivel 536). Conos de deyección.**

Estos depósitos se encuentran escasamente representados en el ámbito de la hoja. Los pocos ejemplos existentes se localizan en los valles de los ríos Bidasoa y Tximista, donde se originan al desembocar en estas zonas más amplias, procedentes de barrancos menores. Los de mayor tamaño se pueden observar en las proximidades de la localidad de Etxalar. Algunos se instalan encima del aluvial al que acceden y otros pueden interdentar sus depósitos con dicho aluvial, pero la ausencia de cortes no permite detallar estos matices. Por las observaciones realizadas en superficie, los conos muestran una textura granular y heterométrica, así como un grado de consolidación bajo. Al igual que en el caso de otros depósitos cuaternarios, su litología es función directa del área madre, observándose cantos de pizarras, cuarcitas, grauvacas, etc., empastados en una matriz arcilloso-arenosa. La potencia varía atendiendo a sus dimensiones superficiales y también lo hace en sentido longitudinal, dentro de un mismo cono, con valores medios de 3-5 m en las zonas apicales y de



algunos centímetros en las más distales. Por su relación con la red fluvial actual se atribuyen al Holoceno.

### 3. TECTÓNICA

#### 3.1. CONSIDERACIONES GENERALES

Esta Hoja se sitúa entre la Cuenca Vasca o Cuenca Vasco-Cantábrica, la zona Norpirenaica y el Dominio Surpirenaico siendo el primer dominio el más representativo de esta Hoja. Esta cadena alpina se extiende desde el Golfo de Vizcaya hasta el Mediterráneo. Transversalmente presenta una aparente simetría a partir de un eje constituido por los materiales paleozoicos. Esta alineación montañosa es la resultante de la compresión producida entre las placas Europea e Ibérica y ha sido clasificada y subdividida en numerosas ocasiones, siendo una de las más utilizadas la realizada por MATTAUER y SEURET (1.971), basada en criterios estructurales y estratigráficos. Según estos autores, en los Pirineos se distinguen dos coberturas meso-cenozoicas despegadas al N, Zona Norpirenaica, y al S, Zona Surpirenaica, localizados respectivamente al septentrión y meridiano de la Zona Axial. A grandes rasgos, la Zona Norpirenaica cabalga su antepaís, representado en la Cuenca de Aquitania. Asimismo, la Zona Surpirenaica cabalga sobre su antepaís, representado en la Cuenca del Ebro. Esta hoja se sitúa en el extremo más occidental de la Zona Axial pirenaica.

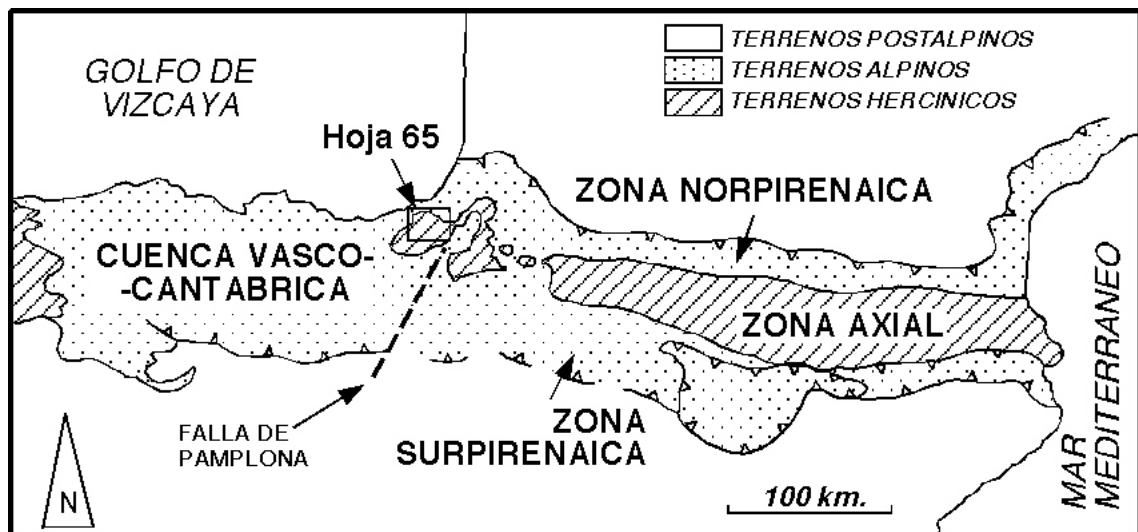


Fig 2.1: Situación de la zona de estudio en la geología regional.

El diferente comportamiento de los materiales frente a la deformación permite distinguir los siguientes dominios estructurales: “zócalo”, constituido por los materiales

hercínicos; “tegumento”, formado por los depósitos de las facies “Buntsandstein” y “Muschelkalk”; “nivel de despegue” integrado por las facies “Keuper”; y “cobertera” constituida por la serie sedimentaria jurásico-paleógena. En general el zócalo y la cobertera se han deformado independientemente gracias al nivel de despegue de las evaporitas triásicas, con una deformación mucho más acusada de la cobertera, si bien en la Zona Axial el zócalo también ha sido estructurado e incorporado a las estructuras alpinas, aunque la superposición de fases tectónicas dificulta la diferenciación de la deformación hercínica de la alpina, máxime cuando ambos ciclos, el hercínico y el alpino, se manifiestan polifásicamente.

De todos estos términos, en la zona que ocupa la Hoja de Etxalar, solamente se encuentran los materiales paleozoicos que forman el zócalo y depósitos posthercínicos desde el Pérmico hasta el Muschelkalk que forman el tegumento.

El paleozoico del Macizo de Cinco Villas no tiene el carácter de “zócalo”, entendido como un zócalo cristalino que reacciona pasivamente ante unos esfuerzos tardíos. Por el contrario, la potente sucesión de sedimentos pelíticos, muy poco metamorfizados, no se han comportado de forma rígida ante las deformaciones alpidicas, por lo que, a las estructuras originadas durante la orogenia hercínica, se han superpuesto las producidas en la orogenia alpina.

Los materiales posthercínicos son los que mejor muestran las consecuencias de la orogenia alpina. Están representados en el Sinforme de Etxalar, sinclinal fallado, en el que aparecen los términos más bajos de la sedimentación mesozoica: Buntsandstein y Muschelkalk, así como una intrusión de rocas ofíticas.

La influencia que estas dos orogenias, con sus correspondientes fases de deformación, hace difícil su estudio conjunto, por lo que, para su estudio tectónico, es conveniente separarlo en dos partes:

- Estructuras del basamento paleozoico
  
- Estructuras de la cobertera mesozoica

### 3.2. ESTRUCTURAS DEL BASAMENTO PALEOZOICO (OROGENIA HERCINICA)

Los materiales paleozoicos en el cuadrante de Etxalar forman parte del denominado “Macizo de Cinco Villas”, el afloramiento más occidental de la “Zona Axial” de los Pirineos, mayoritariamente constituido por una serie alternante de materiales pelíticos y detríticos de carácter flyschoides, de edad carbonífera.

Las características estructurales del Paleozoico son complejas, debido, tanto a la superposición de las Orogenias Hercínica y Alpina, como a la proximidad del stock granítico de Peñas de Aya, con la deformación adicional que supuso su intrusión. A esta complejidad tectónica se añaden otros dos factores que dificultan la comprensión de la estructura: por un lado la monotonía litológica de los materiales carboníferos paleozoicos en la que no se aprecian niveles guía, a excepción del contacto con las denominadas “Calizas de Aranaz” y algunos niveles conglomeráticos y calizos intercalados en la serie pero de poca continuidad espacial, y por otro, los afloramientos son escasos y pésimos, condiciones que no permiten observar y estudiar la estructura, que puede llegar a ser muy compleja en detalle.

Son varios los autores que han estudiado la tectónica del macizo de Cinco Villas. Los estudios de esta zona comenzaron en los años treinta con la fuerte controversia ejercida entre LAMARE (1931, 1932, 1944 y 1954) y LOTZE (1931, 1932 y 1946) discutiendo el origen de las vergencias contrarias, al norte y al sur y las estructuras derivadas de ellas. HEUSCHMIDT (1977) estudia el macizo paleozoico de Cinco Villas en el que asocia las fases 5, 6 y 7 reconocidas en los terrenos hercínicos al ciclo alpino.

HEDDEBAUT (1973) y MULLER, ROGER (1977), indican que el análisis estratigráfico y estructural de estos macizos muestra un cabalgamiento tardihercínico que pone en contacto dos unidades paleogeográficas bien diferenciadas: un dominio oriental, que correspondería a los macizos de Aldudes y Artzamendi sobre un dominio occidental formado en esta zona por el macizo de Cinco Villas.

CAMPOS (1979) y CAMPOS et al (1980), reconocen una fase principal de vergencia norte en la cobertera del borde occidental de Cinco Villas. Posteriormente LLANOS (1983), distingue dentro del ciclo alpino dos etapas, la primera intracretácica y otra posterior de vergencia norte tardicretácica. ZUAZO (1986) distingue una fase principal

con desarrollo de pliegues de vergencia norte de edad terciaria y reconoce la existencia de una tectónica polifásica posterior. EGUILUZ et al (1988) establece las características y relaciones mutuas de las dos esquistosidades descritas por ZUAZO (1986).

MARTÍNEZ TORRES et al. (1984), establece tres fases de plegamiento, una prealbiense, otra terciaria de vergencia norte, y por último, otra terciaria de vergencia sur. La intersección de estas tres fases de plegamiento da lugar a la aparición de distintas figuras de interferencia. Siguiendo a este autor, las fases de plegamiento pueden diferenciarse en las siguientes:

- Fase H1: da lugar a pliegues isoclinales tumbados, de escala decimétrica y dirección dispersa, con tendencia norteada y vergencia poco clara, posiblemente Oeste. Lleva asociada una pizarrosidad (“slate cleavage”) muy penetrativa a escala del macizo, subparalela a la estratificación, lo que ocasiona que las superficies de estratificación ( $S_0$ ), sean en realidad la superposición de las superficies  $S_0$  y  $S_1$ .
- Fase H2: desarrollo de pliegues angulares decimétricos, de dirección NE-SW, con esquistosidad de crenulación vertical muy desarrollada. Tanto los pliegues como las esquistosidades son los rasgos más característicos del macizo de Cinco Villas.
- Fase H3: desarrollo muy localizado de pliegues angulares decimétricos NW-SE, ortogonales a los pliegues de la fase anterior, con esquistosidad vertical asociada muy poco desarrollada.
- Presencia local de Kink-bands tardíos

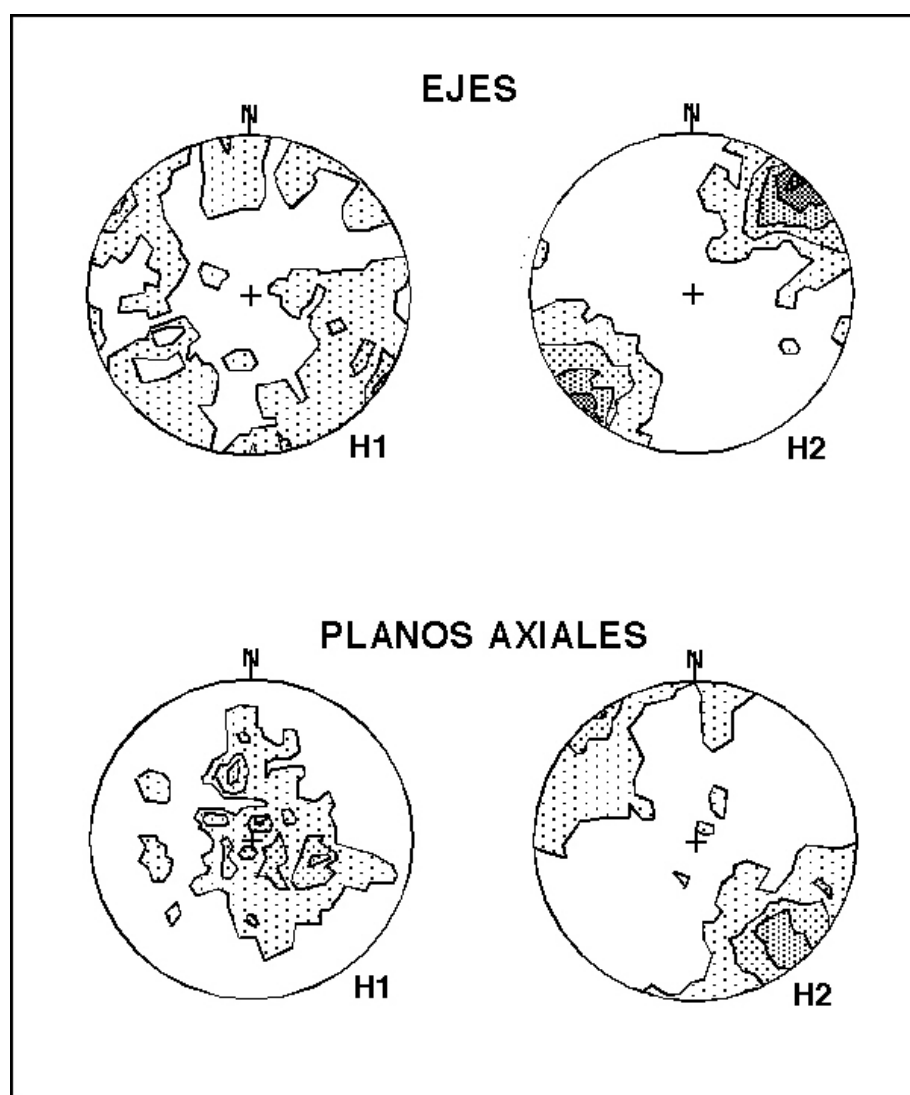


Fig. 2: Proyección equiangular en el hemisferio inferior de ejes y polos de planos axiales de la primera H1 y segunda H2 fases hercínicas del Macizo de Cinco Villas. (MARTINEZ-TORRES, 1984)

Por último RAZIN (1989), estudia la evolución tectosedimentaria alpina en el Pirineo, al oeste de la transformante de Pamplona, en el que desarrolla una síntesis de los datos estratigráficos, sedimentológicos y estructurales para obtener la evolución tectónica y sedimentaria de toda esta zona del extremo occidental de los Pirineos.

Como todas las zonas que han sufrido una historia tectónica compleja, con más de una fase de plegamiento, la cartografía de las estructuras de la Hoja de Vera de Bidasoa es complicada y difícil. Si a esto se agrega la ausencia de niveles guía y la escasez de afloramientos, el conjunto resulta muy poco comprensible a la hora de establecer la estructura de la zona y su historia tectónica.

Sin embargo, a partir de la cartografía realizada, las medidas estructurales obtenidas, así como los datos procedentes de estudios anteriores y las hojas contiguas se pueden establecer una serie de conclusiones sobre la estructura del macizo paleozoico de Cinco Villas en esta Hoja.

El macizo paleozoico en el cuadrante de Etxalar ocupa la práctica totalidad de la Hoja, a excepción del sinforme de Etxalar y la esquina suroriental de la Hoja, en Legate, donde afloran depósitos pertenecientes al Buntsandstein.

Las características estructurales del Paleozoico son complejas, debido, tanto a la superposición de las Orogenias Hercínica y Alpina, como a la proximidad del stock granítico de Peñas de Aya, con la deformación adicional que supuso su intrusión. A esta complejidad tectónica se añaden otros dos factores que dificultan la comprensión de la estructura: por un lado, la monotonía litológica de los materiales carboníferos paleozoicos en la que no se aprecian niveles guía, a excepción de algunos niveles conglomeráticos y calizos intercalados en la serie pero de poca continuidad espacial, y por otro, los afloramientos son escasos y pésimos, condiciones que no permiten observar y estudiar la estructura, que puede llegar a ser muy compleja en detalle.

El macizo paleozoico de Cinco Villas puede separarse en dos unidades diferentes: una autóctona, formada por esquistos, pizarras y grauwacas que aflora ocupando la práctica totalidad de los materiales paleozoicos de esta hoja, que se correspondería con el dominio occidental de HEDDEBAUT y una unidad alóctona cabalgante constituida por los materiales devónicos, y que aparece al sureste de la hoja perteneciente al dominio oriental. En la primera no se aprecian grandes estructuras, debido tanto al carácter plástico de los materiales como a la escasez de afloramientos en los que pueda determinarse la estructura a escala regional. Por el contrario si son frecuentes los afloramientos donde pueden observarse meso y microestructuras. La segunda unidad, está escasamente representada en la esquina suroriental de la Hoja, y, como en el caso de la unidad occidental, la determinación de su estructura general es prácticamente imposible, debido a la insuficiencia de afloramientos y la mala calidad de los mismos.

A pesar de estas dificultades, las manifestaciones de la deformación sufrida durante la orogenia hercínica, en el territorio ocupado por la Hoja son de gran importancia, e

imprimen el carácter geológico dominante en esta zona, dando lugar a una serie de estructuras, que se pueden diferenciar en las que siguen:

### **3.2.1. Descripción de las principales estructuras**

Entre los materiales hercínicos que afloran en esta Hoja de Etxalar, existen varias discordancias que determinan el límite de las secuencias deposicionales y que pueden estar asociadas a impulsos tectónicos que afectan de forma global a toda la cuenca.

Los materiales más antiguos que aparecen en la Hoja son los esquistos y pizarras devónicas. Estos materiales aparecen cabalgantes sobre la sucesión carbonífera de Cinco Villas, por medio de un cabalgamiento mayor hercínico, que superpone el dominio oriental devónico sobre el dominio occidental del carbonífero de Cinco Villas. Para algunos autores (HEDDEBAUT, 1973 y MULLER y ROGER, 1977) este cabalgamiento es tardihercínico, mientras que para otros (RICHARD, 1986), se empezaría a producir en los primeros estadios de la deformación hercínica.

