



**Gobierno de Navarra**  
Departamento de Obras Públicas,  
Transportes y Comunicaciones

CARTOGRAFÍA GEOLÓGICA DE NAVARRA  
ESCALA 1:25.000

**HOJA 65-I**  
**VENTAS DE IRÚN**

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 .....	5
2.1.1. Devonico-Carbonífero .....	5
2.1.1.1. Esquistos, pizarras y grauwacas alternantes (nivel 64). Frasnense-Wesfaliense .....	5
2.1.1.2. Calizas masivas (nivel 65). Frasnense-Namuriense .....	6
2.1.1.3. Análisis secuencial del Devónico-Carbonífero .....	7
2.2. MESOZOICO .....	7
2.2.1. Triásico.....	8
2.2.1.1. Conglomerados (nivel 101), areniscas rojas y grises (nivel 103), areniscas y arcillas (nivel 104). Facies Buntsandstein. Triásico inferior. ....	8
2.2.1.2. Análisis secuencial del Triásico .....	10
2.2.2. Cretácico.....	10
2.2.2.1. Areniscas, limos y arcillas (nivel 151). Albiense .....	11
2.2.2.2. Calizas con Toucasia (nivel 168). Albiense-Cenomaniense inferior. ....	11
2.2.2.3. Alternancia de areniscas y arcillas calcáreas (nivel 170). Turoniense-Campaniense. ....	12
2.2.2.4. Análisis secuencial del Cretácico .....	13
2.3. CUATERNARIO .....	15
2.3.1. Holoceno.....	15
2.3.1.1. Acumulación de bloques, arcillas y arenas (nivel 545). Deslizamientos. ....	15
2.3.1.2. Arcillas y areniscas con bloques y cantos (nivel 543). Coluviones. ....	16
2.3.1.3. Arcillas y bloques con arenas (nivel 544). Movimientos de ladera. ....	16
2.3.1.4. Cantos, gravas, arenas y arcillas (nivel 527). Fondos de valle .....	17
2.3.1.5. Cantos, gravas, arenas y arcillas (nivel 536). Conos de deyección. ....	17
<b>3. TECTÓNICA.....</b>	<b>19</b>
3.1. CONSIDERACIONES GENERALES .....	19
3.2. ESTRUCTURAS DEL BASAMENTO PALEOZOICO (OROGENIA HERCINICA).....	21
3.2.1. Descripción de las principales estructuras.....	24
3.3. ESTRUCTURAS DE LA COBERTERA MESOZOICA (OROGENIA ALPINA) .....	25
3.3.1. Descripción de las principales estructuras.....	26
3.4. ESTRUCTURAS ORIGINADAS POR LA INTRUSIÓN GRANÍTICA .....	26
3.5. CRONOLOGÍA DE LA DEFORMACIÓN. ....	28

<b>4. GEOMORFOLOGÍA .....</b>	<b>30</b>
4.1. DESCRIPCIÓN FISIOGRÁFICA .....	30
4.2. ANTECEDENTES .....	31
4.3. ANÁLISIS MORFOLÓGICO .....	32
4.3.1. Estudio morfoestructural .....	32
4.3.2. Estudio del Modelado .....	33
4.3.2.1. Formas de laderas. ....	34
4.3.2.2. Formas fluviales .....	35
4.3.2.3. Formas poligénicas. ....	36
4.3.2.4. Formas antrópicas. ....	37
4.4. FORMACIONES SUPERFICIALES .....	37
4.5. EVOLUCIÓN GEOMORFOLÓGICA .....	39
4.6. PROCESOS ACTUALES .....	40
<b>5. PETROLOGÍA .....</b>	<b>42</b>
5.1. ROCAS FILONIANAS .....	42
5.1.1.1. Cuarzo (nivel 7) .....	42
5.2. ROCAS SUBVOLCÁNICAS .....	42
5.2.1.1. Diabasas (nivel 2) .....	42
5.3. ROCAS IGNEAS. GRANITO DE PEÑAS DE AYA .....	43
5.3.1. Introduccion .....	43
5.3.2. Unidad periferica .....	45
5.3.2.1. Facies equigranular-heterogranular .....	46
5.3.2.2. Facies heterogranular .....	46
5.3.3. Unidad central .....	46
5.3.3.1. Facies gabrodiorítica .....	47
5.3.3.2. Facies granodiorítica .....	47
5.3.3.3. Facies granítica .....	48
5.3.4. Diques .....	48
5.3.5. Aureola de metamorfismo de contacto. ....	49
5.3.6. Metamorfismo regional .....	50
<b>6. HISTORIA GEOLÓGICA.....</b>	<b>52</b>
6.1. EL CICLO HERCÍNICO.....	52
6.2. EL CICLO ALPINO .....	53
<b>7. GEOLOGÍA ECONÓMICA .....</b>	<b>57</b>

7.1. RECURSOS MINERALES.....	57
7.1.1. Minerales metálicos y no metálicos.....	57
7.1.1.1. Mineralizaciones de Siderita, Fluorita, Galena, Esfalerita, Calcopirita . Zn-Pb-F-(Fe) .	57
7.1.1.2. Hierro .....	58
7.1.1.3. Cobre.....	59
7.1.2. Rocas industriales .....	59
7.1.3. Interés potencial de los recursos mineros.....	59
7.2. HIDROGEOLOGÍA .....	60
7.2.1. Introducción .....	60
7.2.2. Descripción hidrogeológica .....	60
7.2.3. Acuíferos principales.....	61
7.2.3.1. Albiense .....	61
7.2.4. Acuíferos secundarios .....	62
7.2.4.1. Acuíferos aislados del Paleozoico (Devónico y Carbonífero) .....	62
7.2.4.2. Buntsandstein .....	62
7.2.4.3. Cretácico superior calcáreo .....	63
7.2.4.4. Cuaternario .....	63
7.2.5. Funcionamiento hidrogeológico .....	64
7.3. GEOTECNIA.....	67
7.3.1. Introducción .....	67
7.3.2. Metodología.....	68
7.3.3. Zonificación geotécnica.....	69
7.3.3.1. Criterios de división .....	69
7.3.3.2. División en Áreas y Zonas Geotécnicas.....	69
7.3.4. Características geotécnicas.....	71
7.3.4.1. Introducción .....	71
7.3.4.2. Área I .....	81
7.3.4.3. Área II .....	85
7.3.4.4. Área III .....	89
7.3.4.5. Área IV .....	100
<b>8. BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>106</b>

## 1. INTRODUCCIÓN

La Hoja a escala 1:25.000 de Ventas de Irún (65-I), es el primer cuadrante de la Hoja a escala 1:50.000 de Vera de Bidasoa (65). Además del territorio que pertenece a la Comunidad Foral de Navarra, en esta hoja se incluyen territorios pertenecientes a la provincia de Guipúzcoa, en la parte noroccidental y a Francia, hacia el norte.

Desde el punto de vista topográfico, 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, en su parte Navarra, se encuentra en el monte Lizartako-Gana, en el límite con la provincia de Guipúzcoa, con 832 mts. de altitud, mientras que las mínimas alturas se encuentran en el puente de Endarlatza, en la salida del valle de río Bidasoa, donde la cota es menor de 10 metros, siendo este el punto mas bajo de Navarra.

El río Bidasoa es el principal de la red fluvial en esta Hoja y todo el territorio navarro de esta hoja pertenece a su cuenca, incluida en la vertiente cantábrica. Su afluente principal en esta zona es el Río Endara, que en parte, sirve de límite con la vecina provincia de Guipúzcoa. Este río es el principal recolector de las precipitaciones de todo el macizo de Peñas de Aya. En su valle se localiza el embalse del mismo nombre.

La densidad de población es muy baja, ya que a excepción de la localidad de Vera de Bidasoa, cuyas primeras edificaciones aparecen en su borde oriental, no existe ningún otro núcleo urbano perteneciente a Navarra. En el resto de la hoja perteneciente a la Comunidad Foral solamente aparecen caseríos dispersos, existiendo zonas totalmente despobladas en el macizo de Peñas de Aya, donde las condiciones naturales del terreno no favorecen los asentamientos humanos

La red de comunicaciones es escasa, únicamente existe una carretera principal, la NA-121-A, que comunica Pamplona con Irún, siguiendo el curso del río Bidasoa. El resto de carreteras son de menor entidad, como la que conduce de Lesaka a Oyarzun,

que atraviesa Peñas de Aya en un sinuoso trazado, aunque existen numerosas pistas y caminos forestales que recorren toda la zona.