El hecho más representativo del cabalgamiento en esta zona se sitúa entre Etxalar y Zugarramurdi, en la hoja situada al Norte. En esta zona el desplazamiento de los materiales devónicos ha individualizado una amplia zona de dirección SO-NE, limitada por los frentes de cabalgamiento, en una estructura que aunque no llega a tratarse de un klippe tectónico, al no acabar de individualizarse, si esta rodeado en gran medida por el autóctono carbonífero. En este surco alóctono devónico es donde se localiza el sinforme de Etxalar.

Al sur de esta zona, el contacto entre los materiales devónicos y la serie pelítica carbonífera es totalmente tectónico, mediante falla normales, que probablemente levantaron el bloque carbonífero con respecto al devónico. Este contacto tectónico sigue una dirección aproximada N-S desde Ursu Aldea hasta el señorío de Bertiz, donde la tectónica se complica debido a la presencia de numerosas fracturas y la aparición de nuevas unidades. Se trata de unas estructuras de muy difícil observación en campo, tanto por la similitud litológica de las unidades que pone en contacto, pizarras y esquistos fundamentalmente, como por las dificultades de observación de buenos afloramientos, la antropización de toda la zona y el fuerte desarrollo coluvionar que aparece en las laderas.



En la zona de Bértiz, donde aparecen las unidades de las formaciones Oronoz y Kalforro, los contactos suelen ser tectónicos, en una zona donde la fractura N-S señalada con anterioridad aparece con mayor complejidad tectónica en una serie de bloques hundidos y levantados que provocan la aparición de estas unidades, las más antiguas de las presentes en esta Hoja

Además de esta discontinuidad importante, el resto de procesos de deformación intrapaleozoicos quedan reducidos a la discordancia entre el Westfaliense y el Estephaniense, sin ninguna evidencia de fases orogénicas anteriores marcadas por discordancias, en esta Hoja, al no aparecer materiales anteriores a estas edades.

En zonas próximas a esta, por encima de los materiales pelíticos carboníferos, se sitúan las facies típicas del Pérmico, comenzando por unos conglomerados dispuestos discordantemente sobre el Carbonífero, marcando una pulsación tectónica importante, sin embargo en esta zona central del macizo de Cinco Villas, esta sedimentación pérmica esta ausente.

El límite Paleozoico-Mesozoico, constituye una discordancia importante y muy visible en toda la región En esta hoja, estos conglomerados se apoyan discordantemente sobre los esquistos y pizarras devónicos, tanto en el sinforme de Etxalar como en Legate.

Las estructuras de plegamiento en Cinco Villas son de muy difícil apreciación, incluso las que son de dimensiones métricas o decimétricas así como otras estructuras que pudieran dar idea de la deformación sufrida durante las etapas hercínicas, en algunos casos por la falta de afloramientos y en otro por la complejidad observable. A escala del macizo se han podido determinar dos estructuras de plegamiento importantes. La primera de ellas consiste en un gran antiforme de dirección E-O que se localiza paralelamente al borde sur de la Hoja, entre la zona de Ezpeleta en el río Bidasoa y su culminación en la zona de Bertiz. En esta misma zona sur de la Hoja aparece un nuevo antiforme superpuesto al anterior. Su eje presenta dirección N20°O, desarrollándose desde el área de Mearburu hasta el SO de Etxalar, apareciendo frecuentemente dislocado por fallas. Estos antiformes se ha podido detectar en base a la observación de la estructura general de la región, ya que a escala métrica, la frecuente aparición de meso y micropliegues puede llevar a confusión sobre la estructura global. Estos meso y micropliegues se han podido observar en todo el

macizo y especialmente en la zona de río Tximista y en la zona sur de la Hoja, especialmente de la fase H2 (con direcciones aproximadas N40°E).

En esta zona del valle del río Tximista, los taludes socavados por el cauce permiten la observación de numerosas microestructuras que reflejan la intensa tectonización de la región. Así, en algunos puntos es posible observar fenómenos de “boudinage” en filones de cuarzo fuertemente replegados.

Es esta una de las pocas zonas donde se pueden observar la presencia de algunos pliegues que podrían considerarse Kink-bands, sin que tengan una continuidad espacial que pudiera identificarlos como tales.

A partir de la observación de estas estructuras se pueden obtener una serie de conclusiones sobre la tectónica de Cinco Villas en esta Hoja:

- La fase de deformación que esta mejor representada en esta zona, como en el resto del macizo de Cinco Villas, es la fase H2, habiéndose apreciado algunos pliegues angulares decimétricos. La fase H1 también esta representada pero con menor profusión de pliegues, en mayor medida cuanto más hacia el Sur, mientras que de la fase H3 y la fase terminal de desarrollo de kink-bands, no se han observado estructuras que puedan considerarse pertenecientes a estas fases de deformación, solamente algunos pliegues que podrían considerarse kink-bands, pero de difícil clasificación en esta fase.

Las fracturas hercínicas que aparecen en los materiales paleozoicos en esta Hoja de Vera de Bidasoa están mejor representadas en el macizo de Larún que en Cinco Villas, y aunque muestran una dispersión aunque pueden asociarse a distintas familias:

- Fracturas N-S (N 5° W): Aparecen especialmente en el macizo de Larún, siendo fallas importantes, aunque no están especialmente representadas en esta zona.
- Fracturas N 20° E. Esta es una dirección de fracturación que está presente en todo el macizo de Cinco Villas.

- Fracturas N 20° W: Oblicuas a las anteriores, también aparecen en toda la extensión del macizo de Cinco Villas.

Toda la zona esta muy tectonizada, con profusión de fracturas de las direcciones predominantes NE-SO y NO-SE, individualizando el macizo en bloques. SE aprecian menos fracturas de dirección N-S, sin embargo, a lo largo del macizo aparecen una serie de intrusiones de diabasa, las cuales muestran una cierta orientación N-S, lo que podría interpretarse como alineaciones de fracturas que siguen esta dirección.

### **3.3. ESTRUCTURAS DE LA COBERTERA MESOZOICA (OROGENIA ALPINA)**

En la Hoja de Etxalar, los materiales mesozoicos aflorantes se concentran en dos zonas bien delimitadas, por un lado el Sinforme de Etxalar, que desde esta localidad sigue una dirección NE hasta su culminación tectónica en la zona de Ezkurbi y los materiales triásicos que forman las elevaciones de Legate y Umoto en la esquina suroriental de la Hoja.

La principal estructura alpina de esta Hoja es el Sinforme de Etxalar: Se trata de un sinforme fallado formado por materiales mesozoicos que se apoyan en una clara discordancia sobre los depósitos devónicos, que a su vez, cabalgan los materiales carboníferos. Su dirección es ENE-OSO.

El muro de los materiales que forman esta estructura lo conforman los conglomerados del Buntsandstein, sobre los que se disponen los distintos niveles de areniscas de la misma facies, que son las unidades que forman el núcleo esencial del sinforme, llegando hasta la facies Muschelkalk, que únicamente aparece en dos pequeños retazos.

El sinforme esta fallado en sentido longitudinal, y a su vez está dislocado por fallas de direcciones N-S, N20°E y N20°O, fallas de direcciones hercínicas, que sin duda, volvieron a actuar durante la orogenia alpina, dislocando el sinforme en una serie de bloques que han ocasionado que existan diferencias entre los materiales a un lado y otro de la fractura. Así en el flanco Norte, aparecen los depósitos de arcillas limolíticas que marcan el techo de la facies Buntsandstein y los depósitos calcáreos de la facies Muschelkalk. En este flanco Norte individualizado por la falla del sinforme, aparece un bloque donde es posible observar el eje del sinclinal.

Por el contrario, en el flanco sur, únicamente aparecen los depósitos conglomeráticos y areniscosos de facies Buntsandstein, a excepción de una intrusión de rocas ofíticas. Este afloramiento está, a su vez, dislocado por fracturas de dirección hercínica que rejugaron después de la intrusión

Aunque a partir únicamente de esta estructura alpina, es imposible determinar la naturaleza de las distintas fases tectónicas alpinas, se pueden obtener una serie de conclusiones, apoyadas en cartografías de zonas contiguas y en la bibliografía existente, que se pueden resumir de la siguiente forma:

- **Fracturación tardihercínica:** Durante este periodo de edad estefano-pérmico, se originan las principales fracturas que rejugarán a lo largo de todo el ciclo alpino.
- **Fase prealbiense:** En esta fase se produjeron la reactivación de las fracturas tardihercínicas, con movimientos verticales que ocasionaron que el macizo de Cinco Villas se comportará como una zona emergida produciéndose el desmantelamiento de materiales triásicos y jurásicos.
- **Fase distensiva cretácica.** Es un proceso de rifting, en el que se formaron una serie de altos (horst) y depresiones (graben)
- **Fase principal de plegamiento alpino:** Durante este período (fase pirenaica), se produjeron deformaciones del zócalo, con formación de pliegues y desarrollo de fracturas de gran envergadura.

### **3.4. CRONOLOGÍA DE LA DEFORMACIÓN.**

La evolución tectónica de la región puede referirse a dos grandes ciclos, muy desigualmente representados en la Hoja: el ciclo hercínico, puesto de manifiesto por los materiales paleozoicos, que ocupan gran parte de toda esta zona y el ciclo alpino, caracterizado por los materiales mesozoicos, representados en el Sinclinal de Vera-Zugarramurdi, el Sinforme de Etxalar y en los afloramientos que aparecen a lo largo de la falla de Aritxulegui. Además aparecen las deformaciones sufridas por la intrusión del stock granítico de Peñas de Aya.

El primer ciclo, el ciclo hercínico, se caracteriza por la existencia de tres fases de deformación, en las que destaca la primera fase, que origina pliegues isoclinales tumbados de dirección norcada, con desarrollo de pizarrosidad acusada, subparalela a la estratificación, posteriormente se produce una nueva fase que produce pliegues angulares decimétricos de dirección NE-SW, con esquistosidad de crenulación vertical muy desarrollada y dominante en todo el macizo. La tercera fase origina pliegues angulares en zonas muy localizadas. Finalmente, en las etapas tardías de la deformación hercínica, se desarrollan kink-bands muy locales.

De estas fases, únicamente las dos primeras están presentes en todo el macizo, mientras que la tercera fase de pliegues angulares y kink-bands lo hacen en zonas muy localizadas y concretas.

Durante el período Estefaniense-Pérmico tuvo lugar una fase de fracturación a escala continental, conocida como etapa tardihercínica y caracterizada por la génesis de desgarres de direcciones NE-SO y NO-SE. Entre los accidentes tardihercínicos más destacados en la historia posterior de la región, se encuentran la Falla de Pamplona, situada al Este de esta zona, entre los macizos de Cinco Villas y Aldudes, que representa el límite de la Zona Surpirenaica y la Cuenca Vasco-Cantábrica; y la Falla de Leiza, localizada al S del Macizo de Cinco Villas, que es la continuación occidental de la Falla Norpirenaica, y representa el límite entre las placas Ibérica y Europea, desempeñando un papel fundamental en la apertura del Golfo de Vizcaya, y como línea transformante durante la traslación y giro de Iberia.

Los accidentes tardihercínicos son de gran importancia en la historia tectónica de esta región, ya que constituyen un elemento fundamental durante el posterior ciclo alpino: Su reactivación durante la distensión mesozoica controló la geometría de las cuencas de sedimentación y durante la compresión terciaria actuaron como zonas de debilidad, a favor de las cuales se produciría el desplazamiento de cabalgamientos y desgarres.

En esta Hoja, la evolución tectónica durante el ciclo alpino, apenas puede reconstruirse, ya que los únicos rasgos que pertenecen a este ciclo aparecen reflejados en los escasos depósitos pertenecientes al Mesozoico y a los que aparecen superpuestos a las estructuras paleozoicas en el macizo de Cinco Villas. Sin embargo,

de la evolución general de la región se pueden extraer una serie de eventos producidos durante el ciclo alpino.

Durante la fase prealbiense, en relación con el giro sinextroso de Iberia respecto a la estable Europa, se produjeron las primeras diferenciaciones posthercínicas. En esta época se reactivaron las fracturas tardihercínicas, acompañadas de movimientos verticales, que ocasionaron el levantamiento de los macizos hercínicos, como el Cinco Villas, y el subsiguiente arrastre de gran parte de la cobertera permo-triásica.

Las siguientes fase de actividad tectónica tuvo lugar durante el rifting cretácico superior, en las que la compartimentación en bloques levantados y hundidos se acentuó aun más; así se produjo el levantamiento de los macizos de Cinco Villas y Larún, con la formación entre ellos de la cuenca de Vera.

Por último en las fases terciarias de plegamiento alpino, fase pirenaica, se produjeron deformaciones del zócalo con formación de pliegues y desarrollo de fracturas de gran envergadura. Es en este período cuando la falla de Aritxulegui alcanza su mayor desarrollo. El carácter dextroso de esta falla se explica como un accidente tardihercínico que rejuega ante unos esfuerzos submeridianos.

## 4. GEOMORFOLOGÍA

### 4.1. DESCRIPCIÓN FISIAGRÁFICA

El territorio representado por la hoja, a escala 1:25.000, de Etxalar (65-IV) se encuentra situada en el sector septentrional de la provincia de Navarra y en la frontera con Francia que ocupa una pequeña porción en el límite norte.

Desde el punto de vista geológico-estructural se pueden reconocer varios dominios: el Macizo Paleozoico de Cinco Villas, los Relieves Permo-Triásicos y el Dominio de los Valles. Los relieves más importantes pertenecen al primer dominio que, además, ocupa la mayor parte de la hoja y es donde están las mayores alturas, destacando los 820 m, donde se haya instalado el Palacio de Aizcolegi, perteneciente al Parque Natural Señorío de Bertiz. Este sector ofrece una intrincada topografía con importantes barrancos, producidos por una fuerte incisión de la red de drenaje. El Dominio de los Relieves Permo-Triásicos forma una estrecha franja al este de la localidad de Etxalar, con una dirección E-O. En él, las cumbres son algo más bajas con alturas de 581 m en Zulubi, 619 m e Bagalta y 669 m en Iriarte y también los relieves son algo más suaves. Por último, el Dominio de los valles está representado por los ríos Bidasoa y Tximista. El primero se caracteriza por un recorrido sinuoso, a veces meandriforme, con un fondo de valle plano. Sus vertientes, bastante acusadas, dejan encajado este cauce de agua, con una morfología muy apretada. El Tximista, por el contrario, es un valle de morfología más abierta y en él se instala la localidad de Etxalar que da nombre a la hoja. Es en el Dominio de los valles donde se sitúan las menores alturas.

En cuanto a las características climáticas, en el esquema adjunto se observa que la precipitación media anual está comprendida entre 1.350 y 1.500 mm, correspondiendo los valores más altos al sector septentrional y los más bajos al meridional. Las temperaturas medias oscilan entre los 9 y 11°C con máximas de 37 °C en el mes de Julio y mínimas de -8-10° C en los meses de invierno. Aunque estos datos definen un tipo climático mediterráneo con régimen de humedad Mediterráneo húmedo, lo cierto es que hay una tendencia a la continentalidad, además de una cierta influencia del clima de montaña con precipitaciones de carácter sólido.

La red de comunicaciones es muy reducida con una sola carretera principal, la N-121A que con un trazado sinuoso, transcurre por el valle del río Bidasoa hasta llegar a la localidad de Hendaya. Existe otra carretera comarcal, la NA-40000 que partiendo de la anterior, accede a la localidad de Etxalar y una última que bordea el Parque Natural de Señorío de Bertiz por su borde oriental. El resto de la red lo constituyen una serie de caminos de tierra, bastante escasos, lo que dificulta de sobremanera el acceso a la totalidad de la superficie de la Hoja.

Los núcleos de población son prácticamente inexistentes, destacando la parte industrial de la localidad Etxalar, en el valle del Tximista y una serie de caseríos aislados, distribuidos de forma dispersa por la hoja

La vegetación es muy abundante destacando las grandes ocupaciones de bosque alto que ofrecen magníficos ejemplos de hayas, tejos, serbales y una gran variedad de arbustos y plantas herbáceas. Este tipo de vegetación alta y arbustiva, se intercala con algunas praderas de amplio desarrollo. En los valles más amplios, además de la vegetación de ribera se encuentran algunos cultivos de regadío.

## **4.2. ANTECEDENTES**

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

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

Por otra parte, la realización de las hojas geológicas del Proyecto MAGNA, a escala 1:50.000, lleva incorporada, en algunas ocasiones, una cartografía geomorfológica a escala 1:100.000. Aunque la hoja de Etxalar no pertenece a este grupo, sí hay hojas próximas que poseen este tipo de cartografía y por tanto, sus descripciones sobre los



depósitos de ladera y fluviales, además de la morfología estructural, han servido de orientación.

Finalmente, la realización de la cartografía geomorfológica, a escala 1:25.000, de la mayoría del territorio navarro, para el proyecto "Revisión de la Cartografía Geológica, a escala 1:25.000", realizado por el Gobierno de Navarra, proyecto al que pertenece este estudio, y del que existen ya numerosas hojas confeccionadas, ha permitido obtener bastantes referencias sobre este sector.

### **4.3. ANÁLISIS MORFOLÓGICO**

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 de la disposición del mismo, y el segundo analiza la importancia de los procesos exógenos sobre dicho sustrato.

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

Desde el punto de vista estructural, la hoja de Etxalar, como ya se ha visto más arriba, se caracteriza por la presencia de tres dominios diferentes. El Macizo Paleozoico de Cinco Villas, los Relieves Permo-Triásicos y el Dominio de los Valles. De sus características fisiográficas ya se ha hablado con anterioridad, pero aquí lo que se va a tener en cuenta es la morfología estructural. Aunque ésta no es muy pródiga en ejemplos hay que destacar que la mayoría de los escarpes se desarrollan en los dos primeros dominios. En ellos se han cartografiado escarpes con saltos superiores e inferiores a 50 m, escarpes en sedimentos horizontales y subhorizontales y en series monoclinales, replanos estructurales y resaltes de capas duras. Son dignos de destacar los grandes escarpes del sector sureste de la hoja, los de los parajes de Cruz de Legate, Inarzeta y Erkiza. A favor de todos ellos tienen lugar procesos de desprendimientos de bloques, de gran espectacularidad. Los replanos estructurales, muy próximos se reconocen en los parajes de Amezti, Sobre y Borda Zatonea.

La morfología de la red de drenaje es otro aspecto 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 según determinadas directrices, así como los cambios bruscos en los perfiles longitudinales (véase el trazado del río

Bidasoa) indican que las aguas circulan preferentemente por las zonas de mayor debilidad tectónica y litológica o por líneas de máxima pendiente.

En primer lugar se observa que una de las direcciones más frecuentes es la NO-SE se adapta, en la mayoría de los casos, a la fracturación más común en la hoja. Las otras dos familias, E-O y NE-SO también suponen direcciones tectónicas, tanto de plegamiento como de fracturación, pero son mucho menos frecuentes.

Por lo que se refiere a la morfología general de la red de drenaje, en este caso concreto, se trata de una red de tipo dendrítico, subtipo angular, con una densidad media en toda la hoja. Estas redes son características de áreas con litologías muy homogéneas, como sucede en el área de estudio

#### **4.3.2. Estudio del Modelado**

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

##### **4.3.2.1. Formas de laderas.**

En este grupo se han reconocido coluviones y canchales, deslizamientos, caídas de bloques y avalanchas de bloques.

Los coluviones aparecen, frecuentemente al pie de las laderas pero, en áreas como ésta, también pueden aparecer a diferentes alturas de las mismas, puesto que se originan a favor de los escarpes o de las aristas, depositándose inmediatamente por debajo de ellas. Se generan por la acción conjunta de agua y de la gravedad. En la Hoja de Etxalar y los de mayor espectacularidad de desarrollan al pie de los grandes escarpes del sector sureste, donde alcanzan grandes dimensiones. En este grupo se han incluido, además, los canchales puesto que no siempre es fácil diferenciarlos de los coluviones. En muchas ocasiones, estos depósitos parecen una simple acumulación de cantos y bloques sin matriz, pero en realidad se trata de grandes coluviones que han sufrido un proceso de lavado superficial que se ha llevado los

elementos más finos, pero cuando se logra observar un corte de estas acumulaciones, se ve que tienen las características propias de los coluviones. También se han incluido otros depósitos como derrubios ordenados que aunque han sido observados de forma puntual, la escasez de cortes y una cobertura vegetal tupida, no siempre permite su diferenciación.

Relacionados con un relieve accidentado y también con grandes escarpes, aparecen en el área suroriental de la hoja una serie de desprendimientos o caídas de bloques. Su génesis se debe a la alteración mecánica de los escarpes a través de las fracturas. La erosión continuada produce el aislamiento de los bloques que al estar en una posición de inestabilidad, caen a cotas inferiores de las laderas.

Los deslizamientos son formas asociadas a altas pendientes y a la presencia de litologías blandas o alternantes. En este caso, todos ellos se desarrollan en el macizo de Cinco Villas en el que hay una abundancia considerable de pizarras, material idóneo para la formación de deslizamientos, no sólo por su naturaleza, sino también por su pizarrosidad, su plegamiento y su fracturación que, en numerosas ocasiones, colaboran con sus planos estructurales al movimiento del material deslizado. En este sentido es interesante el estudio realizado por MARTINEZ TORRES Y RAMON-LLUCH (1984) sobre las "Relaciones entre estructura y deslizamientos de laderas en el Macizo de Cinco Villas (Pirineo Occidental)". En este trabajo considera que dada la monotonía litológica de las pizarras y reconocida las diferentes fases de deformación, la realización de una red de medidas estructurales de detalle y su intersección con la orientación de las laderas, permite la delimitación de áreas favorables o desfavorables para la formación de deslizamientos.

En el caso concreto de la hoja de Etxalar, donde los deslizamientos son muy abundantes, no se observa una preferencia clara por dirección alguna, lo que puede ser debido a que en cada caso son numerosas las variables que intervienen. Lo que sí es cierto que los deslizamientos de mayor desarrollo se localizan en el sector noreste y en el límite sureste, siendo más parca, en este tipo de procesos, la mitad oeste de la hoja. En casi todos los casos son observables tanto la cicatriz de despegue como la masa deslizada pero, en otros, esta masa ha desaparecido, por erosión, incorporándose al torrente fluvial. La mayoría de los deslizamientos aquí existentes son de carácter traslacional, aunque, los de mayor tamaño parecen tener una componente rotacional.

Las avalanchas de bloques son poco frecuentes en la hoja de Etxalar, apareciendo, al este del paraje Artola, límite sureste, por debajo de los grandes escarpes y alternando con los grandes coluviones. Se suelen producir en las cabeceras de algunos de los cauces, siguiendo la línea de drenaje. Por su aspecto superficial parece que se construyeran a bocanadas, después de fuertes lluvias, de forma similar a como lo hacen los ríos de piedra. Son depósitos muy lavados, con abundancia de grandes bloques, aunque también están constituidos por fragmentos menores. Parecen de formación muy reciente.

#### **4.3.2.2. Formas fluviales**

En esta hoja, el desarrollo de la morfología fluvial es bastante importante, pero con un predominio del carácter erosivo. La escasez de depósitos es patente, limitándose a fondos del valle y a algunos conos de deyección.

Los fondos de valle poseen formas alargadas y estrechas, con algunas zonas de ensanchamiento que propician la instalación de núcleos poblacionales como sucede en el río Tximista con la localidad de Etxalar. Los aluviales más desarrollados son los del río Bidasoa y su afluente principal, en esta hoja, el río Tximista. En la esquina noreste, destaca, también el fondo de valle del río Orabidea. La superficie de los depósitos es plana, en ellos se encaja el cauce actual. Por otra parte el trazado del río Bidasoa es sinuoso-meandriforme con un alto grado de encajamiento, mientras que el valle del Tximista ofrece tramos de su curso rectilíneos y con un fondo de valle algo más amplio, al menos en algunos sectores.

En general, asociados a los fondos de valle aparecen los conos de deyección, instalados a la salida de algunos arroyos y barrancos, al desembocar en cauces de rango superior. Su morfología en abanico es muy característica y suelen aparecer como formas muy aisladas, aunque sus depósitos suelen interdentarse con los de los fondos de valle. Son de pequeño tamaño y su litología es muy similar a la de los fondos de valle, puesto que el área madre es la misma. La textura, sin embargo, puede variar no sólo en relación a los fondos de valle, sino dentro de un mismo depósito, pues el tamaño de grano disminuye de la zona apical a la distal. Los mejores ejemplos se encuentran en las proximidades de la localidad de Etxalar.

Por lo que se refiere a las formas de carácter erosivo, son bastante más variadas, destacando una importante red de incisión que da lugar a valles en "v". La morfología de los mismos suele ser en barrancos de empinadas laderas, con frecuencia con pendientes superiores al 20%, como corresponde a un área de montaña próxima a una gran divisoria. En estas condiciones las aguas de escorrentía se encajan, notablemente, produciendo fuertes incisiones y entalladuras, dando lugar a una sucesión continua de barrancos e interfluvios que configuran una morfología abrupta. La existencia de una litología mayoritariamente pizarrosa con varias direcciones de deformación, favorece el desarrollo de estas formas. La incisión se produce en la mayoría de los casos por la litología más blanda o por líneas de máxima debilidad como son fallas o fracturas.

Los interfluvios se labran, generalmente, por la unión de dos laderas opuestas en el proceso del retroceso de las cabeceras. Cuando se llegan a juntar los escarpes opuestos, producen un único escarpe o interfluvio en "v" invertida o arista, muy característico de las áreas de cabecera.

Otra forma de erosión fluvial puede observarse en los meandros de los principales ríos. Se trata de la erosión lateral del cauce que actúa en las márgenes cóncavas de dichos meandros produciendo la verticalización de las mismas con la consiguiente inestabilidad que ello conlleva. Es frecuente en el valle del Bidasoa y en algunos tramos del Tximista.

#### **4.3.2.3. Formas poligénicas.**

A este grupo pertenecen todas aquellas formas que son el resultado de la actuación de varios procesos. En la hoja de Etxalar pertenecen a este grupo las divisorias suaves de origen mixto que, a diferencia de las aristas, son poco abundantes. Su formación es debida a procesos fluviales y quizás edáficos, como alteraciones, formación de suelos, etc. Lo cierto es que este tipo de divisorias suelen tener siempre un suelo, a techo, aunque casi siempre de poco desarrollo. Algunos ejemplos pueden observarse en el cuadrante noreste.

La otra forma a destacar son los glaciais. Los glaciais son depósitos originados en las vertientes y debidos a procesos de gravedad y de arroyada. El único ejemplo existente en la hoja se localiza en la esquina noroeste y se caracteriza por una morfología

superficial plana, de escasa pendiente, con bordes lobulados o redondeados y dirigido al río Orabidea, cuyo encajamiento y el de sus pequeños afluentes produce escarpes en el borde del depósito, muy suavizados en la actualidad. Por sus características se trata de un glacis de cobertera, con un depósito poco potente constituido por arcillas y arenas con cantos y gravas de pizarras, grauvacas y areniscas. Por su posición algo descolgada de la red de drenaje actual se le asigna una edad Pleistoceno.

#### **4.4. FORMACIONES SUPERFICIALES**

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

Las formaciones superficiales más representativas dentro de la hoja de Etxalar (65-IV) son las de ladera y las fluviales, aunque la variedad de depósitos es bastante reducida, limitándose a coluviones, deslizamientos, movimientos de ladera, fondos de valle y conos de deyección y una pequeña representación de depósitos poligénicos (glacis).

Entre las formaciones superficiales de ladera se describen aquí los coluviones, los deslizamientos y las avalanchas de bloques. Los primeros son de naturaleza arcillosa con numerosos clastos de carácter anguloso, dispuestos en lechos que indican los diferentes aportes que van dando origen al depósito. Sus clastos, casi siempre grauváquicos y pizarrosos son de gran angulosidad, debido al escaso transporte sufrido. La potencia es muy heterogénea, variando desde un tapiz superficial de pocos centímetros hasta acumulaciones de varios metros. Normalmente se ubican al pie de las vertientes, en bandas alargadas paralelas a los cauces, aunque suelen también formarse a otras alturas de la ladera.. Los clastos y bloques poseen gran heterometría pudiendo llegar algunos ejemplares a alcanzar tamaños métricos. La potencia de estos depósitos suele variar entre varios centímetros hasta 3 m, no descartándose la posibilidad de mayores potencias.

Los deslizamientos se desarrollan, mayoritariamente, en el macizo de Cinco Villas en el que hay una abundancia considerable de pizarras, material idóneo para la formación de deslizamientos. El resultado del proceso de deslizamiento es una acumulación caótica de bloques y cantos empastados en una masa arcilloso-arenosa, pero, en algunos casos, se puede adivinar que lo que se desliza es una gran masa de material que una vez transportado, mantiene sus características iniciales, pero desplazada de su lugar original. Su potencia es variable y está relacionada con sus dimensiones superficiales y con la profundidad del plano de deslizamiento, pudiendo llegar a tener más de 20 m. Los deslizamientos de mayor tamaño parecen ser bastante antiguos, estando ya estabilizados en la actualidad. Se les atribuye una edad holocena.

Las avalanchas de bloques son poco frecuentes en la hoja de Etxalar, apareciendo, al este del paraje Artola, límite sureste, por debajo de los grandes escarpes y alternando con los grandes coluviones. Se suelen producir en las cabeceras de algunos de los cauces, siguiendo la línea de drenaje. Por su aspecto superficial parece que se construyeran a bocanadas, después de fuertes lluvias, de forma similar a como lo hacen los ríos de piedra. Son depósitos muy lavados, con abundancia de grandes bloques, aunque también están constituidos por fragmentos menores. Parecen de formación muy reciente.

Por lo que se refiere a las formaciones superficiales de carácter fluvial, destacan los fondos de valle. Están constituidos por un conjunto de cantos y gravas de naturaleza principalmente cuarcítica, grauváquica y pizarrosa, empastados en una matriz arenoso-arcilloso. El tamaño medio de los clastos está comprendido entre 5 y 8 cm., y el tamaño máximo observado es de 30 cm. Estos bloques son muy abundantes dado que se trata de una zona montañosa, donde la capacidad erosiva de los cursos es muy elevada por las grandes diferencias altimétricas y por la alta pluviometría. La potencia de estos depósitos no es visible en la mayoría de los casos pero no parece superar los 4-5 m. Los aluviales de mayor tamaño corresponde a los de los ríos Bidasoa, Tximista y Orabidea Su edad es Holoceno.

Los conos de deyección son muy escasos y se reducen a unos pocos ejemplos localizados en los valles de los ríos Bidasoa y Tximista. Son también depósitos de textura granular, heterométrica y muy poco consolidados. Su litología es muy similar a la de los fondos de valles, puesto que en la mayoría de los casos el área madre es

común, aunque pueden presentarse diferencias locales. Por lo que se refiere al tamaño de los granos, existen grandes variaciones dentro de un mismo depósito, disminuyendo bastante desde la zona apical a la distal. La potencia varía en el mismo sentido, desde 6-7 m hasta pocos centímetros, siendo algo más potentes los que tienen menor tamaño. Hay que señalar que muchos de ellos son funcionales en la actualidad.

Finalmente las formaciones superficiales de origen poligénico están representadas por un único ejemplo, en la hoja, localizado en la esquina noroeste y caracterizado por una morfología superficial plana, de escasa pendiente, con bordes lobulados o redondeados y dirigido al río Orabidea. El encajamiento de este cauce y el de sus pequeños afluentes produce escarpes en el borde del depósito, muy suavizados en la actualidad. Por sus características se trata de un glacis de cobertera, con un depósito poco potente constituido por arcillas y arenas con cantos y gravas de pizarras, grauvacas y areniscas. Por su posición algo descolgada de la red de drenaje actual se le asigna una edad Pleistoceno.

#### **4.5. EVOLUCIÓN GEOMORFOLÓGICA**

La evolución geomorfológica de la hoja de Etxalar (65-IV) no puede ser considerada sin incluirla dentro de la evolución geomorfológica regional, por lo que es conveniente enmarcarla en un contexto más amplio. Esto es debido a la necesidad de tener puntos de referencia claros, de carácter regional, a partir de los cuales relacionar otros procesos menos evidentes.

Geomorfológicamente no existen en la hoja eventos conocidos que puedan servir como base de partida para establecer una evolución de los procesos y de las formas, por lo que es necesario salirse de este ámbito de estudio. En hojas próximas como la de Cizur (nº141-I), más al sur, se reconocen una serie de retazos de una antigua superficie de erosión que, por las cotas a las que se sitúa (900-1000 m) se sugiere su equivalencia con la Superficie de Erosión Fundamental de la Cordillera Ibérica (PEÑA et al 1984) a la que se atribuye una edad Vallesiense-Plioceno, aunque por el conocimiento que ya se va teniendo de la misma, algunos autores suponen que no sobrepasaría el Turolense. Por tanto, a grandes rasgos, esta superficie indicaría el final de la erosión y, por tanto, el final del relleno neógeno representado en la mayoría de las cuencas por las "Calizas del Páramo".



Aunque en esta hoja no existen depósitos terciarios de ningún tipo, la realización, en un futuro, de trabajos geomorfológicos, contribuirá al conocimiento de muchos datos de los que ahora se carece.

Después del relleno Neógeno empezarían los procesos de erosión y vaciado de las cuencas, pero en un caso como éste, en el que muchos de los relieves no llegaron nunca a ser cubiertos por los depósitos terciarios lacustres sino que actuaron como bordes elevados, es muy probable que los procesos de incisión ya tuvieran lugar en el Mioceno superior y Plioceno. Es decir, esta zona ha debido ser, desde hace mucho tiempo, una zona de erosión que alimentaría a las cuencas más próximas.

Este es el motivo que ha dado lugar a un relieve tan abrupto e incidido, donde los valles están profundamente encajados. En definitiva todo ello ha hecho que se origine un relieve con importantes diferencias altimétricas, en el que son frecuentes barrancos, escarpes, aristas, etc.

Para finalizar este apartado hay que añadir que a medida que avanza el Cuaternario, la red fluvial continúa su proceso erosivo con la formación de nuevos cauces, sobre todo en la cabecera de la red secundaria. Mientras tanto la morfología que se va elaborando, tanto en las laderas (cóncavas, convexas, 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. El resultado es este relieve abrupto en el que domina la erosión fluvial y los procesos erosivo-sedimentarios de las laderas.

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

En la hoja de Etxalar se reconocen algunos procesos que son funcionales en la actualidad:

- Erosión fluvial
  
- Movimientos de ladera

Dentro de la erosión fluvial uno de los procesos más acusados es el de incisión vertical de la red que ha dado lugar a profundos barrancos, sin depósito alguno, como sucede en la mayoría de la red secundaria. Esta intensa erosión se debe a que el área

pertenece a una zona de montaña, próxima a una gran divisoria, donde se instalan numerosas cabeceras con un carácter erosivo dominante. Este carácter se mantendrá así al menos en un futuro inmediato. La erosión será más o menos intensa dependiendo de los movimientos tectónicos recientes, del nivel de base general y sobre todo de la competencia o incompetencia de los sedimentos.

Los procesos de ladera también se manifiestan activos, al menos en algunos puntos, estando representados por las caídas de bloques y algunos deslizamientos. Los primeros se producen a partir de los escarpes situados en el límite sureste de la hoja debido, en primer lugar, al 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 a la separación de bloques, del escarpe, que al estar en una posición de inestabilidad, como sucede en el borde de los mismos, tienden a caer por gravedad, depositándose en cotas inferiores de la vertiente. En la hoja de Etxalar, este hecho es lo habitual en la mayoría de los escarpes existentes.

Por otra parte, los deslizamientos, bastante abundantes, también constituyen parte de la dinámica actual. La naturaleza blanda o alternante de algunos materiales, unida al clima y a las fuertes pendientes, favorecen la inestabilidad de las masas a deslizar, una vez que el agua meteórica ha entrado por los planos de discontinuidad y se produce un desequilibrio en el sistema. Hay que señalar, sin embargo, que muchos de los deslizamientos están actualmente estabilizados.