Geológicamente, la Hoja de Ventas de Irún forma parte de la Zona Norpirenaica, separada de la zona sur por la falla Norpirenaica, situada al Sur. En su parte Navarra, la hoja se puede dividir en dos grandes dominios geológicos: El macizo granítico de Peñas de Aya y el macizo paleozoico de Cinco Villas. La hoja está atravesada de Oeste a Este por la falla de Aritxulegui, que divide el stock granítico de Peñas de Aya y se resuelve, en la zona Este de la Hoja en dos accidentes tectónicos, la falla de Vera y el cabalgamiento de Zalain, que individualizan la depresión de Vera-Zugarramurdi, un sinclinal cretácico cuyas primeras manifestaciones aparecen en esta hoja, cerca ya de la población de Vera de Bidasoa.

El macizo granítico de Peñas de Aya aflora en toda la zona occidental de la Hoja en su parte Navarra. Con una extensión de aproximadamente 75 km<sup>2</sup>, se presenta encajado en depósitos carboníferos, mediante contactos netos. En él se distinguen dos zonas de petrografía diferenciada. Una interna correspondiente a granitos calcoalcalinos y otra externa de carácter leucogranítico.

El macizo paleozoico de Cinco Villas forma parte de la zona Axial de la cordillera Pirenaica. Este orógeno pirenaico, a grandes rasgos, 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, zona a la que pertenece esta hoja de Ventas de Irún. Flanqueando a la zona axial, se disponen las zonas Nor y Surpirenaica, constituidas por materiales mesozoicos y paleógenos, intensamente plegados, que integran la cobertera.

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.

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. El stock granítico de Peñas de Aya, que ocupa toda la zona occidental de la Hoja, 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 todas se ha realizado la pertinente actualización cartográfica y geológica teniendo en cuenta 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 Macizo de Cinco Villas, 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 cuencal. 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 Ventas de Irún 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. La parte occidental de esta Hoja, en su límite con la provincia de Guipúzcoa esta ocupada por el stock granítico de Peñas de Aya.

El Paleozoico aparece representado en el dominio estructural del macizo de Cinco Villas que se prolonga hacia Francia y es el que ocupa la mayor parte de la Hoja.

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 faltando el resto de niveles triásicos, los niveles carbonatados en facies "Muschelkalk" y las arcillas yesíferas que representan las facies "Keuper" en el techo.

El Cretácico está formado por los niveles calcáreos con construcciones de rudistas del Albiense, en facies urgonianas, culminando el Cretácico inferior en los niveles detríticos pizarrosos del Albiense superior-Cenomaniense. El Cretácico superior, esta constituido por un conjunto de areniscas alternando con arcillas calcáreas, niveles en los que culmina la serie mesozoica en esta región.

En esta Hoja de Ventas de Irún los materiales mesozoicos aparecen únicamente a lo largo de la falla de Aritxulegui, en una serie de pinzamientos de la falla de desgarre y en su continuación en el sinclinal de Vera-Zugarramurdi, que tiene su inicio en el oeste de esta Hoja, próxima ya la población de Vera de Bidasoa.

## **2.1. PALEOZOICO**

Los materiales paleozoicos aflorantes en esta Hoja se asocian al macizo de Cinco Villas y su continuación al Norte de la falla de Aritxulegui en el macizo de Larún. Se extiende por toda la zona oriental de la Hoja en afloramientos muy poco visibles y en general con una gran monotonía litológica.

### **2.1.1. Devonico-Carbonifero**

#### **2.1.1.1. Esquistos, pizarras y grauwacas alternantes (nivel 64). Frasniense-Wesfaliense**

Es la unidad paleozoica con mayor superficie de afloramiento, observándose en todo el borde oriental del macizo de Peñas de Aya. Sus afloramientos son muy escasos, quedando reducidos a trincheras y cortes en carreteras y pistas, como en la carretera que conduce desde Lesaka, en la hoja 65-III, hasta Oyarzun, o en la carretera que lleva desde Vera de Bidasoa hasta Ibardín, que discurre, en sus tramos finales por esta Hoja de Ventas de Irún. En el resto de áreas, es difícil de observar debido a la profusión de vegetación y la alteración producida por la actividad humana.

En todos estos afloramientos 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, mas desarrollado en las proximidades del stock granítico de Peñas de Aya.

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.

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

Forman un resalte morfológico en aquellas zonas en las que 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 así como un espesor del orden de 500 m.

Se trata de un conjunto de calizas masivas de color blanco a gris azulado, ampliamente recrystalizadas, con aspecto marmóreo. 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 Famenense y el Namuriense

Los afloramientos más extensos aparecen al sureste de la Hoja, en la continuación de los afloramientos de Lesaka-Yanci y Aranaz, que aparecen en la hoja meridional. Es a la salida de la localidad de Lesaka donde puede observarse con mayor detalle las características estratigráficas de estos materiales.

Mas irregularmente aparecen distribuidos paquetes de calizas lenticulares cuya potencia es inferior y no superan los 50 metros, como el que se puede apreciar en un corte de la carretera de Lesaka a Oyarzun, cerca ya del plutón granítico. Es indudable

que en el resto de la serie pizarrosa aparecen mas niveles de este tipo, pero su cartografía resulta muy complicada debido a la pobreza de afloramientos.

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.

### **2.1.1.3. 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"), no observándose el tramo intermedio, fundamentalmente carbonatado (facies "Muschelkalk"), ni el tramo superior arcillo-yesífero (facies "Keuper"), 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 conglomerados, arcillas, areniscas 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 reanudó 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.**

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 silíceo. 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.

Estos niveles conglomeráticos aparecen exclusivamente en esta Hoja en los pinzamientos producidos por la falla de Aritxulegui, en afloramientos que producen un cierto resalte, muy próximos al stock granítico.

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.

El único afloramiento existente en esta hoja de estos niveles areniscos aparece en el comienzo del sinclinal de Vera, en su flanco norte, un afloramiento junto al río Bidasoa, mecanizado en base, lo que hace que hayan desaparecido los conglomerados de base de la serie del Buntsandstein.

#### **2.2.1.2. Análisis secuencial del Triásico**

Aunque el Triásico está muy poco desarrollado en esta Hoja, únicamente aflorante en pequeñas retazos a lo largo de la falla de Aritxulegui, teniendo en cuenta los datos procedentes de las hojas contiguas, es posible señalar a grandes rasgos, algunas de las características de los ciclos sedimentarios

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.

#### **2.2.2. Cretácico**

Corresponden al Cretácico la mayor parte de los afloramientos situados a lo largo de la falla de Aritxulegui y su continuación en el sinclinal de Vera.

Pueden agruparse en dos grandes conjuntos. El inferior está constituida por los depósitos detríticos y calcáreos asimilados a las facies Supraurgonianas del Albiense y el conjunto superior formado por un conjunto rítmico de areniscas y arcillas calcáreas.

En conjunto estos materiales han sido estudiados por LAMARE (1.936), RAMIREZ DEL POZO (1.971), SOLER Y JOSE (1.971), DUVERNOIS et al (1.972), CAMPOS (1.979) y últimamente por PUJALTE (1.982).

**2.2.2.1. Areniscas, limos y arcillas (nivel 151). Albiense**

Esta unidad aflora en un único afloramiento al este de la Hoja, en el flanco Norte del Sinclinal de Vera, aprovechando la existencia de dos fracturas de dirección aproximada Norte-Sur, que son las que provocan su aparición.

RAT (1959), incluyó a estos niveles en el “Complejo Supraurgoniano”. En su base existe una importante discordancia, que si bien puede no ser muy evidente puntualmente debido a la deficiente calidad de los afloramientos resulta espectacular a nivel regional, al apreciarse la disposición de los materiales albienses sobre diversas unidades. Esta discordancia esta relacionada con el momento álgido de las fases aústricas, que producen cambios importantes e el régimen de sedimentación de la cuenca, y sobre todo en las zonas marginales donde se producen importantes deformaciones tectónicas, dando como resultado que estos niveles se apoyen discordantemente sobre los sedimentos triásicos e incluso paleozoicos. La inexistencia de parte del Jurásico y del Cretácico inferior, se debe a los intensos procesos que afectan a este sector de la cuenca.