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. PETROLOGIA**

En la Hoja de Etxalar, mayoritariamente ocupada por materiales pelíticos con un grado bajo de metamorfismo, de edad Devónico y Carbonífero, aparecen frecuentes diques de rocas filonianas, cuarzo y subvolcánicas, ofitas y diabasas, las primeras asociadas a depósitos mesozoicos y las segundas, en filones y enclaves dentro de la serie pelítica. En ambos casos, la presencia de fracturas, ha favorecido el ascenso y desarrollo de estos materiales.

### **5.1. ROCAS FILONIANAS**

#### **5.1.1.1. Cuarzo (nivel 7)**

Los filones de cuarzo se desarrollan siguiendo direcciones preferentes de fractura, y aparecen encajados principalmente en los esquistos y pizarras paleozoicas. Se trata de un cuarzo lechoso, en el que aparecen muy frecuentes tintes amarillos y anaranjados debido a la presencia de óxidos de hierro.

### **5.2. ROCAS ÍGNEAS**

Están representadas por masas de rocas subvolcánicas que tradicionalmente han sido asignadas a dos grupos petrológicos: diabasas (nivel 2) y ofitas (nivel 1). No obstante, se trata de dos denominaciones poco afortunadas, pues bajo cada una de ellas se engloban diversos tipos petrológicos, constituyendo sus respectivos encajantes, la única diferencia clara entre ambas.

#### **5.2.1.1. Diabasas (nivel 2)**

Se trata de una serie de afloramientos de reducidas dimensiones, distribuidos por todo el ámbito de pizarras y esquistos carboníferos, aunque se observan especiales concentraciones en la zona Norte del Señorío de Bertiz. Se disponen paralelas a la estratigrafía o transversales a ella, denunciando su carácter intrusivo.

Aparecen como rocas holocristalinas hipidiomorfos equigranulares y, más raramente, porfídicas. Presentan textura ofítica, siendo sus principales constituyentes plagioclasa

y piroxeno, con proporciones moderadas de biotita, con frecuencia alterada a clorita, liberando óxidos de hierro.

La ausencia de estudios relativos a estos materiales impide profundizar sobre su génesis. Su similitud con las ofitas encajadas en rocas mesozoicas sugiere un estrecho vínculo genético con ellas, relacionándose en ese caso con el episodio magmático acontecido durante el Lías inferior, emplazándose en un nivel estructural al de las ofitas. Igualmente, siguiendo esta línea de razonamiento podría pensarse que las diabasas corresponden a los equivalentes profundos de las rocas interstratificadas entre los sedimentos pérmicos. En cualquier caso, la resolución de este problema debe pasar por la realización de estudios geoquímicos de cierto detalle.

#### **5.2.1.2. Ofitas (nivel 1)**

Aflora en una mancha en el núcleo del Sinforme de Etxalar, en su flanco sur, estando limitada al Norte por una fractura que disloca el sinforme en sentido longitudinal.

Bajo la clásica denominación de ofitas, se engloba una serie de familias de rocas de composición basáltico-andesítica, aflorantes como masas irregulares, de tonos verdosos y aspecto homogéneo. En ellas, predomina la textura ofítica, con plagioclasa y clinopiroxeno como minerales fundamentales, junto a los que pueden aparecer: apatito, magnetita, feldespato potásico, anfíbol, epidota, ilmenita y esfena como accesorios, siendo la clorita el mineral secundario más frecuente, en buena parte como producto de alteración de olivino. El grado de alteración es muy variable, siendo máximo en las zonas de diaclasas.

No existe acuerdo entre los diversos autores con respecto a su edad de emplazamiento. Así, las dataciones absolutas aportadas por WALGENWITZ (1.976), sugieren su ubicación durante el Sinemuriense, en tanto que otros autores han señalado su emplazamiento próximo al límite Triásico-Jurásico. En líneas generales, las masas ajenas al "Lacolito de Almandoz", situado al sur de esta zona, pueden considerarse como sills andesítico-basálticos muy espilitizados, cuyo espesor varía de orden métrico a hectométrico, relacionándose su emplazamiento con un evento distensivo básico.

### 5.3. METAMORFISMO REGIONAL

Como señala PESQUERA (1985), es difícil establecer las condiciones físicas del metamorfismo regional del macizo de Cinco Villas. Supone que se ha desarrollado a temperaturas menores de  $450^{\circ}$  en un régimen de bajas presiones. Para llegar a esta conclusión, se basa en los cambios mineralógicos, como el grado de variación de la illita, ya que su cristalinidad aumenta progresivamente, hasta marcar unas claras condiciones epimetamórficas, donde se desarrollan una zona de clorita y una zona de biotita restringidas a dos áreas concretas del macizo (fig 4.1).

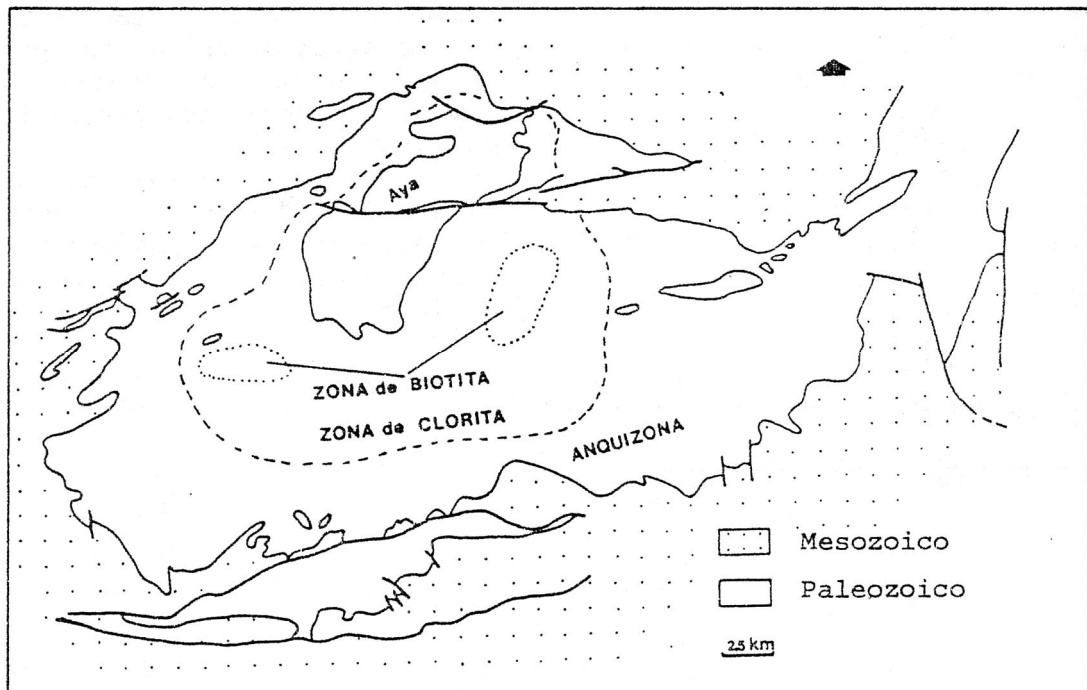


Fig 4.1 Límite anquizona-epizona y distribución aproximada de la zona de la biotita en Cinco Villas PESQUERA (1985)

Cualquier otra consideración acerca de la naturaleza de los fluidos, señala, es más incierta todavía, aunque señala que, siendo el grado de grafitización de la materia carbonosa similar que en las zonas homólogas de la aureola de contacto, podría indicar que el metamorfismo regional se produjo como respuesta a la existencia de domos térmicos generados probablemente por cuerpos ígneos intrusivos. Por estos motivos, concluye, los fenómenos de plutonismo, metamorfismo y deformación constituyeron un fenómeno conjunto en un momento dado de la historia hercínica.

## 6. HISTORIA GEOLÓGICA

En este apartado se pretende dar una visión generalizada de la evolución paleogeológica de la zona que se extiende por las Hojas a escala 1:50.000 nº 64 (San Sebastián) y nº 65 (Vera de Bidasoa).

En su realización, se ha prestado especial atención a los eventos tectónicos principales y a los ciclos sedimentarios que afectan a este sector de las estribaciones de la cordillera pirenaica

En esta región y a grandes rasgos, la historia puede referirse a dos ciclos orogénicos principales: hercínico y alpino.

### 6.1. EL CICLO HERCÍNICO

Los terrenos más antiguos aflorantes en esta región se remontan al Devónico, que en el macizo de Cinco Villas, incluido dentro del Dominio Europeo, presenta diversidad de facies en general de ambientes marinos someros. En estas hojas, la tectónica ha influido notablemente en la serie devónica, presentándose como escamas sobre el Carbonífero, lo que no permite observar una columna litológica continua que pudiera indicar la evolución sedimentológica en la cuenca durante este periodo.

Los materiales más antiguos, datados como Siegeniense-Eifeliense, corresponden a unas areniscas blancas masivas, que debieron depositarse en zonas marinas de plataforma somera. Por encima de estas areniscas aparecen unos esquistos negros con intercalaciones de areniscas pertenecientes a las Fm. Oronoz y Kalforro, indicando que la sedimentación continua en ambientes someros de plataforma.

La formación más potente del Devónico, de edad Eifeliense-Frasniense esta formada por esquistos arenosos y calcáreos. La presencia de estructuras “flasers” y “linsens” indica condiciones ambientales de transición, fundamentalmente mareales, con etapas de predominio marino y la sedimentación de barras calcáreas. Es una serie potente, de 800 metros aproximadamente, lo que indica una gran influencia tectónica en las etapas de sedimentación, con una importante subsidencia en la cuenca, que marcaría el inicio de las posteriores etapas de inestabilidad.

Posteriormente a esta etapa, las cuencas se homogenizan, dando lugar a una etapa en la que la influencia de la tectónica en la sedimentación, marcan el tipo de depósitos. Es en estas circunstancias cuando se produce la sedimentación alternante de detríticos finos y más groseros, que dio lugar a la serie “flyschoides” carbonífera de tipo “Culm” indicando el comienzo de la actividad tectónica. En la base de esta serie, y en zonas próximas a los bordes de las plataformas, se depositó una potente serie de calizas marmóreas. Estas calizas podrían representar complejos arrecifales desarrollados en los márgenes de la plataforma.

Como se ha indicado anteriormente, los primeros procesos de deformación a gran escala tuvieron lugar con posterioridad a la sedimentación de la serie pelítica carbonífera y constituyen los primeros procesos de la orogenia hercínica propiamente dicha. Durante esta fase se produjo la generación de sistemas de plegamiento N-S y NE-SO, en este sector del sistema pirenaico, la principal consecuencia tectónica, consistió en el desarrollo de un cinturón de cabalgamientos, que provocó la superposición del dominio oriental sobre el dominio occidental constituido fundamentalmente por la serie pelítica carbonífera en facies “Culm” cuya sedimentación ya indicaba la inestabilidad tectónica posterior,

La culminación de estos procesos hercínicos tuvo como consecuencia la emersión de las cordilleras durante el Estefaniense, iniciándose los procesos de desmantelamiento de sus relieves, que marcan el final del ciclo orogénico hercínico.

Durante estos episodios es cuando se produce la intrusión del macizo granítico de Peñas de Aya, ocasionando una estrecha aureola de metamorfismo y deformando los materiales carboníferos en los que se encaja.

## **6.2. EL CICLO ALPINO**

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

Pamplona y Norpirenáica, esta última actuando como límite entre las placas Ibérica y Europea.

La estructuración tardihercínica configuró la región como una serie de horsts y grabens paralelos a los accidentes principales en un proceso de rifting intracontinental que condicionó la sedimentación posterior.

En el Pérmico, en esta zona, la fase "saalica", que origina una discordancia entre el Rothliegiense y el Pérmico Superior, periodo en el que se produjo una intensa actividad volcánica que se tradujo en la aparición de basaltos en las áreas de Larún e Ibantelly.

El relleno sedimentario de los surcos dic comienzo por las zonas más deprimidas, durante el Pérmico, periodo en el que se produce la primera sedimentación importante después de la finalización de la orogenia hercínica. Esta sedimentación se origina en pequeñas cuencas de carácter intramontano, con sedimentos procedentes de los macizos elevados, apareciendo con materiales groseros en la base y más finos hacia arriba. La progresión de los rellenos aumentó paulatinamente el área sedimentaria, favoreciendo una disminución energética. Así, las cuencas casi colmatadas durante el Pérmico fueron recubiertas por un Triásico en facies "germánica". Los primeros pisos del Buntsandstein sugieren esta disminución energética, con la sedimentación de depósitos fluviales y aluviales que aparecen en las áreas de Larún, sinforme de Etxalar y Legate. En algunas zonas, como el sinforme de Etxalar y zona de Zugarramurdi, esta colmatación concluye con una serie de episodios arcillosos que culminan el relleno de las cuencas.

Según algunos autores (MONTADERT y WINNOCK, 1971), esta etapa correspondería a la primera fase de apertura del Golfo de Gascuña.

Con posterioridad a esta colmatación de las cuencas, la región habría sido nivelada y un ascenso relativo del nivel del mar propiciaría la instalación de una plataforma carbonatada somera en la que se produjo el depósito de la facies "Muschelkalk", que sin embargo, en esta zona solamente esta representado en el Sinforme de Etxalar y en pequeños afloramientos.



Durante el periodo Triásico Superior-Cretácico Inferior no existen en toda esta zona indicios directos de sedimentación, debido fundamentalmente a que esta zona constituyó un alto relativo en la sedimentación en estos momentos en que la plataforma se encuentra muy compartimentada, dando lugar a etapas de no sedimentación y a importantes periodos de erosión del material sedimentado anteriormente.

Según los datos regionales, en el Jurásico inferior, se instaló una vasta plataforma carbonatada en un contexto tectónico relativamente estable. En estos sectores, la fase neokimérica, originó el levantamiento de los macizos hercínicos con el consiguiente arrastre de los recubrimientos permotriásicos. Los efectos ocasionados por esta orogénesis se prolongarán durante parte del Cretácico inferior, puestos de manifiesto mediante movimientos distensivos, relacionados con los procesos de rifting del Golfo de Vizcaya y el comienzo de la deriva de la placa Ibérica hacia Europa, originándose dos márgenes, ibérica y europea, separadas por una cuenca axial de dirección N110° a N120°.

Esta deriva antihoraria de Iberia con respecto a Europa tuvo su principal reflejo durante el Albiense, en la que la fase austrica dio lugar a una nueva reestructuración general. Su principal efecto es la elevación de los macizos paleozoicos, en esta zona los de Larún y Cinco Villas, con la formación entre ellos de la cuenca de Vera, en una distribución próxima a la actual.

Durante el periodo Albiense-Cenomaniense, el ciclo sedimentario se traduce en una acentuación de la distensión entre las dos placas continentales, que coincide sensiblemente con el comienzo de la expansión oceánica en el Golfo de Gascuña. Esta distensión es la responsable de la formación de fosas tectónicas, que en esta zona, están controladas por fallas de dirección E-O y N-S, reactivación de las direcciones principales hercínicas.

La sedimentación, en esta cuenca de Vera, es detrítica, con aportes procedentes de los macizos paleozoicos de Larún y Cinco Villas. Se produce además, en esta cuenca, una sedimentación de tipo subarrecifal en condiciones restringidas, a diferencia de otras cuencas cretácicas más abiertas.

En el Albiense superior-Cenomaniense, la elevación del nivel marino y la continuación de la tectónica distensiva favorece la progradación de la plataforma incluso sobre el sustrato, representados en esta zona por depósitos de calizas arcillosas.

Finalmente, en esta cuenca de Vera-Zugarramurdi, la etapa distensiva tuvo su culminación con el máximo desarrollo de este graben entre una zona de talud, el macizo de Larún, y un dominio de plataforma estable, el macizo de Cinco Villas, que produjo el paso hacia sedimentos de tipo turbidítico.

A partir del Campaniense, la falta de registro sedimentario más moderno no nos permite conocer la evolución posterior de la región. No obstante, y a grandes rasgos, durante el Cretácico superior y el Paleoceno, continúa la sedimentación turbidítica, en una cuenca tectónicamente estable con ciertos estadios concretos de inestabilidad.

Durante el Paleoceno Medio aparecen unas nuevas inestabilidades que se desarrollan hasta el Eoceno Medio. La deformación de esta zona a partir del Luteciense, resulta del movimiento hacia el Norte de las unidades meridionales. Es en esta época cuando las principales fases pirenaicas se pliegan y emergen los materiales depositados, hasta el Oligoceno, cuando tiene lugar la mayor actividad orogénica que culmina en la emersión de todos los relieves tal y como aparecen en la actualidad.

## 7. GEOLOGÍA ECONÓMICA

### 7.1. RECURSOS MINERALES

La actividad minera en el ámbito de la hoja de Etxalar en la actualidad es prácticamente inexistente, reducida a la explotación intermitente de dos canteras de arenisca, en Legate. Además de estas explotaciones, aparecen dos canteras abandonadas también de arenisca. En cuanto a los indicios de minerales metálicos y no metálicos, aparecen un total de 20 indicios, de los cuales 17 son de minerales metálicos.

#### 7.1.1. Minerales metálicos y no metálicos

En esta Hoja, la industria extractiva no tiene en la actualidad ninguna actividad, a diferencia de tiempos no muy lejanos, en los que esta, era una zona de cierta prosperidad minera. La totalidad de los indicios aparece en los materiales pelíticos del Macizo de Cinco Villas, mientras que en la triásica aparecen tres indicios de minerales no metálicos.

Las mineralizaciones del Macizo de Cinco Villas tienen una entidad propia desde el punto de vista metalogenético, y, aunque aparecen sustancias diferentes, se generaron en un mismo proceso metalogenético y poseen características comunes dentro de su diversidad.