Litológicamente está constituido por areniscas limos y arcillas con unos niveles de conglomerados de cantos silíceos y calcáreos en la base, aunque estos últimos no se han podido apreciar en el afloramiento que aparece en esta hoja.

Los niveles de areniscas son de naturaleza silícea, de grano medio a fino con ocasionales niveles de microconglomerados y limolitas, mal estratificadas en bancos decimétricos

Ramírez del Pozo,(1971), cita la presencia de *Hedbergella* cf. *washitensis* y *Tritaxia* cf. *pyramidata* que permiten datar a esta unidad como Albiense medio

**2.2.2.2. Calizas con Toucasia (nivel 168). Albiense-Cenomaniense inferior.**

Estos niveles afloran al Sur de Vera de Bidasoa, en la zona de Baldrun, donde aparece un potente afloramiento que ha sido explotado. Además de este afloramiento, en la falla de Aritxulegui, aparecen retazos de esta unidad, apareciendo en

pinzamientos tectónicos producidos por esta falla y sus conjugadas. De ellos el más importante es el que se encuentra al oeste de Zalain.

Litológicamente está constituido por calizas con tinciones rojas y construcciones de rudistas y corales y por calizas tableadas (grainstone) bioclásticas algo arenosas con abundantes laminaciones y estratificaciones cruzadas.

El espesor de este nivel es del orden del centenar de metros, acuñándose lateralmente.

En Hojas próximas a esta, se ha determinado en niveles similares la presencia de *Favusella washitensis* (CARSY), *Hedbergella*, *Pseudocyclamina*, *Pithonella sphaerica* (KAUFM), espículas, *Lithothamnium*, *Macroporella*. En la Hoja de Vera de Bidasoa, se cita la presencia de *Aulotortus* (*Paratrocholina*), *lenticularis* (PAAZOW), *Pseudovalvulineria* sp., *Bacinella irregularis* (RADOICIC), *Coscinophagma cribosum* (REUSS, 1846), *Pithonella sphaerica* (KAUFMANN), *Tritaxia* sp., *Quinqueloculina* sp., *Solenopora* sp., *Spirophthalmidium* sp., *Rotalipora* sp., *Caprina* sp., *Lithothamnium*, que datan al Albiense.

Estratigráficamente se considera a esta unidad como Albiense-Cenomaniense, ya que se encuentra intercalada entre el nivel arcilloso anterior, asociándole sedimentológicamente con etapas de instalación de una plataforma carbonatada con el desarrollo de construcciones de rudistas y barras bioclásticas progradantes en esa incipiente plataforma.

#### **2.2.2.3. Alternancia de areniscas y arcillas calcáreas (nivel 170). Turonense-Campaniense.**

Esta unidad cartográfica, como la anterior, aflora en el sector de la falla de Aritxulegui y su continuación en el sinclinal de Vera. Los primeros afloramientos situados hacia el occidente aparecen en la falla de Aritxulegui, al oeste del embalse Endara, en los pinzamientos tectónicos que ocasiona esta falla. Hacia el Este, la unidad va ocupando el núcleo del Sinclinal de Vera, donde en las proximidades ya de Vera, empieza a desarrollarse, por lo que en esta zona aparece en todo el surco sinclinal.

Este conjunto comienza con unos niveles de brechas de naturaleza calcárea y algunos de ellos silíceos, lutitas y cuarcitas con matriz siempre calcárea de modo que aparece en campo como un tramo calcáreo homogéneo cuando no existen soportes detríticos, distribuidos en bancos decimétricos, tamaño medio de los cantos es del orden de 3 cm. Hacia techo continúa por una alternancia de margas y areniscas calcáreas de tonos cremas, estratificadas en bancos centimétricos.

El espesor total de este tramo no se conoce ya que siempre falta el techo no obstante se puede estimar en un mínimo de 500 m.

Los niveles calcáreos son mudstone-wackestone arcillosos con pequeñas cantidades de limo y arena (5-30%), generalmente de cuarzo.

La fauna citada por la Hoja 1:50:000 MAGNA de Tolosa, no es determinativa, clasificándose: *Pithonella sphaerica*. (KAUFMANN), *Globotruncana cf. helvetica* BOLLI, *Dicyclina cf. schlumbergeri*, *Pseudolituonella cf. mariae*, *Monouxia conica* GENDROT, *Triataxia sp.*, *Heterohelix sp.*, *Hedbergella sp.*, *Dictyopsella sp.*, *Rotalipora sp.*, *Marsonella sp.* y *Pseudovalvulineria sp.*, con una edad comprendida entre el Cenomaniense y el Santoniense.

Sedimentariamente esta unidad se asocia a depósitos de tipo turbidíticos, observándose gran cantidad de "slumps" y laminaciones paralelas y onduladas depositados en un ambiente de talud-cuenca.

#### **2.2.2.4. Análisis secuencial del Cretácico**

Aunque escasos y asociados a estructuras tectónicas, los afloramientos de materiales cretácicos en esta Hoja, junto con los datos procedentes de las hojas contiguas, pueden ofrecer un análisis secuencial de esta zona durante el Cretácico.

En el Cretácico inferior se pueden distinguir tres principales megasecuencias que en conjunto marcan la progresiva profundización de la cuenca.

La primera megasecuencia, de edad Aptiense - Albiense, corresponde al denominado Complejo Urgoniano (RAT, 1959). Se caracteriza por la presencia de importantes

masas de rocas carbonáticas de origen arrecifal con rápidos y frecuentes cambios laterales a margas y lutitas.

En el área que abarcan las cartografías no se ha reconocido discordancias ni cambios bruscos de facies que permitan subdividir esta megasecuencia en secuencias de rango menor, pero sí existen en otras áreas de la Cuenca Vasco - Cantábrica. Esta megasecuencia (Aptiense - Albiense) presenta una tendencia general transgresiva que se relaciona con un incremento de la subsidencia, debido no sólo a la fracturación de bloques, sino también a una flexuración general. En los depocentros, la sedimentación era esencialmente lutítico-margosa, y a menudo en condiciones anóxicas. En los bloques elevados y en los márgenes, se desarrollaron plataformas carbonáticas, con numerosas bioconstrucciones arrecifales de rudistas o corales (GARCÍA MONDEJAR, 1982).

La megasecuencia superior, de edad Albiense - Cenomaniense inferior, es expansiva con respecto a las infrayacentes y casi siempre se apoya discordante o en contacto brusco sobre ellas. En el área que abarcan las cartografías, está representada casi exclusivamente por depósitos turbidíticos de talud, que muestran una tendencia general progradante que culmina con facies de plataforma carbonática. Lateralmente estos depósitos se relacionan con formaciones deltaicas (Fm. de Valmaseda) o fluvio-aluviales (Fm. de Utrillas). Hacia el norte equivalen a otras formaciones turbidíticas de pie de talud (Fm. de Durango) y cuenca (Fm. de Deva).

En el área estudiada, la escasez y mala calidad de los afloramientos, junto con la ausencia de niveles guía, no permiten el establecimiento de unidades deposicionales de rango menor. El carácter predominantemente siliciclástico y expansivo de esta megasecuencia (Albiense - Cenomaniense), se relaciona con un incremento de la subsidencia en la cuenca y el rejuvenecimiento del relieve en los márgenes.

Durante el intervalo Cenomaniense - Santoniense, toda la cuenca experimenta un hundimiento progresivo, menos acusado en los márgenes, que se relaciona con la etapa de deriva continental y subsidencia térmica del margen. Es en esta etapa cuando se originan surcos donde se depositan potentes series turbidíticas, calcáreas y siliciclásticas, que en este caso corresponden con los depósitos rítmicos de areniscas y arcillas calcáreas.

## **2.3. CUATERNARIO**

Los depósitos cuaternarios de la Hoja de Ventas de Irún ofrecen escasa variedad, limitándose a una serie de depósitos de origen fluvial y de gravedad. Por lo general son de pequeña o mediana entidad, destacando por su representación superficial los coluviones y los fondos de valle. La edad, en todos los casos, es Holoceno

### **2.3.1. Holoceno**

#### **2.3.1.1. 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 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 en algunos se adivina una cierta componente solifluidal. La mayor concentración se localiza en los parajes de Telletxeco, Auzko y Barraca, al este del Embalse de Endara y también al noroeste del Embalse de Olazaga.

El resultado del proceso de deslizamiento es una acumulación caótica de bloques y cantos empastados en una masa arcilloso-arenosa. Su potencia es variable y está relacionada con sus dimensiones superficiales y con la profundidad del plano de deslizamiento. Se les atribuye una edad holocena y algunos de ellos pueden ser funcionales en la actualidad.

#### **2.3.1.2. 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 tres 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. Algunos ejemplos pueden observarse en la carretera N-121 A, en las vertientes del río Bidasoa. Por su disposición con relación al relieve actual se asignan al Holoceno.

#### **2.3.1.3. Arcillas y bloques con arenas (nivel 544). Movimientos de ladera.**

Se ha incluido en este apartado un depósito de aspecto caótico, situado al noreste de la zona de estudio, casi en el límite con la hoja contigua, por el este (Vera de Bidasoa). Este depósito, observable en la subida a Ibardín, no tiene la morfología de deslizamiento, ni de coluvión y las laderas sobre las que se desarrolla tienen una morfología convexa. Por todas estas características y por su aspecto superficial, observado en la fotografía aérea, algo rugoso e inestable, parece haber sido originado por procesos de solifluxión, es decir, por una acumulación de agua en el interior del sistema que da lugar a un movimiento lento de material desde las partes más altas de las laderas a otras más inferiores.

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

Estos depósitos están constituidos por un conjunto de cantos y gravas soportados por una matriz de carácter arenoso-arcillosa. El tamaño de los clastos es, a veces, muy grande llegando al tamaño de bloque. Lógicamente poseen formas alargadas y estrechas que en ocasiones se ensanchan, como sucede en el valle del Bidasoa, donde la mayor amplitud se encuentra en la localidad de Vera de Bidasoa. Es precisamente este ensanchamiento del aluvial el que ha propiciado la instalación de dicha localidad.

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 que a veces se acumulan alrededor de los cantos formando una especie de envuelta o camisa. 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.

#### **2.3.1.5. Cantos, gravas, 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 Onín, donde se originan al desembocar en estas zonas más amplias, procedentes de barrancos más estrechos. 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

Los Pirineos constituyen una cadena alpina que se extiende desde el Golfo de Vizcaya hasta el Mediterráneo (Fig. 2.1). Transversalmente, la cadena pirenaica presenta una simetría respecto a un eje de materiales paleozoicos, la Zona Axial. Esta alineación montañosa, de dirección aproximada E-W es la resultante del choque intraplacas Iberia-Europa. Según la clásica subdivisión de MATTAUER y SEGURET (1.971), basada en criterios estructurales y estratigráficos, en los Pirineos se distinguen dos coberteras 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.

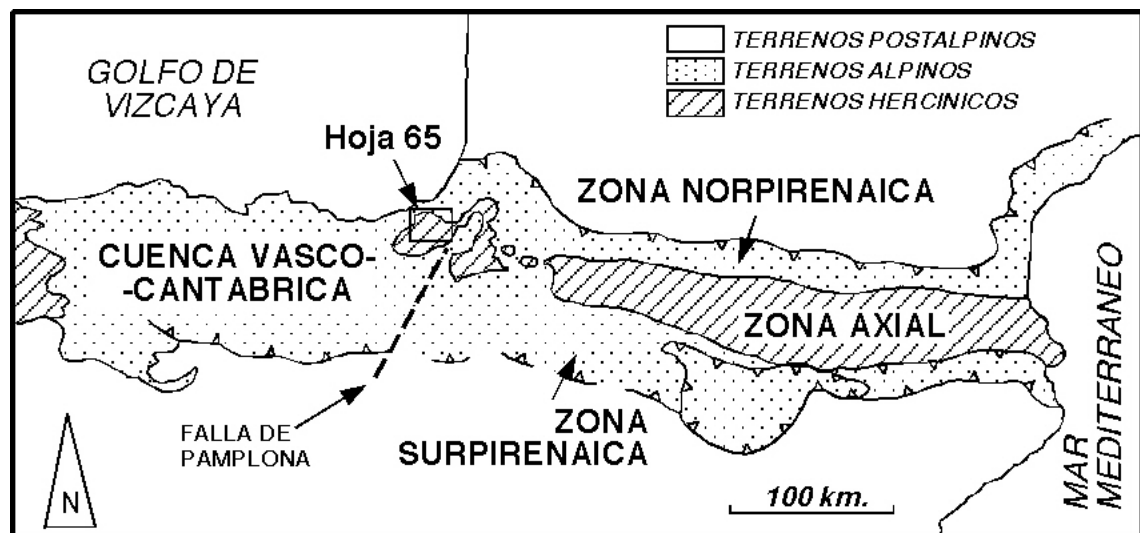


Fig 2.1: Situación de la zona de estudio en la geología regional

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 Ventas de Irún, afloran materiales paleozoicos del zócalo, pertenecientes a la zona axial pirenaica, y depósitos posthercánicos: Triásicos y cretácicos, aflorantes a lo largo de la falla de Aritxulegui y el sinclinal de Vera, en el tránsito de la Zona Norpirenaica a la Cuenca Vasco-Cantábrica. Además, el margen occidental de la zona esta ocupado por el stock granítico de Peñas de Aya, cuya intrusión supuso una deformación adicional sobre la estructura de los materiales.

El paleozoico del Macizo de Cinco Villas no tiene el carácter de “zócalo”, entendido este como un zócalo cristalino que reacciona frágilmente 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 alpínicas, por lo que, a las estructuras originadas durante la orogenia hercínica, se han sobreimpuesto las producidas en la orogenia alpina. El concurso del basamento en el ciclo alpino queda bien patente en la deformación reconocible en el tegumento, más concretamente en las series detríticas basales triásicas en facies Buntsandstein.

Los materiales posthercánicos son los que mejor muestran las consecuencias de la orogenia alpina. Están representados en los pinzamientos de la falla de Aritxulegui, y en el Sinclinal de Vera-Zugarramurdi, apenas unos retazos de la sedimentación mesozoica por lo que la observación de las deformaciones producidas en las etapas mas recientes (ciclo alpino), resultan de difícil interpretación. Ello es debido al carácter polifásico de las deformaciones alpinas, algunas de cuyas etapas compresivas tienen un marcado carácter cizallante. Además, en el ciclo polifásico alpino es evidente la participación del basamento, ya estructurado previamente en el hercínico, lo cual ha debido condicionar las estructuras posteriores.

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

- Estructuras del basamento paleozoico
- Estructuras de la cobertera mesozoica
- Estructuras originadas por la intrusión granítica de Peñas de Aya.

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

Los materiales paleozoicos en el cuadrante de Ventas de Irún forman parte del denominado "Macizo de Cinco Villas", el afloramiento más occidental de la "Zona Axial" pirenaica. Cinco Villas está constituido mayoritariamente por una serie alternante de materiales pelíticos y detríticos de carácter flyschoides, de edad carbonífera, que he sido descrita como facies Culm (CAMPOS, 1979).

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 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. Por otro lado, un aspecto a considerar en cualquier trabajo que abarque esta zona, es la casi inexistencia de afloramientos, condiciones que no permiten observar y estudiar la estructura, que suele ser muy compleja en detalle.

Son varios los autores que han estudiado la tectónica del macizo de Cinco Villas. Entre los autores más recientes destacan HEUSCHMIDT, 1977; CAMPOS, 1979; AIZPIRI et al., 1984, y MARTINEZ-TORRES et al., 1984.

El primero de ellos, HEUSCHMIDT (1977), distingue cuatro fases hercínicas ( $F_1$ ,  $F_2$ ,  $F_3$  y  $F_4$ ), una fracturación tardihercínica y dos fases alpinas ( $F_5$  y  $F_6$ ). CAMPOS (1979)

diferencia dos fases hercínicas ( $F_1$  y  $F_2$ ), una deformación producida por la intrusión del stock granítico de Peñas de Aya, una fase hercínica de kink-bands y dos fases alpinas. Por su parte, AIZPIRI et al. (1984) proponen tres fases hercínicas, en parte coincidentes con las anteriores.