##### 7.1.1.1. Mineralizaciones de siderita, fluorita, galena, esfalerita, calcopirita. Zn-pb-f-(fe)

Las mineralizaciones son de morfología filoniana y están encajadas tanto en granito como en la serie pelítica carbonífera. Se les ha considerado como filones hidrotermales genéticamente relacionados con el granito de Peñas de Haya. Los filones son de pequeñas dimensiones, con potencias centimétricas a métricas y direcciones variables, entre las que predominan las N-S a N 20° y las N 60-70°. Suelen ser filones irregulares, en los que se han producido fenómenos de brechificación y cizallamiento. Predominan los filones ricos en siderita en el granito y su borde mientras que los filones de fluorita, galena, esfalerita y barita son más

abundantes en zonas externas. En cualquier caso, estas asociaciones aparecen siempre, variando las abundancias relativas.

Aparecen dos mineralizaciones de este tipo: una de ellas en Etxalar y otra en el término de Sumbilla, donde se explotaba Hierro y Plomo. De fluorita aparece un indicio en el barranco de Solaberricoturria en la esquina nororiental de la Hoja.

#### **7.1.1.2. Hierro**

La mayoría de las mineralizaciones de hierro en la hoja de Etxalar son de carácter filoniano y ocupan una posición perigranítica en pizarras o en calizas. El mineral principal es la siderita, al que van asociados otros sulfuros. En algunos casos, se explotaban óxidos e hidróxidos de hierro, e incluso hematites.

En general son indicios poco importantes, hasta un total de 9, situados en los parajes de Urzailde Borda, Caserío Alambarri, Caserío Eguiguren, Añerdi, Regata de Bustilango, Bioiko Erreka y Aisorrero.

#### **7.1.1.3. Cobre**

Existen dos mineralizaciones de cobre en la Hoja de Etxalar, que, como en el resto de Cinco Villas, son filonianas. Se localizan en la regata Sancín, en Etxalar, y en el término municipal de Yanci que pertenece a la Hoja.

#### **7.1.1.4. Plata y mercurio**

Como indicios minerales de sustancias que no tienen una representación abundante en el macizo de Cinco Villas aparecen dos indicios, uno de plata en el río Olavidea, y otro de Mercurio en la regata del Infierno en Etxalar.

#### **7.1.1.5. Barita**

Aparecen tres manifestaciones de concentraciones de Barita en la hoja de Etxalar. Se localizan en los depósitos de la cobertera triásica en Legate, en concreto en los parajes de Monte Unboto, Geñekoborda y en la mina Celina.

### **7.1.2. Rocas industriales**

Pertencen a este grupo las explotaciones de arenisca, siendo las únicas rocas industriales que se explotan en esta zona. Se trata de dos explotaciones intermitentes, localizadas en Legate. Son las minas de Lepoaudi y Legate Txiki. Además aparecen dos canteras abandonadas en esta misma zona de Legate

### **7.1.3. Interés potencial de los recursos mineros**

El precario conocimiento existente con respecto a minerales metálicos y explotaciones en todo el ámbito navarro hacen que su aprovechamiento futuro sea contemplado como algo remoto y que, en cualquier caso, pasaría por la realización de estudios geológico-mineros que determinasen la ubicación y ley de los yacimientos.

Las rocas industriales parecen ofrecer un futuro más prometedor a juzgar por sus demandas actuales y por su abundancia en el marco de la Hoja. Entre ellos, el granito y la caliza constituye una de las sustancias de mayor interés actualmente, existiendo importantes afloramientos en la región; de ellos, destacan por su extensión y accesibilidad los granitos de Peñas de Aya y las Calizas de Aranaz en el borde suroriental de la Hoja, cuya aplicación más inmediata son los áridos empleados para diversos tipos de obras públicas. Por el contrario, las pizarras y esquistos de la serie pelítica carbonífera carecen de interés.

## **7.2. HIDROGEOLOGÍA**

### **7.2.1. Introducción**

La hoja escala 1:25.000 de Etxalar (65-IV) comprende una zona montañosa de relieves contrastados. Fisiográficamente, los ríos de la zona de estudio vierten a la cuenca cantábrica, concretamente pertenecen a la cuenca del río Bidasoa, cuyo cauce atraviesa la Hoja de sur a norte a oeste por su borde occidental. Su principal afluente es río Tximista que recorre la hoja en sentido SE-NE hasta su desembocadura en el Bidasoa en la esquina noroccidental de la Hoja, una vez atravesada la población de Echalar.

Solamente algunos pequeños arroyos de la esquina nororiental no vierten sus aguas al río Bidasoa, sino que lo hacen al río Orabidea, afluente del Urdax.

El régimen de humedad es del tipo Húmedo y en cuanto al régimen térmico corresponde al tipo Templado Cálido. La combinación de estos parámetros, permite determinar para esta zona, según PAPADAKIS, un clima Marítimo, Templado Cálido, con una temperatura media anual comprendida entre 8°C y 11°C y una precipitación media anual del orden de 1500 mm.

La evapotranspiración potencial es del orden de 620 mm según el método THORNTHWAITE y la real del orden de 550 mm para capacidades de campo entre 50 y 100 mm.

### **7.2.2. Descripción hidrogeológica**

Entre las formaciones aflorantes en el ámbito de la Hoja de Etxalar, se han distinguido aquellas que por sus características hidrogeológicas, son susceptibles de desarrollar acuíferos. De este modo, se han considerado dos categorías según las características y parámetros hidrogeológicos sean más o menos favorables para desarrollar acuíferos.

Como acuíferos principales se consideran las formaciones con permeabilidad media-alta cuya potencia y extensión permite desarrollar buenos acuíferos ya sean detríticos o kársticos. Los acuíferos secundarios engloban formaciones con permeabilidad menor o muy variable o bien aquellos materiales que presentan buenas condiciones por sus parámetros hidrogeológicos pero que su extensión no permite su desarrollo.

Dentro de la zona objeto de estudio no se han distinguido acuíferos principales, quedando reducidos a los siguientes niveles acuíferos secundarios:

Acuíferos secundarios	Paleozoico
	Buntsandstein-Muscheskalk
	Cuaternario

### **7.2.3. Acuíferos secundarios**

#### **7.2.3.1. Acuíferos aislados del paleozoico (devónico y carbonífero)**

Devónico desde el punto de vista hidrogeológico, cabe destacar los niveles de areniscas blancas y las calizas de la Formación Oronoz, esta última constituida por un conjunto de calizas algo dolomitizadas y muy recristalizadas, que conforman lentejones. El espesor de este conjunto oscila entre 50 y 200 m, la importancia hidrogeológica de estos niveles se reduce por el elevado grado de recristalización y el limitado espesor de la serie, por lo que las escasas surgencias que drenan estos niveles aportan pequeños caudales específicos.

Carbonífero: Se incluyen los materiales calcáreos correspondientes a la formación Eozuri. En conjunto se trata de calizas y dolomías, en ocasiones intensamente recristalizadas, con un espesor muy variable.

En general, estos niveles paleozoicos presentan un elevado grado de recristalización y se encuentran muy compartimentados por efecto de la tectónica regional que les afecta. Por este motivo, en ocasiones, los niveles acuíferos se encuentran desconectados unos de otros y su permeabilidad disminuye por el recrecimiento cristalino que impide la circulación de agua subterránea.

#### **7.2.3.2. Buntsandstein-Muscheskalk**

El conjunto triásico está representado en la zona de estudio, aflorando en el sinforme de Etxalar.

La composición básica de esta formación consiste en granos de cuarzo subangulosos y fragmentos de rocas metamórficas con matriz sericítica. La granulometría es muy variada, presentando en conjunto la unidad, una gran variabilidad vertical y lateral. En general, la formación se hace más arcillosa hacia el techo, culminando con un paquete de arcillas y limolitas. Los niveles conglomeráticos intercalados presentan con frecuencia morfología lenticular, siendo más frecuente su aparición en la base de la unidad, con un espesor que no suele superar los 10 metros.

Hidrogeológicamente los materiales constituyentes, presentan una permeabilidad media-baja por porosidad intergranular, variable según la proporción de finos en la matriz y aumentado puntualmente por la presencia de niveles lenticulares conglomeráticos.

El Muschelkalk está constituido por una sucesión de calizas y dolomías tableadas permeables por fisuración y karstificación. Dentro del conjunto aparecen intercalados niveles arcillosos que pueden impedir la comunicación hidráulica de los recursos subterráneos. En esta zona está muy poco desarrollado, únicamente en dos afloramientos muy reducidos, en los que no se puede determinar su espesor y se presentan aislados o cubiertos por los depósitos cuaternarios, muy abundantes en esta región.

#### **7.2.3.3. Cuaternario**

El Cuaternario de esta Hoja está representado fundamentalmente por los depósitos de fondos de valle que presentan una litología cantos y gravas, de naturaleza calcárea, cuarcítica, areniscosa y otras, envueltos en una matriz arenoso-arcillosa

La geometría de estos depósitos, en planta, es alargada y muy estrecha con un trazado serpenteante.

Hidrogeológicamente, se estima una permeabilidad media-alta, por porosidad intergranular, debido a la granulometría y al bajo grado de compactación que presentan. Predomina la permeabilidad media cuando las lutitas son mayoritarias en la matriz.

La Llanura de Inundación de los principales cursos fluviales, presenta muy escaso desarrollo y está constituida fundamentalmente, por materiales terrígenos finos: arcillas y lutitas con intercalaciones de arenas y ocasionalmente gravas.

Hidrogeológicamente se trata de formaciones prácticamente impermeables, debido al predominio de materiales arcillosos y lutíticos.

El sistema de terrazas, está así mismo muy poco desarrollado, constituido por un conjunto de gravas y cantos de naturaleza cuarcítica y calcárea mayoritariamente con una matriz arena limosa o arena arcillosa.



Estos depósitos tienen un grado de permeabilidad medio-alto, debido a la elevada porosidad intergranular que presentan. No obstante, dado su escaso desarrollo y extensión no constituyen acuíferos de importancia, aunque la utilización conjunta asociada a los cursos superficiales resulta altamente interesante.

Los coluviones y deslizamientos están formados por acumulación de materiales al pie de los relieves montañosos, con mayor o menor espesor y ordenados o no, según el grado de madurez del depósito. Existe en esta Hoja un mayor predominio de formas coluvionares con una extensión superficial limitada.

Litológicamente están formados por depósitos sueltos, de cantos o bloques con matriz arcillo-lutítico-arenosa, que dificulta la percolación.

Hidrogeológicamente presentan una permeabilidad media-baja en función de su litología, la potencia en general es pequeña, no superando los 5 m, dado el gran relieve que presenta esta Hoja.

#### **7.2.4. Funcionamiento hidrogeológico**

En los materiales paleozoicos del macizo de Cinco Villas, se localizan algunos manantiales dispersos con caudales variables que no suelen superar los 3 l/s, aunque pueden presentar incrementos estacionales en la época de lluvias. En general estos acuíferos son pequeños y con respuesta rápida a la recarga.

Los acuíferos triásicos, presentan características similares a las descritas anteriormente. Aunque este tipo de materiales presentan una mayor permeabilidad relativa con respecto a los materiales paleozoicos, los acuíferos se encuentran muy compartimentados, dando lugar a bloques pequeños y de escasa entidad, en los que los condicionantes tectónicos imprimen al acuífero sus características esenciales

Dentro de los niveles acuíferos descritos individualmente con anterioridad, destaca el conjunto de materiales cretácicos. Este acuífero que sufre numerosas compartimentaciones por efecto de la tectónica regional tiene en esta zona algunos de los puntos de descarga más significativos.

Además de estas existen otras muchas dispersas y de carácter básicamente estacional que drenan los recursos almacenados en los materiales paleozoicos a favor de la red de fracturas que les afecta.

La variación de los caudales de estos puntos de descarga, es significativa, lo que confirma el funcionamiento Kárstico de los materiales que drenan.

La alimentación de todos estos niveles acuíferos se realiza a partir de la infiltración directa del agua de lluvia y de las fuertes escorrentías que se producen en la zona, sobre la extensa superficie aflorante de materiales permeables. En general los niveles acuíferos presentan un comportamiento libre donde aflora y confinado por materiales de permeabilidad muy baja en el resto. Presenta cierto grado de compartimentación por efecto de la tectónica por lo que en ocasiones el funcionamiento hidráulico es independiente. La descarga de estos niveles se produce por numerosos manantiales ubicados en los contactos permeable-impermeable, con caudales muy variables, también se produce un drenaje difuso hacia los cauces fluviales por lo que los depósitos cuaternarios pueden ser recargado por niveles calcáreos. También se realizan extracciones en pozos ubicados en los aluviales de los principales cursos fluviales, que han desarrollado un pequeño sistema de terrazas fluviales. Estas captaciones no suelen superar los 10 metros de profundidad.

La composición química del agua subterráneas es relativamente constante en los acuíferos que son uniformes litológicamente. En general se trata de facies bicarbonatadas cálcicas y magnésicas con mineralización débil o muy débil y baja dureza.

## **7.3. GEOTECNIA**

### **7.3.1. Introducción**

En este apartado se describe la cartografía geotécnica de la Hoja a escala 1:25.000 nº 65-IV correspondiente a Etxalar, y se establecen las características geomecánicas de los materiales que la componen.

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

características litológicas, geomorfológicas e hidrogeológicas de los materiales.

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

### **7.3.2. Metodología**

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

1. Recopilación de los datos existentes: Dado que en la Hoja no se han podido recoger datos procedentes de obras y proyectos, realizados en Navarra por organismos públicos y empresas privadas, se ha acudido a las hojas contiguas donde existen datos geotécnicos sobre las mismas unidades
2. Tratamiento de los datos: En esta etapa se trata 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 roca bajo los procesos de meteorización. Los datos recopilados se clasifican en los siguientes grupos:
  1. Identificación; establecen la naturaleza de la roca y su estado natural aparente (granulometría, límites de Atterberg, densidad y humedad, absorción, grado de meteorización).
  2. Clasificación; intentan establecer una idea general del comportamiento de la roca en relación a criterios previamente establecidos. Algunos de estos criterios se fijan en base a resultados de ensayos de resistencia. (Índice de Calidad, resistencia a compresión simple, point load test).
  3. 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, Brasileño).

4. 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).
  
3. 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.

### **7.3.3. Zonificación geotécnica**

#### **7.3.3.1. 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 diecisiete 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 químico.

#### **7.3.3.2. División en áreas y zonas geotécnicas**

ÁREA I: Representa rocas ígneas y plutónicas

ÁREA II: Engloba los materiales Paleozoicos

ÁREA III: Comprende los depósitos Mesozoicos

ÁREA IV: Engloba los depósitos Cuaternarios

Estas áreas se han dividido en las siguientes zonas:

ÁREA I: ZONA I<sub>1</sub>, I<sub>2</sub>,

ÁREA II: ZONA II<sub>1</sub>, II<sub>2</sub>, II<sub>3</sub>, II<sub>4</sub>

ÁREA III: ZONA III<sub>1</sub>, III<sub>2</sub>, III<sub>3</sub>, III<sub>4</sub>, III<sub>5</sub>, III<sub>6</sub>

ÁREA IV: ZONA IV<sub>1</sub>, IV<sub>2</sub>, IV<sub>3</sub>

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

<b>UNIDAD CARTOGRÁFICA</b>	<b>ZONACIÓN GEOTÉCNICA</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
524,541,544, 527, 536	IV <sub>3</sub>	Cantos, gravas, arenas y arcillas. Depósitos fluviales
519,545,547,537, 543, 550	IV <sub>2</sub>	Bloques, cantos, gravas, arenas y arcillas. Depósitos poligénicos y de gravedad.
523	IV <sub>1</sub>	Arcillas de descalcificación
169,170	III <sub>4</sub>	Calizas y calizas arcillosas
105,151	III <sub>3</sub>	Arcillas, limolitas y yesos triásicos
107,136,168	III <sub>2</sub>	Calizas tableadas y bioconstruidas y dolomías
101,103,104	III <sub>1</sub>	Conglomerados y areniscas
70,71	II <sub>4</sub>	Arcillas
53	II <sub>3</sub>	Areniscas
56,60,65,66, 67	II <sub>2</sub>	Calizas, calizas tableadas, dolomías y silixitas

57,59,64,68, 69	II <sub>1</sub>	Pizarras, esquistos, esquistos arenosos y con intercalaciones calcáreas
5,6	I <sub>2</sub>	Granitos y leucogranitos
7, 2, 1, 44	I <sub>1</sub>	Ofitas, diabasas, basaltos y rocas filonianas

Cuadro 1: Correlación entre las unidades geológicas y zonas geotécnicas

### 7.3.4. Características geotécnicas

#### 7.3.4.1. Introducción

De los materiales que se disponen ensayos, aunque no sea en esta Hoja, 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 N° 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.
- **Absorción de agua.** Permite obtener una idea del grado de meteorización o fisuración por comparación de muestras del mismo material. Está relacionado con la expansividad del terreno.
- **Grado de meteorización.** Mediante reconocimientos y descripciones “de visu” se determina el grado de meteorización de las muestras según la siguiente relación:

Grado de meteorización	Denominación
I	Sana
II	Meteorización incipiente (juntas oxidadas)
III	Moderadamente meteorizada
IV	Muy meteorizada
V	Completamente meteorizada

- Índice de calidad ( $I_Q$ ). Se define como la relación porcentual entre la velocidad de propagación de ondas longitudinales ( $V_L$ ) en testigos cilíndricos de roca y en roca sana (sin fisuras ni huecos). La Figura 6.1 muestra valores medios de  $V_L$  en diferentes tipos de roca en estado sano.

Tipo de rocas	$V_L$ media (m/s)
Gabros	7000
Basaltos	6500 a 7000
Cuarcitas	6000
Granitos	5500 a 6000
Calizas	6000 a 6500
Calizas dolomíticas*	6500 a 7500
Argilitas**	900 a 2600

Fig. 6.1. Velocidades máximas medias de propagación de ondas longitudinales en los principales tipos de rocas. (\* según el contenido en dolomía; \*\* según la estructura y grado de alteración).