MARTINEZ-TORRES et al. (1984) diferencia tres fases principales y una fase tardía de generación de kink-bands. Tomando como referencia esta clasificación las fases de deformación hercínica se pueden resumir en:

- Fase H1: representada por pliegues isoclinales tumbados, de escala decimétrica y dirección dispersa, con vergencia poco clara, posiblemente W. Lleva asociada una pizarrosidad ("slate cleavage") muy penetrativa a escala del macizo, subparalela a la estratificación ( $S_0$ ), especialmente en los flancos de los pliegues. Las direcciones principales de estas estructuras son N-S a N 20° E (Fig. 2.2).
- Fase H2: desarrolla pliegues angulares decimétricos, de dirección NE-SW, con esquistosidad de crenulación subvertical muy desarrollada. Tanto los pliegues como la esquistosidad son los rasgos estructurales más característicos del macizo de Cinco Villas (Fig. 2.2).
- 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

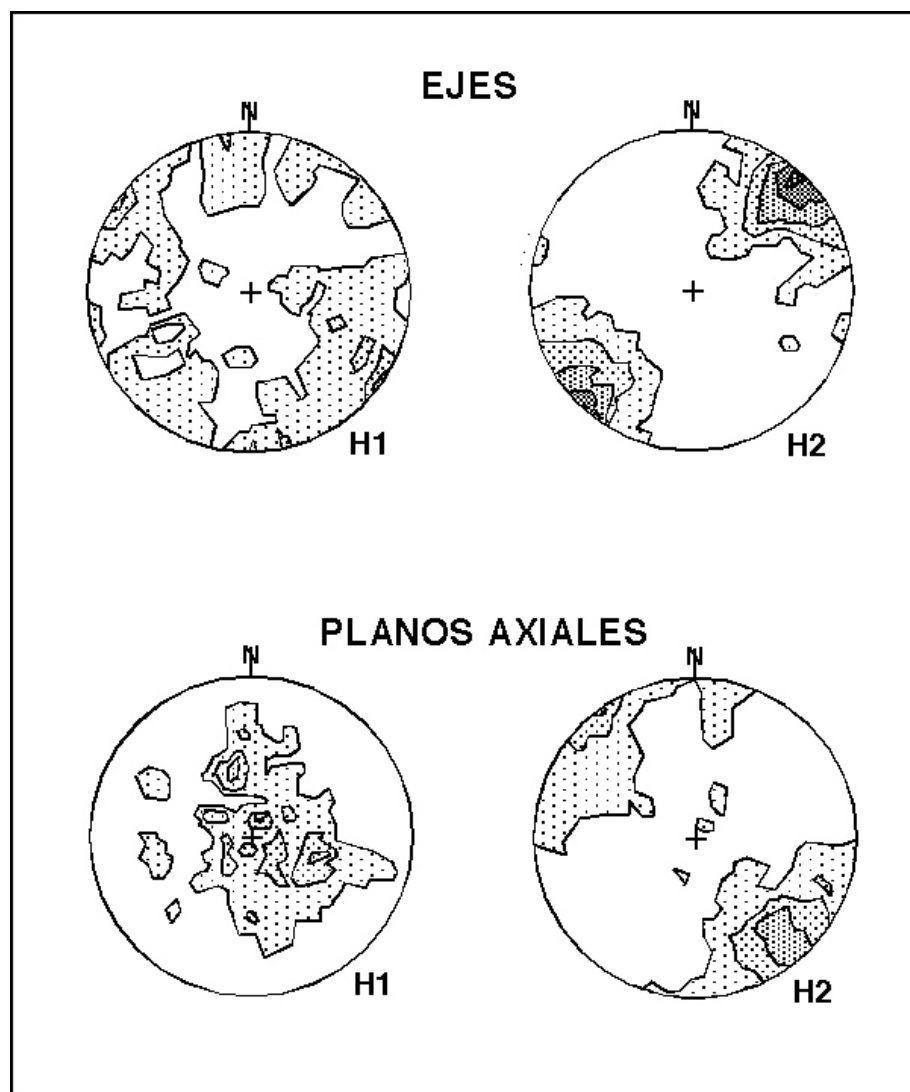


Fig. 2.2: Proyección equiangular en el hemisferio inferior de ejes y polos de planos axiales de la primera H1 y segunda H2 fases hercínicas del Macizo de Cinco Villas. (MARTINEZ-TORRES, 1984)

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 Ventas de Irún es complicada y difícil. Por otra parte, debe considerarse que en esta hoja, la mayor parte del territorio está ocupado por el Granito de Peñas de Aya. Si a esto se agrega la ausencia de niveles guía y la escasez de afloramientos, el conjunto resulta muy poco compresible 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 de Ventas de Irún.

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

Las manifestaciones de la deformación sufrida en el territorio ocupado por la Hoja son de gran importancia, e imprimen al carácter geológico dominante en esta zona, dando lugar a un gran número de estructuras.

Entre los materiales hercínicos que afloran en esta Hoja de Ventas de Irún, no se aprecian discordancias que determinen el límite de las secuencias deposicionales y que puedan estar asociadas a impulsos tectónicos que afectan de manera global a toda la cuenca.

El límite Paleozoico-Mesozoico, como se ha señalado, se produce principalmente por contactos mecanizados, en forma de pellizcos de Triásico y Cretácico, pinzados entre el granito de Peñas de Aya y los materiales pelíticos carboníferos. Observando la cartografía resultante, se puede apreciar que estos materiales carboníferos han respondido conjuntamente con los materiales mesozoicos a las deformaciones alpinas. Este hecho indica, la facilidad con la que los materiales pelíticos, incompetentes y poco metamórficos y con un comportamiento plástico, reproducen el estilo de la deformación alpina.

En esta zona del Macizo de Cinco Villas perteneciente a la hoja de Ventas de Irún apenas se aprecian estructuras de plegamiento que puedan indicar la estructura general del macizo, sin embargo, sí que son frecuentes los meso y micropliegues, a partir de los cuales pueden determinarse algunos rasgos del carácter de la estructura y las distintas fases de deformación que se han producido.

- 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, 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.

Hay que tener en cuenta, que esta hoja de Ventas de Irún, la influencia de la intrusión del plutón granítico de Peñas de Aya ha sido importante, con la consiguiente alteración de las estructuras próximas a la intrusión.

Las fracturas que aparecen en los materiales paleozoicos en esta Hoja de Ventas de Irún muestran una dispersión aunque pueden asociarse a distintas familias:

- Fracturas N-S (N 5° W): Aparecen especialmente al Norte de la falla de Aritxulegui y son fallas importantes en la que se ha encajado el valle del río Bidasoa.
- 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.

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

Debido a lo reducido de los afloramientos de la cobertera postríasica, resulta difícil establecer las distintas fases de las deformaciones alpinas a partir de las estructuras existentes.

A partir del análisis de zonas contiguas y de la bibliografía existente, se pueden establecer una serie de fases de deformación 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.

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

La única estructura perteneciente al ciclo alpino que puede resaltarse en esta Hoja de Ventas de Irún es la Falla de Aritxulegui

La falla de Aritxulegui es un corredor tectónico de dirección E-W, formado por varias escamas tectónicas y brechas. Hacia el W, fuera ya del ámbito de esta Hoja, sufre una inflexión que ocasiona que su dirección pase a ser NO-SE. Es un accidente de componente dextral con un salto en dirección de como mínimo 2 Km que, muy probablemente, se formó a partir de un graben sinsedimentario. Hacia el E, en las proximidades de Vera de Bidasoa, la falla de Aritxulegui pasa a desarrollarse en el Sinclinal de Vera-Zugarramurdi.

Asociadas a esta falla aparecen dos familias de fallas oblicuas, con direcciones aproximadas N 160 E y N 20 E, que cortan y compartimentan la falla de Aritxulegui en distintos bloques. Además al N y S aparece un sistema de fallas paralelas siguiendo la misma dirección E-W que la falla de Aritxulegui.

## **3.4. ESTRUCTURAS ORIGINADAS POR LA INTRUSIÓN GRANÍTICA**

El macizo granítico de Peñas de Aya tiene una forma elíptica cuya bóveda posee una dimensión superficial (75 km<sup>2</sup> aproximadamente) comparable con la de los granitos sensu stricto (PESQUERA, 1985). Esta forma elíptica muestra un eje mayor de dirección aproximada NE-SW, dirección en la que se debió de producir la intrusión, aprovechando alguna estructura asociada a la segunda fase hercínica H2. Aunque esta bóveda está dislocada por numerosas fallas que han trastocado su geometría original, su forma original es más congruente con intrusiones sincinemáticas que con intrusiones postcinemáticas, que tienden a dar formas equidimensionales.

Las medidas de la esquistosidad regional obtenidas en el macizo de Cinco Villas y, especialmente, en la aureola de contacto del granito muestran una adaptación al contorno del stock granítico, lo cual corrobora la relación de la intrusión con un pliegue de orden mayor de la segunda fase hercínica H2, de idéntica dirección NE-SW.

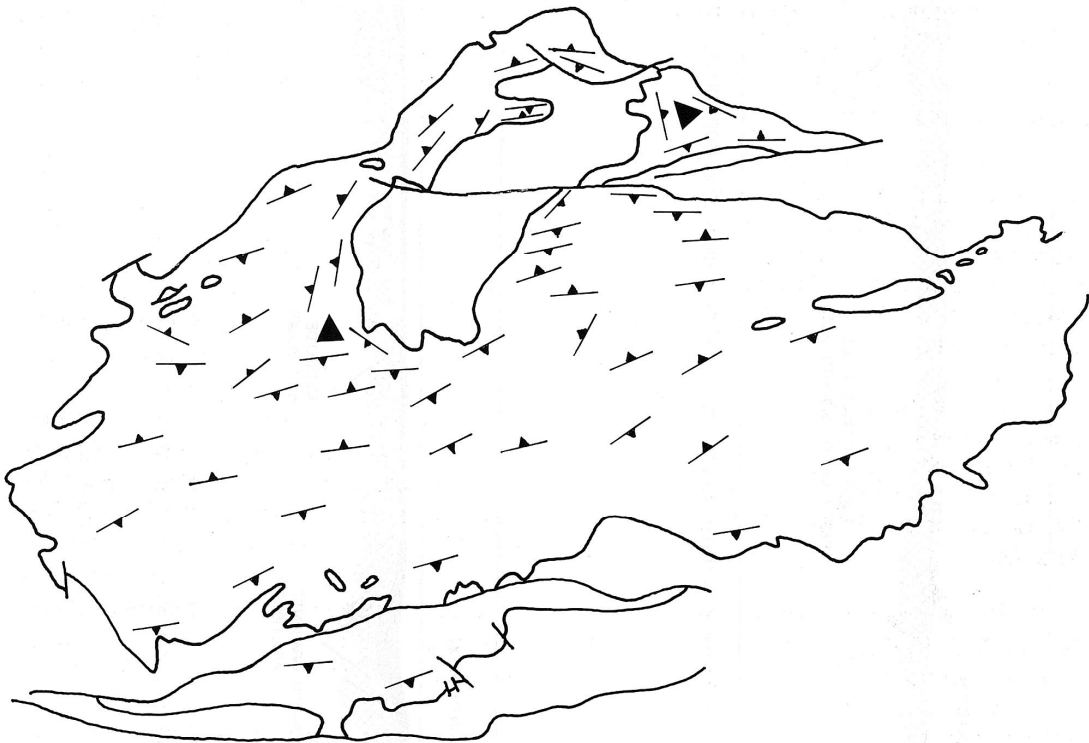


Fig. 2.3: Trayectoria de la esquistosidad regional en el Macizo de Cinco Villas.

(Según PESQUERA, 1985)

Para CAMPOS (1979), este hecho se debe a la deformación de bóveda debida a la propia intrusión del stock, y por tanto posterior a la fase tectónica principal. Por el contrario, para PESQUERA (1985), esta esquistosidad representa la traza del plano principal de aplastamiento producido durante la 2ª fase de deformación hercínica. Mientras que se produce una orientación global ENE-WSW en zonas alejadas de la intrusión, en las zonas próximas, la esquistosidad regional pasa a adaptarse a los contornos del macizo, de tal forma que inyección magmática y deformación tectónica son procesos simultáneos en el tiempo.

La única zona donde este hecho de adaptación de la esquistosidad a la forma del granito no se produce, es en los alrededores del embalse de Domiko, al sur de la aureola de metamorfismo en esta Hoja de Ventas de Irún.

### **3.5. 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 los que destaca la primera fase, que origina pliegues isoclinales tumbados de dirección norteadada, 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 tardihercánicos 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 Alduides, 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 fases 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**

La Hoja, a escala 1:25.000 de Ventas de Irún (65-I) se encuentra situada en el sector septentrional de la provincia de Navarra y en el límite con el País Vasco y con Francia. Sólo la zona suroccidental pertenece a Navarra con una superficie aproximada de un cuarto del área representada por la hoja. Se trata de una zona accidentada con importantes contrastes altimétricos, debido a la profunda incisión de la red fluvial.

Fisiográficamente se pueden diferenciar dos áreas de características diferentes, el valle del río Bidasoa y el conjunto montañoso que ocupa la superficie restante. El valle del río Bidasoa se caracteriza por un recorrido sinuoso, a veces meandriforme, y por un fondo de valle muy plano, sus vertientes muy acusadas dejan encajado este cauce de agua, dando lugar a una morfología muy apretada. El resto del relieve se corresponde con un área de montaña en la que la incisión de la red de drenaje ha dado lugar a profundos barrancos y divisorias acusadas o aristas que se suceden de forma ininterrumpida en todas direcciones.

La altura media de la hoja es de unos 600 m, con las mayores alturas en el límite con Guipúzcoa donde se alcanzan los 832 m en Lizartako Gana y los 788 m en Errenaga. Destacan otros puntos como Agina con 612 m, el Risco de San Antón con 589 m y Manttale con 573. Las zonas más bajas, como es lógico, se localizan en los fondos de los valles, alcanzando la cota menor el río Bidasoa, al norte, en el límite provincial, donde desciende hasta 20 m.

Desde el punto de vista geológico-estructural se pueden diferenciar varios dominios: el Macizo Granítico de Peñas de Aya en el sector noroccidental, la Cuenca Cretácica de Vera-Zurragamurdi, ocupando la parte centro-oriental (Vera de Bidasoa) y el Macizo Paleozoico de Cinco Villas. En cuanto a los materiales aflorantes. Hay que señalar que abarcan un amplio registro cronológico, desde el Paleozoico hasta el Cuaternario, pero con ausencia de sedimentos terciarios.

La red de drenaje se ordena en torno al río Bidasoa y sus dos afluentes principales, el Endara y el Onín que cambia varias veces de nombre a lo largo de su recorrido. Tres son, además, los embalses presentes en la hoja: Endara, Domiko y Olazaga.

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 Lesaka. 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 de Vera de Bidasoa, el poblado de Ibardin, al norte 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 Ventas de Irún 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 Ventas de Irún, a escala 1:25.000, ofrece tres dominios estructurales: el Macizo granítico de Peñas de Aya, al noroeste, la Cuenca Cretácica de Vera-Zurragamurdi y el Macizo Paleozoico de Cinco Villas. Las características del relieve, bastante accidentado, están muy condicionadas por la estructura, además de por la litología y la tectónica.

Los mayores relieves se localizan, al oeste, en el límite con la provincia de Guipúzcoa, en el Macizo granítico de Peñas de Aya que dan algunos escarpes, desde donde se producen desprendimientos de bloques. Por otra parte en el Macizo Paleozoico de Cinco Villas, dada la complejidad de los materiales paleozoicos que aquí se encuentran y la homogeneización que supone el metamorfismo, es difícil la formación de una morfología estructural.

La morfología de la red de drenaje es otro aspecto que refleja magníficamente la influencia de la estructura en la configuración del relieve. También 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 NO-SE 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 (granitos) o con sedimentos estratificados en los que alternan materiales de diferente competencia (pizarras y grauvacas), dispuestas en series monoclinales. Ambos casos se presentan en esta Hoja.

#### **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, pero también existen formas poligénicas y antrópicas, aunque en menor proporción.