En general, la velocidad de propagación está en relación inversa con la porosidad de la roca ( $n$ ). Con el índice de calidad ( $I_Q$ ) y el valor de porosidad ( $n$ ) de la roca, puede determinarse la Densidad de Fisuración, tal y como muestra la Figura 6.2



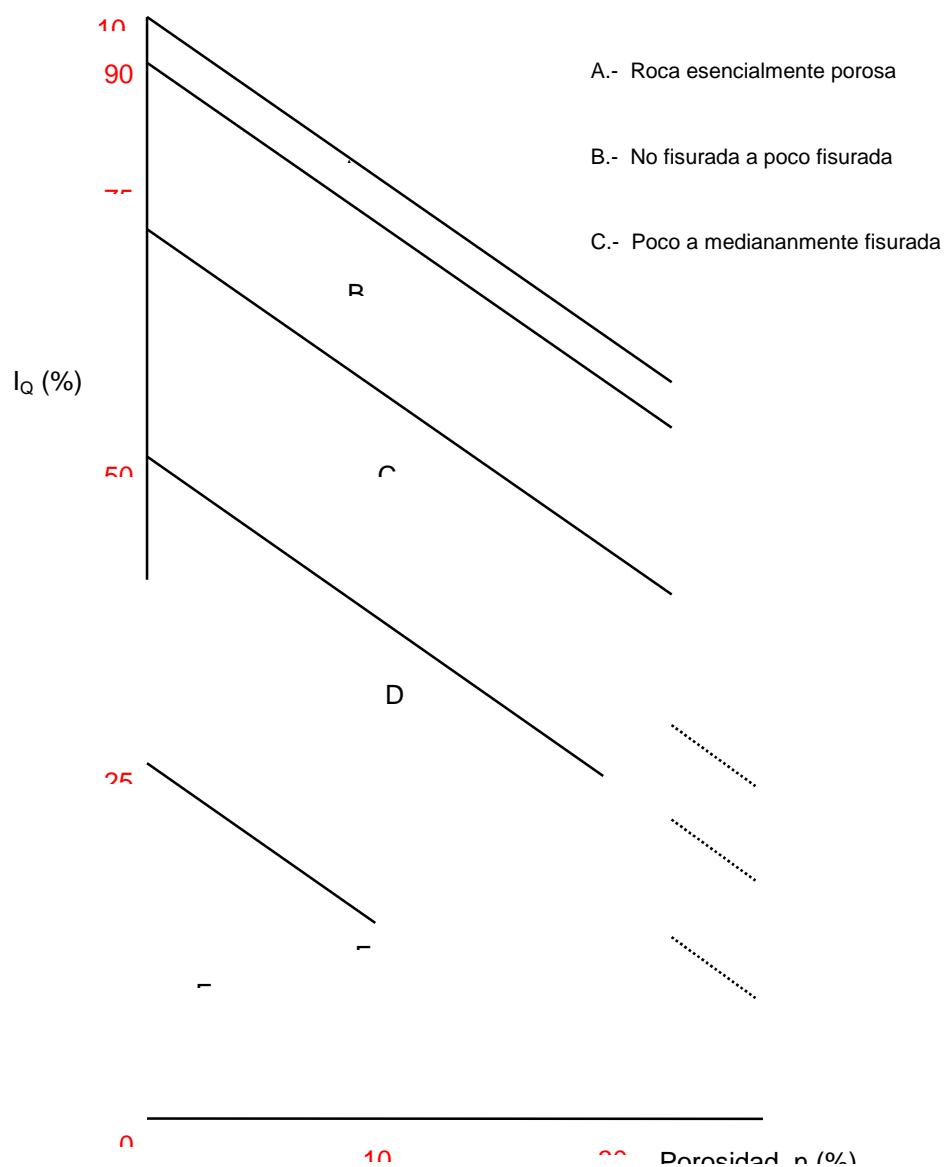


Fig. 6.2. Descripción de la densidad de fisuración de una muestra de roca con ayuda del índice de calidad y la porosidad total. (modificado de FOURMAINTREAU, 1976; en OTEO MAZO, 1978).

- Resistencia a compresión simple ( $Q_u$ ,  $Kp/cm^2$ ). 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

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

Tensión de rotura a compresión simple en Kp/cm <sup>2</sup>	Consistencia
< 0,25	Muy blando
0,25 a 0,50	Blando
0,50 a 1	Medio
1 a 2	Firme
2 a 4	Muy firme
> 4	Duro

- Ensayo de Carga Puntual ( $I_s$ ,  $Kp/cm^2$ ). Determina la resistencia de una muestra de testigo. Por su facilidad de realización se utiliza en aquellos casos en los que las muestras no reúnen las condiciones necesarias para realizar un ensayo de compresión simple (baja dureza, elevada anisotropía,). Requiere un elevado número de ensayos y un tratamiento estadístico de los mismos para obtener resultados fiables. Generalmente  $I_s$  presenta una buena correlación con el ensayo de resistencia a compresión simple ( $Q_u$ ), mediante la siguiente relación:  $Q_u = f \cdot I_s$ , donde  $f$  es una constante que depende del diámetro del testigo de roca.
  
- 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. En suelos granulares basta conseguir una alta densidad seca, pero en suelos con finos es preciso controlar también las condiciones humedad. La presencia de agua disminuye la presión intergranular, y actúa como lubricante, facilitando el deslizamiento y giro de las partículas entre sí y su agrupamiento en estructuras más compactas. El resultado es una densidad seca más elevada.
  
- 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. Se utiliza por tanto para el dimensionamiento de firmes. A mayor CBR, mayor es la capacidad de soporte de la explanada. Normalmente se expresa el valor de CBR para el 95 % y 100% de la densidad Proctor.
  
- Ensayo de tracción indirecta ( $\sigma_{tb}$ ,  $Kp/cm^2$ ). También conocido como “Brasileño”, es un ensayo normalizado de tracción más adecuado para clasificar la resistencia de la roca que la resistencia a tracción. La relación entre la resistencia a compresión simple ( $Q_u$ ) y la resistencia a tracción ( $\sigma_{tb}$ ) en el ensayo brasileño ( $Q_u/\sigma_{tb}$ ) aumenta al hacerlo  $Q_u$ , pudiendo variar de 10 a 15 para  $Q_u < 500 Kp/cm^2$ , y de 15 a 25 para resistencias más elevadas. El criterio de clasificación de rocas con rotura frágil a partir de ensayos brasileños es como sigue:

---

Resistencia	$\sigma_{\text{br}}$ Kp/cm <sup>2</sup>
Muy débil	0-15
Débil	15-35
Media	35-65
Alta	65-100
Muy alta	> 100

- Ensayo de corte directo. Es un ensayo rápido y económico que 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.
- Ensayo de Molinete. Permite hallar la resistencia al corte en suelos blandos, principalmente arcillas blandas saturadas o suelos orgánicos.
- Módulo de deformación y coeficiente de Poisson. El módulo de deformación se puede obtener en arcillas sobreconsolidadas, utilizando el valor de la resistencia al corte sin drenaje ( $C_u$ ) en la correlación  $E = 130 \times C_u$  definida por Butler. Para el coeficiente de Poisson se podría adoptar un valor entre 0,30 y 0,35, dependiendo de la consistencia blanda o densa.
- 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

- **Análisis de Hinchamiento.** Mide el cambio de volumen debido al humedecimiento general de la roca. Normalmente se suele medir la componente vertical de hinchamiento. Los datos que se poseen sobre la expansividad del terreno están obtenidos a través del ensayo Lambe, que fija el cambio potencial de volumen (C.P.V.) de la manera siguiente:

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

- **Ensayo de durabilidad ( $I_D$ ).** Mide la resistencia de la roca frente a procesos de meteorización y disgregación como resultado de someter a la muestra a dos ciclos de secado y agitación en un baño de agua. Se obtiene un índice ( $I_D$ ) que muestra la relación porcentual entre el peso seco de la muestra después de dos ciclos y el peso seco antes del ensayo. La durabilidad del material puede

relacionarse con el índice de plasticidad ( $I_p$ ) en rocas arcillosas según el cuadro que muestra la Figura 6.3.

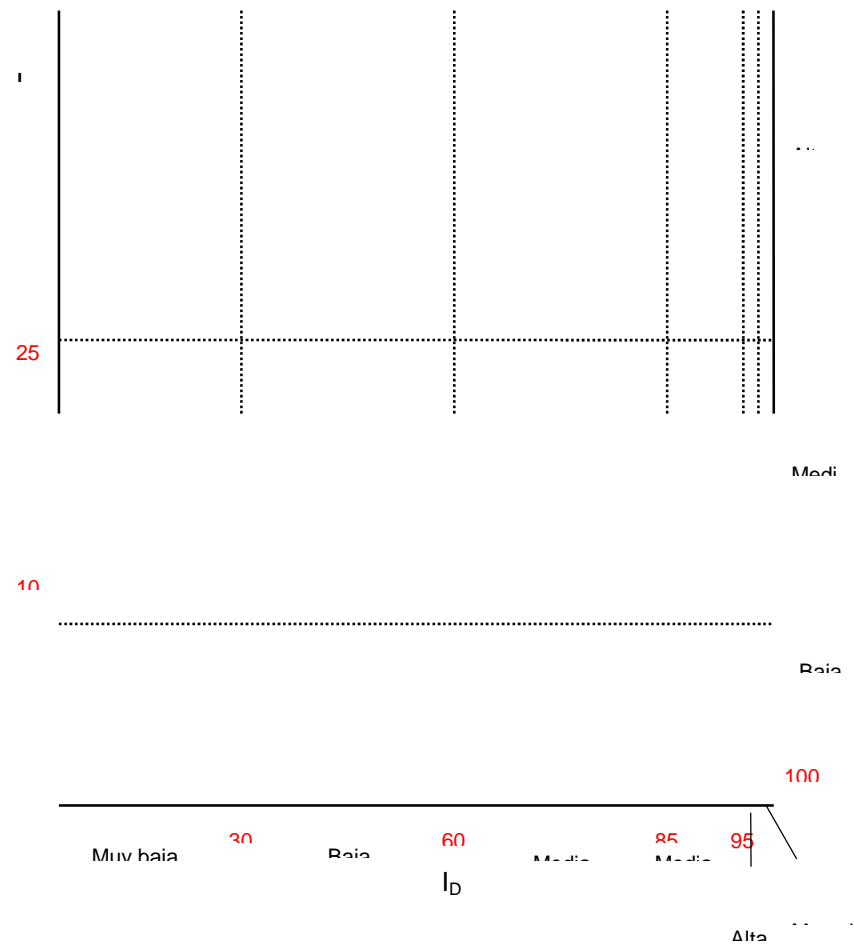


Fig. 6.3. Clasificación de durabilidad-plasticidad en rocas arcillosas propuesta por GAMBLE (ISRM, 1972).

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 autosoporte y sin empujes fuertes.



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

- Resistencia de la roca
- RQD
- Separación entre diaclasas
- Presencia de agua
- Disposición de las juntas respecto a la excavación

Bieniawski establece cinco categorías en función del valor RMR:

Clase I      Roca muy buena: RMR = 81-100

Clase II     Roca buena: RMR = 61-80

Clase III    Roca media: RMR = 41-60

Clase IV    Roca mala: RMR = 21-40

Clase V     Roca muy mala: RMR 20

#### **7.3.4.2. Área I**

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

- Localización

Los diaques de cuarzo aparecen aflorando entre los materiales carboníferos. Los afloramientos de diabasas son de reducidas dimensiones, y están distribuidos por el ámbito de los montes Energuerena y Sayoa, y especialmente, del arroyo de Zocoá. Por último, existe un afloramiento de ofitas de mayores dimensiones que los de diabasa en el núcleo del sinforme de Etxalar, en el barranco de Ezcurbi.

- Características geológicas

Los materiales que definen esta Zona están formados por filones de cuarzo, ofitas y niveles interestratificados de basaltos. Las primeras son rocas filonianas que aparecen frecuentemente oxidados, mientras que las ofitas son rocas subvolcánicas, de textura ofítica y composición basáltico-andesítica, tonos verdosos y aspecto homogéneo en estado sano. Los basaltos son rocas de textura holocristalina e hipidiomorfa y de grano fino. El grado de alteración superficial es muy alto en las ofitas, mientras que en los filones de cuarzo es mucho menor. En los basaltos es variable, siendo muy alto en Ibantelly y menor en Larún.

- Características geotécnicas

A continuación se describen los valores más característicos:

Cuadro Resumen de Características Geotécnicas(Roca inalterada)

Humedad (W)	4,78 %
Densidad Seca	2,14 gr/cm <sup>3</sup>
Meteorización	2
Resistencia a Compresión Simple (Qu)	27-2200 Kp/cm <sup>2</sup>
Qu a partir del Point Load Test	1800 Kp/cm <sup>2</sup>

Destaca la alta dispersión de valores extremos en los ensayos de resistencia a compresión simple. La correspondencia de resistencia a compresión simple a partir de los datos del Point Load Test da un resultado acorde con los valores de resistencia de este tipo de materiales. No obstante, el bajo número de pruebas realizadas (ver epígrafe 6.3.4.1. Ensayo de Carga Puntual) puede restar fiabilidad a los resultados. A nivel orientativo, se estima que la resistencia a compresión simple en estado sano es muy alta (>1500 Kp/cm<sup>2</sup>). Presentan un grado de alteración superficial variable, siendo éste importante en zonas de fracturas.

- Características constructivas

1. Condiciones de cimentación. Según el Código Británico, la carga admisible para este tipo de rocas en estado sano es de  $109 \text{ Kp/cm}^2$ , mientras que la Norma DIN 1054 establece presiones admisibles no inferiores a  $30 \text{ Kp/cm}^2$ ; en los niveles superficiales alterados y degradados, estos valores disminuyen notablemente. Por lo tanto, pueden considerarse, tomando valores conservadores, cargas admisibles superiores a  $80 \text{ Kp/cm}^2$ , es decir una capacidad portante muy alta. La cimentación se realizará sobre roca inalterada, por debajo del espesor del regolito. No se esperan problemas de cimentación.
2. Condiciones para obras de tierra.

Excavabilidad. Los niveles superficiales se consideran como Terreno Medio-Duro. En profundidad se requerirá el uso de explosivos.

Estabilidad de taludes. Los taludes naturales están en equilibrio. En estado sano, son materiales muy estables, admitiendo taludes verticales. Ocasionalmente, en función del grado y estado de las diaclasas, puede existir algún bloque en estado crítico, que se estabilizará con bulones y anclajes.

Empuje sobre contenciones. No serán necesarias.

Aptitud para préstamos. Según el PPTG los niveles sanos constituyen Suelos Aptos.

Aptitud para explanada en carreteras. Son Suelos Aptos (adecuados y seleccionados) que constituyen explanadas de tipo E-3.

Obras subterráneas. En estado sano, se encuadran en Clase I (RMR=81-100). Para anchuras de tunelación moderada (3-8 m) no se esperan problemas de sostenimiento, aunque éste dependerá en última instancia de la abundancia de familias de litoclasas.

**7.3.4.3. Área II****Zona II<sub>1</sub>**

- Localización

A excepción del sinforme de Etxalar, ocupa la práctica totalidad de la Hoja

- Características geológicas

Se trata sucesiones monótonas de materiales paleozoicos de diferente litología (y por tanto, diferentes propiedades mecánicas) definiendo alternancias rítmicas de pizarras, esquistos, esquistos arenoso con intercalaciones calcáreas y conglomerales.

- Características geotécnicas

La característica fundamental del macizo rocoso de Cinco Villas, que constituye esta zona, es la alternancia de materiales de diferente litología en estratos y capas de espesor variable, factores estos que condicionan decisivamente el comportamiento geomecánico del conjunto. No se dispone de datos que puedan caracterizar geotécnicamente al conjunto de materiales que definen esta zona. A continuación se describen los valores más característicos:

**Cuadro Resumen de Características Geotécnicas (Pizarras inalteradas)**

R.Q.D.	40-60
Grado de Meteorización	2
Qu deducido a partir del Point load test	90,8 Kp/cm <sup>2</sup>

A la vista de los resultados, solo se puede decir que se trata de unas pizarras poco meteorizadas, que presentan una resistencia muy baja (< 250 Kp/cm<sup>2</sup>). No obstante, los valores obtenidos de resistencia a compresión a partir del ensayo de carga puntual (point load test) pueden presentar un margen de error importante, debido al bajo número de ensayos realizados.

Desde el punto de vista hidrogeológico, la presencia de margas, pizarras y niveles arcillosos determina una baja permeabilidad, por lo que no se espera la presencia de agua en profundidad.

- Características constructivas

1. Condiciones de cimentación: La Norma DIN 1054 y el Código Británico establecen presiones admisibles del orden  $20 \text{ kp/cm}^2$ , valores estos que deben reducirse a la mitad cuando el espesor de los tramos margosos aumenta o la disposición de la estratificación, pizarrosidad y grado de diaclasado son desfavorables. Se estima que la capacidad portante de estos materiales se sitúa entonces entre  $6$  y  $10 \text{ kp/cm}^2$ , valores suficientes para el caso de edificios habituales en los que las cargas proyectadas son inferiores a  $3 - 4 \text{ kp/cm}^2$ .

El tipo de cimentación será en general superficial, previa eliminación del horizonte de alteración. Será necesario el empleo de zapatas corridas cuando sea necesario mitigar los efectos (asientos, punzonamiento) que la heterogeneidad litológica provoca por la presencia de niveles poco competentes entre niveles resistentes. Habrá que estudiar las características y disposición espacial de la estratificación y diaclasado, cuando los apoyos se realicen próximos a taludes, y recurrir en caso necesario a trabajos de anclaje y bulonado para garantizar su estabilidad.

2. Condiciones para obras de tierra.

Excavabilidad. Se trata de Terrenos Duros, atacables por medios mecánicos. Las margas, arcillas y niveles calcomargosos son en general ripables.

Estabilidad de taludes. Son un conjunto de materiales que presentan una estabilidad media. Se pueden producir puntualmente desprendimientos superficiales de los niveles margosos muy laminados, y fenómenos de vuelco de estratos.