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

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

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 Ventas de Irún son relativamente habituales dando una serie de bandas estrechas paralelas a los cauces. 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 cobertera vegetal tupida, no siempre permite su diferenciación.

Relacionados con un relieve accidentado y grandes escarpes, aparecen en el límite con la provincia de Guipúzcoa 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 también se producen por las altas pendientes y por la presencia de litologías blandas o alternantes. Aunque aparecen dispersos por la hoja, 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 y plegamiento que, en numerosas ocasiones, contribuye con sus planos al movimiento del material deslizado. 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 en algunos se adivina una cierta

componente solifluidal. Alguno ejemplo se pueden encontrar en los parajes de Telletxeco, Auzko y Barraka.

Para terminar, los últimos depósitos reconocidos, pertenecientes a este grupo son los movimientos de ladera. Se ha incluido aquí un depósito de aspecto caótico, situado al noreste de la zona de estudio, casi en el límite con la hoja contigua, por el este (Vera de Bidasoa). Este depósito, observable en la subida a Ibardín, no tiene la morfología de deslizamiento, ni de coluvión y las laderas sobre las que se desarrolla tienen una morfología convexa. Por todas estas características y por su aspecto superficial, observado en la fotografía aérea, algo rugoso, parece haber sido originado por procesos de solifluxión, es decir, por una acumulación de agua en el interior del sistema que da lugar a un movimiento lento de material desde las partes más altas de las laderas a otras más inferiores. El factor climático influye de manera decisiva en la puesta en movimiento del material. El exceso de agua meteórica que entra al sistema por grietas, fracturas, porosidades etc.. carga al material en peso hasta que el equilibrio se rompe, produciéndose la rotura y el movimiento de la masa a deslizar. A pesar de la intensa vegetación, este tipo de movimientos son frecuentes en la Navarra húmeda, debido precisamente a la abundancia de agua y a las altas pendientes.

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

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

Los fondos de valle están constituidos por un conjunto de gravas y cantos de diferente naturaleza envueltos en una matriz de carácter arenoso-arcilloso. Son muy escasos, limitándose, prácticamente, a los ríos Bidasoa y Onín. Su morfología en planta es estrecha y alargada con trazados sinuosos en los que se intercalan tramos rectilíneos. En el río Bidasoa, hay algunos sectores en los que el fondo de valle alcanza un mayor desarrollo, llegando a tener algo más de 500 m de ancho. Lo que sí se observa es que en el macizo paleozoico de Cinco Villas, no hay apenas desarrollo de estos depósitos.

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 con 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. Su génesis suele ser contemporánea a la de los fondos, pero no se descarta que puedan ser algo posteriores.

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 alternante 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, en los materiales más duros 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.

#### **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 Ventas de Irún, la única representación la constituyen las divisorias suaves 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 de los mejores ejemplos se localizan en los parajes de Amargunko Lepoa, Berreuko Gaiña y Errenaga.

#### **4.3.2.4. Formas antrópicas.**

Las formas debidas a la actuación humana se concretan aquí en excavaciones o canteras y escombreras. Las calizas del Cretácico se explotan en Vera de Bidasoa y se utilizan como áridos para construcción. Otras canteras se encuentran en el macizo de Cinco Villas y aunque algunas ya no están en activo, puede reconocerse la excavación y la escombrera asociada.

### **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 Ventas de Irún (65-I) 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.

Entre las formaciones superficiales de ladera se describen aquí los coluviones, los deslizamientos y los movimientos de ladera. 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 pudiendo variar desde un tapiz superficial de pocos centímetros hasta acumulaciones de varios metros. Normalmente se ubican al pie de las vertientes, en bandas alargadas paralelas a los cauces. Los 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 es una acumulación caótica de cantos y bloques envueltos en una matriz arcilloso-arenosa. El tamaño de los bloques deslizados es muy variable y en ocasiones pueden alcanzar varios metros. Según los materiales de los que proceden y las condiciones que han producido el movimiento, la composición del material deslizado varía por lo que no se pueden dar unas características generales para todos ellos. En cuanto a los movimientos de ladera, se pueden decir las mismas cosas, pues también se trata de una acumulación de materiales que proceden de las partes altas de las laderas y cuyo transporte se ha producido de forma lenta y en masa. El conjunto de material fragmentado que da envuelto en una masa arcilloso-arenosa que al impregnarse de agua inicia un descenso por las laderas, ya regido por la gravedad.

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 y Onín. Su edad es Holoceno.

Los conos de deyección son muy escasos y se reducen a tres o cuatro ejemplos localizados en los valles de los ríos Bidasoa y Onín. 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.

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

La evolución geomorfológica de la hoja de Ventas de Irún 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 Turoliense. 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 Ventas de Irún 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 con la provincia de Guipúzcoa 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 Ventas de Irún, este hecho es lo habitual en la mayoría de los escarpes existentes.

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

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

## 5. PETROLOGÍA

En la Hoja de Ventas de Irún, gran parte del territorio está ocupado por el Stock Granítico de Peñas de Aya. Además de estos materiales graníticos, afloran rocas ígneas y filonianas, encajadas en materiales paleozoicos, así como rocas ligeramente metamorizadas, correspondientes a los materiales prehercínicos pertenecientes al Macizo de Cinco Villas. La escasez de afloramientos que hayan podido constatarse, no indica en ningún caso que esta sea su densidad, la dificultad de observar buenos afloramientos sin duda influye en la delimitación de los filones, que sin duda, debe ser mayor que la representada en la cartografía

### 5.1. ROCAS FILONIANAS

#### 5.1.1.1. Cuarzo (nivel 7)

Los filones de cuarzo se desarrollan siguiendo direcciones preferentes de fractura, encajados tanto en las rocas ígneas del macizo granítico de Peñas de Aya, como 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 SUBVOLCÁNICAS

Están representadas por masas de rocas subvolcánicas que tradicionalmente han sido asignadas a diabasas (nivel 2) y ofitas (nivel 1), aunque en esta Hoja únicamente afloran diabasas. 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)

Únicamente se han cartografiado dos afloramientos de reducidas dimensiones, Aparecen como rocas holocristalinas hipidiomorfas 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 interestratificadas entre los sedimentos pérmicos. En cualquier caso, la resolución de este problema debe pasar por la realización de estudios geoquímicos de cierto detalle.

### **5.3. ROCAS IGNEAS. GRANITO DE PEÑAS DE AYA**

#### **5.3.1. Introduccion**

El granitoide de Aya es un cuerpo intrusivo de unos 75 km<sup>2</sup> que se localiza en la parte septentrional del Macizo Paleozoico de Cinco Villas. Constituye el último afloramiento ígneo importante de la cadena pirenaica en su vertiente occidental. Este macizo esta integrado por: (1) rocas detritico-carbonatadas del Devónico en la margen oriental y (2) materiales carboníferos que ocupan la mayor parte del macizo y que están constituidos por las Calizas de Aranaz en la base, posiblemente de edad Namuriense (HEDDEBAUT, 1973) y una sucesión esquistosa que ha sido datada localmente como Westfaliense (REQUARDT et al., 1977; DEVOLVÉ et al., 1987), y en la que intruye el plutón de Aya. La serie ha sido afectada por la deformación y metamorfismo regional hercínico con la aparición de biotita ± andalucita ± granate en las áreas de Lesaka y Goizueta-Elama (PESQUERA, 1985; PESQUERA&VELASCO, 1988).

El stock granítico de Peñas de Aya ha sido estudiado por varios autores (LAPPERENT, 1913; LAMARE, 1936; CAMPOS, 1979; HEUSCHMIDT, 1977; PESQUERA, 1985), siendo este último, el autor que con mayor detalle ha estudiado la intrusión, y los comentarios que se relatan a continuación están basados en gran medida en sus trabajos.

El contacto entre el plutón y los esquistos es neto y concordante con la foliación regional; no obstante, al NW y SE muestra una discordancia estructural. Los efectos térmicos inducidos por la intrusión se traducen en una aureola bien desarrollada en la parte meridional. En la zona interna se alcanza el grado medio con andalucita + biotita en metapelitas, y localmente puede encontrarse una asociación de mayor temperatura

que incluye espinela y corindón. Estudios petrográficos y estructurales sugieren una estrecha relación entre la segunda deformación hercínica y el emplazamiento del plutón.