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

Aptitud para préstamos. Las arcillas, margas y calizas margosas se consideran No Aptas para su uso en terraplenes y pedraplenes. Los niveles de areniscas, calizas y cuarcitas constituyen por el contrario, Terrenos Adecuados y Seleccionados. Las pizarras requieren un estudio especial.

Aptitud para explanada en carreteras. En el caso de desmontes en roca, la categoría de la explanada en calizas, areniscas y cuarcitas es la E-3, mientras que las margas, arcillas y calizas margosas requerirán la extensión sobre ellas 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 II<sub>2</sub>**

- Localización

Afloran en el Señorío de Bertiz, en niveles lenticulares dentro de la serie pelítica. Los mayores afloramientos, sin embargo aparecen, en la zona oriental de la Hoja, en los relieves del collado de Equisaroy y Bular.

- Características geológicas

Está constituido por un variado conjunto de materiales carbonatados competentes del Paleozoico, que suponen un cambio litológico y sedimentario importante con respecto a los materiales pelíticos de la unidad anterior. Está integrada por calizas masivas y tableadas, junto con un nivel muy fino de silexitas que se encuentra asociado a las calizas tableadas.

- Características geotécnicas

No existen ensayos de laboratorio que ayuden a precisar las características geomecánicas de estos materiales. No obstante, a nivel orientativo, se estima que la resistencia a compresión simple en estado sano es buena ( $>250 \text{ Kp/cm}^2$ ).

En general, la resistencia del macizo rocoso dependerá del grado de carstificación y de la abundancia y naturaleza de las discontinuidades.

- Características constructivas

1. Condiciones de cimentación. El tipo de cimentación será superficial, previa eliminación del horizonte de alteración. Presentan una buena capacidad portante, superior a los valores requeridos para la cimentación de edificios habituales, pudiéndose aplicar cargas superiores a  $30 \text{ Kp/cm}^2$  (Código Británico, Norma DIN-1054).

Un aspecto importante en estos materiales es el grado de carstificación que presentan, para poder evaluar el riesgo local de subsidencia y colapsos del terreno. Aunque la ocurrencia tan dilatada de estos fenómenos en el tiempo resulta poco significativa, es importante evaluarlo para cada caso puntual.

2. Condiciones para obras de tierra.

Excavabilidad. Son materiales Duros, por lo que su excavación precisa el empleo de explosivos. El nivel superficial de alteración es fácilmente excavable.

Estabilidad de taludes. Presentan una estabilidad Alta. Al diseñar un talud habrá que prestar especial atención a la orientación de la estratificación respecto a la del talud ante el peligro de descalces y caída de bloques.

Empuje sobre contenciones. No serán necesarias.

Aptitud para préstamos. Se consideran Terrenos Aptos.

Aptitud para explanada en carreteras. Constituyen Terrenos Adecuados y Seleccionados para coronación de terraplenes y pedraplenes. En desmontes en roca constituyen explanadas de tipo E-3.

Obras subterráneas. Se encuadran como materiales de la Clase II y Clase III (Media y Buena). Para anchuras de tunelación moderadas (0-8m) no se esperan problemas de sostenimiento.

### **Zona II<sub>3</sub>**

- Localización

Aparece únicamente en dos afloramientos de muy difícil observación en el señorío de Bertiz y en la zona del barranco Infernako.

- Características geológicas

Se trata de areniscas muy blancas de edad Sigeniense.

- Características geotécnicas

En esta ocasión no se dispone de ensayos de campo que permitan establecer las características geotécnicas del conjunto. No obstante, a nivel orientativo, se estima que la resistencia a compresión simple en estado sano es buena ( $>250 \text{ Kp/cm}^2$ ).

- Características constructivas

1. Condiciones de cimentación. La Norma DIN 1054 y el Código Británico establecen presiones admisibles del orden  $20 \text{ kp/cm}^2$ . Se estima que la capacidad portante de estos materiales se sitúa entonces entre  $6$  y  $10 \text{ kp/cm}^2$ , valores suficientes para el caso de edificios habituales en los que las cargas proyectadas son inferiores a  $3 - 4 \text{ kp/cm}^2$ .

El tipo de cimentación será en general superficial, previa eliminación del horizonte de alteración. Será necesario el empleo de zapatas corridas cuando sea necesario mitigar los efectos (asientos, punzonamiento) que la heterogeneidad litológica provoca por la presencia de niveles poco competentes entre niveles resistentes. Habrá que estudiar las características y disposición espacial de la estratificación y diaclasado, cuando los apoyos se



realizen próximos a taludes, y recurrir en caso necesario a trabajos de anclaje y bulonado para garantizar su estabilidad.

## 2. Condiciones para obras de tierra.

Excavabilidad. Son materiales Duros, por lo que su excavación precisa el empleo de explosivos. El nivel superficial de alteración es fácilmente excavable.

Estabilidad de taludes. Presentan una estabilidad Alta. Al diseñar un talud habrá que prestar especial atención a la orientación de la estratificación respecto a la del talud ante el peligro de descalces y caída de bloques.

Empuje sobre contenciones. No serán necesarias.

Aptitud para préstamos. Son Terrenos Adecuados y Seleccionados.

Aptitud para explanada en carreteras. En el caso de desmontes en roca, la categoría de la explanada en estas areniscas es la E-3.

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

### **7.3.4.4. Área III**

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

- Localización

Aparece ampliamente representada en el borde, conglomerados, y núcleo del Sinforme de Etxalar, entre Orizqui y Ezkurbi, donde son areniscas.

- Características geológicas

Está constituido por conglomerados y areniscas rojas en facies Buntsandstein. Los conglomerados se localizan a base, presentan cantos redondeados de cuarzo y

cuarcita, y se encuentran muy cementados. Las areniscas son de composición cuarcítico-micácea, con cemento silíceo y ocasionalmente ferruginoso.

- Características geotécnicas

En esta ocasión solo se dispone de los ensayos geotécnicos, realizados sobre materiales del Buntsandstein en horizontes profundos no alterados, en hojas próximas, donde las características son similares que en esta Hoja de Vera de Bidasoa. A continuación, se describen los valores más característicos:

Cuadro Resumen de Características Geotécnicas (Roca inalterada)

Densidad	2,74 gr/cm <sup>3</sup>
Meteorización	2
R.Q.D.	80-100 %
Resistencia a Compresión Simple (Qu)	1010 Kp/cm <sup>2</sup>
Qu a partir del Point Load Test	1354 Kp/cm <sup>2</sup>
E. Brasileño ( $\sigma_{tb}$ )	79,1 Kp/cm <sup>2</sup>
Cohesión (c)	1,15 T/m <sup>2</sup>
Ángulo de Rozamiento ( $\phi$ )	23,2° (51 %)

Destacan los altos valores de resistencia obtenidos en el Ensayo de Compresión Simple y en el de Carga Puntual. 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

1. Condiciones de cimentación. El Código de Práctica Británico establece cargas admisibles de 44 Kp/cm<sup>2</sup>. Aún tomando los valores conservadores, la capacidad portante de estos materiales está asegurada a tenor de los resultados obtenidos de los ensayos de resistencia a tracción y a compresión. 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.

2. Condiciones para obra de tierra.

Excavabilidad. Los niveles superficiales, por su alteración y diaclasado son 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 zonas de alteración fuerte de las areniscas. Pueden esperarse empujes de tipo Medio.

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 III<sub>2</sub>**

- Localización

Únicamente dos afloramiento de pequeñas dimensiones aparecen de esta unidad. Ambas se localizan en el núcleo del Sinforme de Etxalar y se corresponden con calizas de la Facies Muschelkalk.

- Características geológicas

Está constituido por un conjunto de materiales carbonatados competentes del Mesozoico, que engloban las calizas y dolomías del Muschelkalk; brechas, y calizas del Cretácico.

- Características geotécnicas

Se dispone de ensayos de laboratorio referentes al nivel de alteración superficial y de ensayos de resistencia a compresión realizados en niveles profundos inalterados. Aunque no realizados directamente en la zona y en unidades ligeramente diferentes, los valores que se describen a continuación pueden servir de:

Cuadro Resumen de Características Geotécnicas (nivel de alteración superficial)

Humedad (W)	30,5 %
Contenido en Grava (>5mm)	1,2 %
Contenido en Arena (5-0.08mm)	3,6 %
Contenido en Finos (<0.08mm)	95,2 %
Límite Líquido (WL)	47,9
Límite Plástico (WP)	28,2
Índice de Plasticidad (IP)	19,7

---

Clasificación de Casagrande	CL-ML-OL
Clasificación ASSHTO	A-7-5-/A-7-6
Grado de Meteorización	3-4
Densidad <small>PROCTOR</small>	1,65 gr/cm <sup>3</sup>
Humedad <small>PROCTOR</small>	19,1 %
CBR <small>95 % Densidad PROCTOR</small>	1,12
CBR <small>100 % Densidad PROCTOR</small>	1,72
E. Molinete	0,82 Kp/cm <sup>2</sup>

## Cuadro Resumen de Características Geotécnicas (Roca Inalterada)

R.Q.D.	60-80 %
Grado de Meteorización	1-2
Resistencia Compresión Simple (Qu)	361 Kp/cm <sup>2</sup>
Qu a partir del Point Load Test	672,2 Kp/cm <sup>2</sup>

Los resultados de los ensayos en el horizonte superficial alterado nos muestran un conjunto de arcillas y limos orgánicas e inorgánicas, de consistencia media y plasticidad de baja a media, que pueden experimentar cambios de volumen importantes. Presentan un límite líquido próximo a 50 (en algunos casos mayor) y baja capacidad portante, por lo que su comportamiento como material de préstamo en explanadas es malo. los niveles inalterados presentan una buena resistencia a compresión (>250 Kp/cm<sup>2</sup>).

- Características constructivas

1. Condiciones de cimentación.

El tipo de cimentación será superficial, previa eliminación del horizonte de alteración. Presentan una buena capacidad portante, superior a los valores requeridos para la cimentación de edificios habituales, pudiéndose aplicar cargas superiores a 30 Kp/cm<sup>2</sup> (Código Británico, Norma DIN-1054).

Un aspecto importante en estos materiales es el grado de carstificación que presentan, como puede observarse en la zona de Zugarramurdi, para poder evaluar el riesgo local de subsidencia y colapsos del terreno. Aunque la ocurrencia tan dilatada de estos fenómenos en el tiempo resulta poco significativa, es importante evaluarlo para cada caso puntual.

## 2. Condiciones para obras de tierra.

Excavabilidad. Son materiales Duros, por lo que su excavación precisa el empleo de explosivos. El nivel superficial de alteración es fácilmente excavable.

Estabilidad de taludes. Presentan una estabilidad Alta. Al diseñar un talud habrá que prestar especial atención a la orientación de la estratificación respecto a la del talud ante el peligro de descalces y caída de bloques.

Empuje sobre contenciones. No serán necesarias.

Aptitud para préstamos. Se consideran Terrenos Aptos.

Aptitud para explanada en carreteras. Constituyen Terrenos Adecuados y Seleccionados para coronación de terraplenes y pedraplenes. En desmontes en roca constituyen explanadas de tipo E-3.

Obras subterráneas. Se encuadran como materiales de la Clase II y Clase III (Media y Buena). Para anchuras de tunelación moderadas (0-8m) no se esperan problemas de sostenimiento.

**Zona III<sub>3</sub>**

- Localización

Se localiza ún único afloramiento de arcillas y yesos tríasico. Esta situado en el núcleo del sinforme de Etxalar, en la cabecera del barranco de Ezcurbi.

- Características geológicas

Esta zona está definida por arcillas y yesos, del Buntsandstein y arcillas yesíferas del Triásico superior en facies Keuper.

- Características geotécnicas

Su comportamiento geotécnico es complejo. Como en el resto de unidades, no hay datos de ensayos realizados en estas zonas, aunque en zonas próximas sí se han realizado ensayos en niveles profundos no alterados. A continuación, se describen los valores más característicos:

**Cuadro Resumen de Características Geotécnicas (Roca inalterada)**

Densidad seca	1,96 gr/cm <sup>3</sup>
Humedad (W)	11,71 %
Contenido en Grava (>5mm)	0,4 %
Contenido en Arena (5-0.08mm)	39,8 %
Contenido en Finos (<0.08mm)	59,8 %
Límite Líquido (WL)	27,1
Límite Plástico (WP)	17,39
Índice de Plasticidad (IP)	9,71

---

Meteorización	2-5
Clasificación de Casagrande	CL/CL-ML
Clasificación ASSHTO	A-6/A-2-4
Índice de Grupo	4-9
Resistencia a Compresión Simple (Qu)	4,81-24,05 Kp/cm <sup>2</sup>
Qu a partir del Point Load Test	805 Kp/cm <sup>2</sup>

Los análisis granulométricos se han realizado en niveles detríticos. Se trata de arcillas y limos de baja plasticidad y consistencia media, que experimentan cambios de volumen importantes, y cuyo comportamiento en carreteras es en general malo, a excepción de los niveles detríticos, cuyo comportamiento como explanada es bueno a excelente. En superficie se reconoce una alteración y estructura más floja. El grado de meteorización es muy variable, disminuyendo con la profundidad.

Los ensayos de carga puntual (point load test) se han realizado in situ con muestras de gran profundidad. La dispersión de valores de resistencia muestra el aumento de este parámetro con la profundidad a medida que aumenta la competencia del material, desde los 4,81 Kp/cm<sup>2</sup> a profundidades inferiores a 30 m; 24,05 Kp/cm<sup>2</sup> a 90 m; y, 805 Kp/cm<sup>2</sup> a profundidades superiores a 140 m. Lo mismo sucede con el R.Q.D.

- Características constructivas

1. Condiciones de cimentación. Estos materiales carecen de atractivo desde el punto de vista constructivo, debido a la presencia de yesos y su carácter diapírico. El Código de Práctica Británico, establece presiones admisibles variables entre 0,75 y 3 Kp/cm<sup>2</sup>, esperándose asentamientos de consolidación a largo plazo, y la Norma DIN 1054 de 2,3-3 Kp/cm<sup>2</sup>. La capacidad portante es suficiente, a tenor de las cifras de resistencia a compresión. En estas condiciones el tipo de cimentación más probable es el superficial, previa eliminación del horizonte superficial de alteración.



La alta agresividad al hormigón, aconseja realizar análisis sistemáticos del contenido en sulfatos. Pueden producirse asentamientos diferenciales debido a variaciones del grado de alteración superficial. La impermeabilidad de estos materiales puede provocar encharcamientos en superficie durante la ejecución de las obras de cimentación, lo que acentuaría los problemas de agresividad. Por último, este tipo de terrenos presenta un alto riesgo de hundimientos y colapsos por procesos de disolución.

## 2. Condiciones para obras de tierra.

**Excavabilidad.** Los niveles superficiales alterados, de estructura más floja, son fácilmente excavables hasta una profundidad difícil de determinar. En estado sano, se consideran Terrenos Medios; su excavación podrá realizarse por medios mecánicos sin problemas.

**Estabilidad de taludes.** Desde el punto de vista litológico son muy inestables, por lo que este efecto deberá ser contrarrestado con taludes de bajo ángulo (20-30 %). Se deterioran con el tiempo, por lo que deberán adoptarse medidas para reducir la erosión superficial y sus efectos (hidrosiembra, escalonamiento).

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

**Aptitud para préstamos.** Se consideran materiales No Aptos, a lo sumo marginales en cimientos y núcleos de terraplenes.

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

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

### **7.3.4.5. Área IV**

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

- Localización

Los materiales coluvionares están muy desarrollados en toda la Hoja, apareciendo en casi todas las laderas de los relieves, los canchales aparecen a pie de los principales escarpes, aunque frecuentemente estas masas son una mezcla de coluviones y canchales y las masas deslizadas en zonas de alta pendiente y sobre litologías blandas (recubrimientos superficiales y zonas de alteración) o alternantes, como en la zona de Eskuto, en la esquina nororiental de la Hoja.

- Características geológicas

Corresponden a depósitos cuaternarios constituidos por canchales, coluviones, deslizamientos y formas poligénicas. Están formados por arcillas limosas o areniscas con abundantes cantos y gravas de materiales carbonatados y areniscosos que se presentan sueltos, sin ningún tipo de cementación. En el caso de los canchales se trata de una acumulación de bloques muy heterométricos, sin apenas elementos finos. Merecen mención especial las masas deslizadas, que se forman a partir de recubrimientos coluvionares, zonas de alteración superficial y litologías blandas o alternantes.

Sus espesores son muy variables, aunque predominan los de reducido espesor.

- 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	31,6
Contenido en Grava (>5mm)	1,9 %
Contenido en Arena (5-0.08mm)	4,3 %
Contenido en Finos (<0.08mm)	93,8 %
Límite Líquido (WL)	51,4
Límite Plástico (WP)	27,7
Índice de Plasticidad (IP)	23,7
Densidad PROCTOR	1,51 gr/cm <sup>3</sup>
Humedad PROCTOR	18,5 %
CBR 95 % Densidad PROCTOR	4,93
CBR 100 % Densidad PROCTOR	8,1
Clasificación de Casagrande	CH-MH-OH
Clasificación ASSHTO	A-7-5/A-7-6
Grado de Meteorización	4
E. Molinete	0,96 Kp/cm <sup>2</sup>
Contenido en Carbonatos	0,82 %

Teniendo en cuenta estos datos, los materiales analizados están constituidos por suelos limo-arcillosos de alta plasticidad, que presentan un cierto contenido en grava y arena, así como en materia orgánica. Presentan consistencia media, baja capacidad portante y importantes cambios de volumen, por lo que su comportamiento en explanadas puede calificarse como de regular a malo.

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

- Características constructivas

1. Condiciones de cimentación. Se consideran cargas admisibles entre 1,5-2 Kp/cm<sup>2</sup>. En general, se debe cimentar sobre el sustrato rocoso, mediante cimentación superficial o semiprofunda por pozos, todo ello en función de la profundidad de los materiales, con el fin de evitar posibles fenómenos de inestabilidad, sobre todo en áreas con pendientes apreciables. Hay que prestar atención al contenido en humedad ante la posibilidad de cambios volumétricos.

2. 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 de baja estabilidad. Taludes de alturas superiores a 4 m no deberán superar los 30°.

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

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

Aptitud para explanada en carreteras. En desmontes en roca, para conseguir categoría de explanada tipo E-3 precisarán la extensión sobre ellos de un firme seleccionado.

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 IV<sub>3</sub>**

- Localización

Constituyen los depósitos fluviales y aluviales de los principales valles y barrancos, alcanzando su máxima expresión en el valle río Bidasoa y en su afluente el Tximista.

- Características geológicas

Corresponden a conos de deyección y depósitos de fondo de valle, formados por gravas y cantos de naturaleza calcárea y cuarcítica, arenas, limos y arcillas. Su proporción 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.

- 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 en materiales semejantes en las la Hojas de Sumbilla (90-II) y Arraiz (90-IV). A continuación se resumen los valores más representativos:

#### Cuadro Resumen de Características Geotécnicas

Contenido en Grava (>5mm)	0,8 %
Contenido en Arena (5-0.08mm)	17 %
Contenido en Finos (<0.08mm)	82,2 %
Límite Líquido (WL)	44,1
Límite Plástico (WP)	19,5
Índice de Plasticidad (IP)	24,6

---

Clasificación de Casagrande	CL
E. Penetración Standard	61
E. Molinete	0,41 Kp/cm

A la vista de estos resultados, se puede decir que se trata en general de suelos arcillosos inorgánicos de baja plasticidad, que presentan un cierto contenido en gravas y arenas. Su comportamiento en explanadas se califica de regular a malo.

- Características constructivas

1. 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.

2. 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.

## 8. BIBLIOGRAFÍA

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. .

ALBAREDE, F. y MICHARD-VITRAC, A.1978.“Datation du metamorphisme des terrains secondaires des Pyrénées par les méthodes  $^{39}\text{Ar}$ - $^{40}\text{Ar}$  et  $\text{Rb}$ 87-87Sr. Les relations avec les périodotites associées”.Bull. Soc. Géol de France, 7, XX, 5, (681-687)

AMIOT, M..1982.El Cretácico superior de la región Navarro-Cantábra..“Cretácico de España” Univ.Compl. Madrid

.AZAMBRE, B,;RAVIER,J. Y THIEBAUT, F.1971.“A propos du phénomène de dipyrisation des roches éruptives d'age secondaire des Pyrénées”.C.R. Ac.Sc. Paris, 272,(2137-2139)

BERTRAND, L..1911.Sur la structure géol. des Pyrénées occid. et leurs relations avec les Pyrénées orient. et cent.; essai d'une carte struct. Pyrén..Bull. Soc. Géol. France, 4 sér., 11, pp. 122-153, 6 figs., 1 pl., Paris.

BRINKMANN, V.R.; LOGTERS, M..1967.Die Diapire der Spanischen Westpyreneen und Lhers Vorlander.Beih. Geol. J.b. 66

CAMARA, P. y KLIMOWITZ, J..1985.Interpretación geodinámica de la vertiente centro-occidental surpirenaica.Estudios geológicos nº 41, 391-404.

CAMPOS, J., GARCIA-DUEÑAS, V., SOLE, J., VILLALOBOS, L..1975.Mapa geologico de España. E. 1:50.000, 2ºser. Hoja nº 65 (Vera de Bidasoa)

CAMPOS, J..1979.“Estudio geológico del Pirineo vasco al W del río Bidasoa”.Munibe,31, 1-2.(3-139)

CAMPOS, K.; LAMOLDA, M y MATHEY, B.1980.“Los términos basales del Cretácico superior del Domo de Fagollaga (Hernani, Guipúzcoa)”.Cuad. De Geol. Ibérica, 5,(327-337)

CAPDEVILLA, R. Y CHOUKROUNE, P..1971.“Sur la presence de filons á zeolites et préhnite dans le secondaire metamorphique de la zone nord-pyrénéenne orientale”.C.R., somm. Soc. Géol. De France, 5 (227-278)

CASTIELLA, J.; SOLE, J. y DEL VALLE, J..1978.Memoria Explicativa de la Hoja 1:200.000. Mapa Geológico de Navarra..Servicio Geológico, Diputación Foral de Navarra.

CASTIELLA, J.; SOLE, J.; NIÑEROLA, S. y OTAMENDI, A..1982.Las aguas subterráneas en Navarra. Proyecto hidrogeológico.Diputación Foral de Navarra, 230 pp.



CIRY, R..1951.Observations sur le Crétacé de la Navarre espagnole au nord-ouest de Pamplone..C.R. Acad. Sc., 233, pp. 72-74, Paris.

CORPAS, J.R..1991.Guía de Navarra..Ed. El País-Aguilar, 231 pp., Madrid..CHOURKROUNE, P..1972. "Relations entre tectonique et métamorphisme dans les terrains secondaires de la zone nord-pyrénéenne centrale et orientale".Bull. Soc. Géol. De France, 7, XIV, (3-11)

CHOUKROUNE, P..1976."Structure et evolution tectonique de la zone nord-pyrénéenne. Analyse de la deformation dans une portion de chaine a schistosité subvertical".Mém. Soc. Géol de France, Lv,7, 127, 116 pp.

DEBROAS, E.J..1976."Nouvelles observation sur les relations entre métamorphisme et tectonique dans les terrains secondaires des Pyrénées".C.R. Acad. Sc. Paris, 283 D. (1707-1710)

DONEZAR, M.; ILLARREGUI, M.; DEL VAL, J. y DEL VALLE DE LERSUNDI, J..1990.Mapas de erosión actual y erosión potencial en Navarra, a escala 1:200.000..Inst. Suelo y Conc. Parc. de Navarra - I.T.G.E.

EGUILUZ, L.; GARROTE, A.; LLANOS, H..1982.El metamorfismo de los materiales mesozoicos en la prolongación occidental de la falla nordpirenaica (sector de Leiza, Navarra).Bol. Soc. Esp. Min. 6, 81-91

EWERT, F.K..1964.Geologie des Südteiles des Baskischeu Pyrenäen..Diss. Univ. Münster, pp 223. Münster.

FACI, E.; CASTIELLA, J.; DEL VALLE, J.; GARCIA, A.; DIAZ, A.; SALVANY, J.M.; CABRA, P. y RAMIREZ, J..1992.Actualización del Mapa Geológico de Navarra a escala 1:200.000..Gobierno de Navarra.

FEUILLEE, P..1965.Contribution á la connaissance du Crétace moyen du Nord et de l'Oueste de la Navarre espagnole..Actes 4º Congrès Intern. Etudes Pyrénéenes, Pau-Lourdes, 11,16 sept.1962, 1, sect.1, pp.

FEUILLEE, P., SIGAL, J..1965.Le transgression du Crétacé supérieur (flysch nord-pyrénéen) sur le massif des Cinco-Villas (Pyrénées basques)..Bull. Soc. Géol. De France, 7, VII, (15-55)

FEUILLEE, P..1967.Le Cenomanien des Pyrénées basques aux Asturies. Essai d'analyse stratigraphique.Mem. Soc. Géol. Fr. 108

FEUILLEE, P.; RAT, P..1971.Structures et paleogeographie pyreneo-cantabrique..En Hist.Struct. du Golle de Gascogne, Ed. Technip. Paris 2

FEUILLEE, P..1971.Les calcaires biogéniques de l'albien et du cenomanien pyrénéo-cantabrique: Problèmes d'environnement..Palaeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 9

FLOQUET, M.; MATHEY, B.; ROSSÉ, P.; VADOT, J.P..1988.Age céno manien et turonoconiacien des calcaires de Sare (Pays basque). Conséquences paléomorphologiques et tectonogénétique pour les Pyrénées occidentales..Bull. Soc. Géol Fr., (8), 6.

FONTBOTE, L..1981.Strata-bound Zn-Pb-f-Ba, deposits in carbonate rocks: new aspects of paleogeographic location.Inaugural Diss. Ruprecht Karl-Universitat

GALDANO, A..1980.Sur l'existence d'accidents transversaux a la chaine pyrénéenne: apports des sondage geomagnetiques profonds dans le Pays Basque.C.R. Acad. Sc. Paris 290

GALLART, J.; BANDA, E.; DAIGNIERES, M..1981.Crustal structure of the Paleozoic Axial Zone of the Pyrenees and transition to the North Pyrenean Zone.Ann. Geophys 35

GARCIA - MONDEJAR, J..1982.Aptiense - Albiense..In: El Cretácico de España. Univ. Compl. Madrid, pp 63-84.

HEDDEBAUT, C..1965.Recherches stratigraphiques et paleontologiques dans le massif des Aldudes (Basses - Pyrénées)..Bul. Soc. Geol. France, 7.

HEDDEBAUT, C..1967.Observations tectoniques sur le massif des Aldudes (Basses Pyrénées)..C.R. Somm Seances Soc. Geol. France.

HEDDEBAUT, C..1970.Sur l'age des formations paleozoïques du Massif du Cinco Villas..C.R. Somm. Sc. Geol. France. T.6

HEDDEBAUT, C..1973.Études géologiques dans les massifs paleozoïques basques.Thèse. Univ. Sc. Tech. Lille, 263 pp.

HEDDEBAUT, C..1975.Études géologiques dans les massifs paleozoïques basques.Bulletin du B.R.G.M., Section IV, n° 1

I.T.G.E..1990.Mapa del Cuaternario de España a escala 1:1.000.000

ITGE-ENRESA.Inédito.Mapa Neotectónico y Sismotectónico de España a escala 1:1.000.000

LAMARE, P..1927.Sur la structure des Pyrénées navarraïsses..C.R. XIV° Congr. Geol. Intern., T. 2, p. 693-698, Madrid.

LAMARE, P..1931.Les éléments structuraux des Pyrénées basques d'Espagne. Essai de synthese tectonique..Bull. Soc. Geol. Fr. (5) 1,95-130

LAMARE, P..1928.Sur un tipe d' accident tectonique affectant les plis de fond pyrénées du Pays Basque Espagnol..C.R. ac. Sc. Paris 187

LAMARE, P..1932.Sur l'age des couches á facies flysch de la zone sudpyrénéenne en Navarra..C.R. Somm. S.G.F., 4 mai 1931, 9-10, 107-109, Paris.

LAMARE, P..1936.Recherches géologiques dans les Pyrénées Basques d'Espagne..Mem. Soc. Geol. France (N.S.) 12, 27; pp 464. Paris.

LAMARE, P..1954.Superposition des mouvements orogéniques anté-Aptiense, anté-cénomaniens et éocènes sur la lisière septentrionale des Pyrénées Basques.C.R. somm. Soc. Géol. France, 5 (110-113)

LOTZE, F..(1930-31).Nordostlich gerichtete strukturelemente im bau der Westpyrenaen.Narch Ges. d. Wiss. Gottingen, Math-Phys. Kl.,(1-13)

LOTZE, F..1932.Sur l'age des mouvements ayand donné naissance á la nappe des marbres des Pyrénées navarraises.C.R. somm. Soc. Géol. De France, 5,(101-103)

LOTZE, F..1946.Sobre los cambios de vergencia con ejemplo del Pirineo occidental..Pub. Extr, sobre Geol. De España. III (271-283)

LUCAS, C..1987.Estratigrafía y datso morfo-estrcturales sobre el Pérmico y Tríasico de Fosas Norte Pirenaicas.Cuadernos Geología Ibérica. Vol 11.

MARTINEZ TORRES, L.M..1989.El Manto de los Mármoles (Pirineo Occidental): Geología estructural y evolución geodinámica..Tesis doctoral. Univ. País Vasco. 290 pp.

MARTINEZ TORRES, L.M..1997.Transversal a la Cuenca Vasco-Cantabrica: Introducción a la estructura y evolución geodinámica..IX Reunión de la Comisión de Tectónica de la S.G.A.E..Servicio editorial Universidad Pais Vasco

MATHEY, B..1983.Le systeme du flysch calcaires.Mem. Geol. Univ. Dijon. 9

MATTAUER, M.; PROUST, F. Y RAVIER, J..1964.Remarques sur l'age du metamorphisme pyrénéenne..C.R. somm. Soc. Géol. De France, 3, (129-130)

MATTAUER, M. y SEGURET, M..1971.Les relations entre la chaîne des Pyrénées et le Golfe de Gascogne..In: Histoire structurale du Golfe de Gascogne, t 1. Publ. Inst. Français Pétrole. Ed. Technip. Pp. IV-4-1 a IV-4-24.

.MENSUAS, S..1960.La Navarra media oriental. Estudio geográfico..Inst. Príncipe de Viana, Dep. Geol. Aplic. Zaragoza, Serv. Reg. 8, 186, pp., 40 figs. y 25 láminas.

MIROUSE, R..1967.Le Dévonien des Pyrénées occidentales et Centrales (France)..Interm. Sympos. Devonian System. Vol., I, pp. 153-170, 1 fig., Calgary.

MOHR, R. y PILGER, A..1965.Das Nord-Süd-streichende Lineament von Elizondo in den westlichen Pyrenäen..Geol. Rdsch., 54 (1964), 2, s. 1044-1060, 7 Abb., Stuttgart.

MONTIGNY, R.; AZAMBRE, B.; ROSSY, M.y THOIZAT, R..1986.K.Ar study of cretaceous magmatism and metamorphism in the Pyrenees: age and length of rotation of the Iberian - peninsula.Tectonophysics.129, (257-273)

MULLER, J..1967.Sur la superposicion des déformations dans les Pyrénées occidentales..C.R. Acad. Sc. 265, Sér. D. pp. 400-402, Paris.

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.

OTERO MAZO C..1978.Ensayos de laboratorio en la mecánica de Rocas.Boletín del Laboratorio del Transporte y Mecánica del Suelo nº 127

PEÑA, J.L..1984.Geomorfología de la provincia de Teruel.Instituto de Estudios Turolenses. Teruel.

RAMIREZ DEL POZO, J..1971.Bioestratigrafía y facies del Jurásico y Cretácico del norte de España.Mem.del I.G.M.E..

RAMIREZ, I.; OLIVE, A.; VILLALOBOS, L.; SOLE, J..1986.Mapa geologico de España. E. 1:50.000, 2ºser. Hoja nº 89 (Tolosa)

RAT, P..1959.Les Pays Basco Cantabriques.Thesis. Fac. Sc. Univ. Dijon T18

RAT. P..1963.Problemes du Cétacé inferieur dans les Pyrénées et le nord de l'Espagne.Sonderd Geol. Rundschau nº53

RAT. P..1983.Une sur le Cretace Basco-Cantabrique et Nord-Iberique..Mem. Geol, Univ. Dijón

RAVIER, J..1959.Le métamorphisme des terrains secondaires des Pyrénées..Mem. Soc. Géol. De France, XXXVIII, 2-3, 86, 250 pp

RAZIN, P..1989.Évolution tecto-sédimentaire alpine des Pyrénées Basques a l'ouest de la transformante de Pamplona..Thèse, Univ. Bordeaux III, Bordeaux, 463 pp

REQUADT, M..1974.Aperçu sur la stratigraphie et le facies du Devonien inferieur et moyen dans les Pyrénées Occidentales d'Espagne..Pirineos, III

RIBA, O..1974.Tectogénesis et sédimentation: deus modèles de discordances syntectoniques pyrénéennes..Bull. B.R.G.M., 2,I,4, (384-401)

RICATEU, R. Y CHOUKROUNE, P..1970.Les consequences structurales de la présence de Crétace supérieur dans la zone nord-pyrénéenne ariégeoise..C.R. somm. Soc. Géol. De France. 6, (190-191)

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.

SCHOTT, J.J..1985.Paleomagnetisme des séries rouges de Permien, du Trias et du Crétacé inférieur dans les chaines pyrénéo-cantabriques et nord-ouest ibériques. Implications géodynamiques.Thèse, Univ. Louis Pasteur, Strasbourg, 328 pp

SIBSON, R.N..1977.Fault rocks and fault mechanisms.J. Geol. Soc. London, 133

SOLER y JOSE, R..1972.El Jurásico y Cretácico inferior de Leiza y Tolosa..Bol. Geol. Min. T. 83, VI

SOUQUET, P..1967.Le Crétace Supérieur sud-pyrénéen en Catalogne, Aragon et Navarre.Thèse Doct. Sc. Nat. Arch. Orig. Centre Docum. C.N.R.S. Nr. 1.351, 488 p., 13 Cartes, 86 pl.,Toulouse 1967 (édit privat., 529, p., 29 pl. Toulouse, 1967).

TEIXELL, A..1992.Estructura Alpina en la transversal de la terminación occidental de la zona Axial Pirenaica..Tesis Doctoral, Departamento de Geología Dinámica, Geofísica y Paleontología..Facultad de Geología, Universitat de Barcelona.

VAN DER VOO, R; BOESSENKOOL, A..1973.Permian paleomagnetic result from the Western Pyrenees, delieating the boundary between de Iberian Peninsula and Stable Europe..Jour. Geophys, Research. 78 (5118-5127)

VILLALOBOS, L.y RAMIREZ, J..1974.Contribución al estudio del Cretácico superior de facies flysch de Navarra..Pirineos III.

VOLTZ, H..1964.Zur Geologie der Pyrenaiden im Nordwestlichen. Navarra-Spanien..Tesis, Munster-Diss, 192 äpp

WALGENWITZ, R..1976.Etude petrol. des roches intrusives trias. des ecailles du socle profond et gîtes de chlorite de la region d'Elizondo (Nav., Espag.)..These de l'Université de Besangou, pp. 172.

WINNOCK, E..1971.Geologie succincte du bassin d'Aquitaine (contribution á l'histoire du Golfe de Gascogne)..En "Hist. Struc. du Golfe ed Gascogne, DE. Technip, Paris, (IV.1.1 . IV. 1-30)

ZUAZO, J.A..1986.Geologia del sector central del Arco Vasco (entre los meridianos de Tolosa y Berastegui).Tesis de Licenciatura, Univ. País Vasco, 125 pp.