El granitoide de Aya posee algunas características propias de los macizos superiores definidos por Autran et al. (1970): contactos netos, emplazamiento en la epizona, presencia de rocas básicas y carácter calco-alcalino. Sin embargo, muestra ciertas diferencias respecto a tales macizos; por ejemplo, zonación inversa, metamorfismo térmico y regional cuasi-contemporáneos y frecuencia de venas micrograníticas y pegmatíticas. Dentro del plutón se pueden distinguir dos unidades petrográficas:

Unidad externa de carácter leucogranítica, con cuarzo, feldespato potásico, plagioclasa y biotita como principales componentes. En general, exhibe una textura seriada de tamaño de grano fino a grueso, desde rocas con tendencia equigranular a heterogranular, localmente porfídicas. La fábrica de las rocas está poco definida, pero en zonas marginales se puede ver una orientación mineralógica con relativa facilidad. Por otro lado, pueden observarse algunos enclaves básicos de naturaleza semejante a los que aparecen en la unidad interna.

Unidad interna, particularmente importante al Sur de la falla de Aritxulegui, con una forma globular aplastada que se extiende hacia el Norte de manera peduncular. De acuerdo con el contenido en minerales ferromagnesianos pueden diferenciarse tres facies petrográficas: (a) una facies oscura de naturaleza granodiorítica con piroxeno, anfíbol, biotita, plagioclasa  $\pm$  cuarzo; (b) facies intermedia granodiorítica con anfíbol, biotita, plagioclasa, feldespato potásico y cuarzo; y (c) facies clara granítica con biotita  $\pm$  anfíbol, plagioclasa, feldespato potásico y cuarzo. El tamaño de grano y carácter heterogranular aumentan hacia la facies clara.

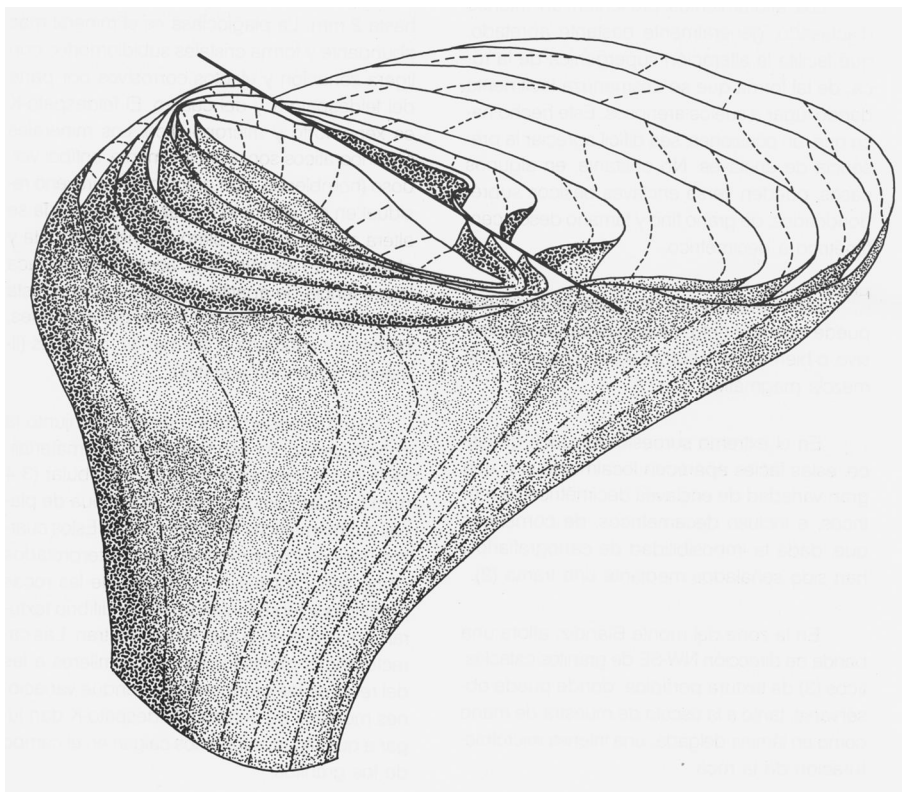


Fig. 4.1: Modelo geométrico idealizado del plutón de Aya. Según PESQUERA, 1985

### 5.3.2. Unidad periférica

Esta unidad, que se dispone en el borde exterior del cuerpo, rodeando la unidad central, es un conjunto bastante homogéneo de naturaleza leucogranítica. Se desarrolla principalmente al N de la falla de Aritxulegui, mientras que al S de esta falla, en esta hoja de Ventas de Irún, rodea la unidad central, experimentando un adelgazamiento considerable.

Dentro de esta unidad pueden apreciarse dos facies principales, que, sin embargo, no pueden representarse en la cartografía debido a que su diferenciación es básicamente mineralógica y textural:

- Granito equigranular a heterogranular con fluorita y moscovita en determinados puntos.
- Granito heterogranular

#### **5.3.2.1. Facies equigranular-heterogranular**

Esta facies aflora exclusivamente al norte de la falla de Aritxulegui, adquiriendo un carácter mas heterogranular hacia el Este, con tamaños finos a gruesos. Hacia el Oeste tiende a ser equigranular con granos de tamaño medio. El color parece variar en el mismo sentido: los tonos amarillentos predominan hacia el oeste, mientras que en el borde este predominan los tonos blanquecinos. Las texturas porfídicas aparecen distribuidas irregularmente, no quedando restringidas a ningún área en concreto.

Esta facies esta formada principalmente por cuarzo, feldespato potásico y plagioclasa, que representan el mayor porcentaje de las rocas, siendo la bitotita el único mineral ferromagnesiano existente, pero de poca abundancia, en cristales de tamaño medio como máximo.

La fábrica del plutón en esta parte del macizo es variable, principalmente masiva, en el que no se aprecian tendencias a la orientación de los minerales según una estructura planar o lineal.

#### **5.3.2.2. Facies heterogranular**

Esta facies difiere de la anterior, esencialmente, en la ausencia de zonas con tendencia equigranular, por un lado, y en la falta de fluorita, por otro. La textura de esta facies es subautomorfa seriada, aunque, en algunos puntos presenta un carácter porfídico con un tamaño de grano de fino a grueso. Sus componentes principales son cuarzo, feldespato potásico y plagioclasa, con unas características similares a las presentadas en la parte septentrional. De estos componentes, el feldespato es el que alcanza mayor tamaño, seguido por plagioclasa, cuarzo y bitotita.

Su fábrica es orientada en mayor o menor grado, ocasionada por cristales automorfos y subautomorfos de feldespato, a la que contribuyen la orientación planar de placas hexagonales de biotita.

#### **5.3.3. Unidad central**

Esta unidad es particularmente importante al Sur de la falla de Aritxulegui, con una forma globular aplastada que se extiende hacia el Norte de manera peduncular,

siguiendo la regata Endara, que limita Navarra con Guipúzcoa. De acuerdo con el contenido en minerales ferromagnesianos pueden diferenciarse tres facies petrográficas:

- (a) facies oscura de naturaleza gabrodiorítica con piroxeno, anfíbol, biotita, plagioclasa  $\pm$  cuarzo
- (b) facies intermedia granodiorítica con anfíbol, biotita, plagioclasa, feldespato potásico y cuarzo; y
- (c) facies clara granítica con biotita, plagioclasa, feldespato potásico y cuarzo.

que se corresponden, sensu lato, con rocas gabrodioríticas, rocas granodioríticas y granitos respectivamente.

La diferenciación cartográfica de estas facies se hace compleja, puesto que, aunque los cambios composicionales son relativamente bruscos, muchas veces, se evidencia una gradación regular entre las facies. Por otra parte, su distribución irregular, así como la escasa calidad de los afloramientos no permiten una cartografía detallada de los mismos.

#### **5.3.3.1. Facies gabrodiorítica**

Esta facies son los diferenciados más básicos de entre las rocas de la Unidad Interna. Son rocas oscuras de grano fino, con una textura general que varía entre un carácter subofítico a intergranular.

Petrográficamente, esta facies se caracteriza por la presencia de augita, anfíbol, biotita y plagioclasa. La proporción de minerales ferromagnesianos muestra una gran variación, que no es más que el reflejo de la gran heterogeneidad existente.

#### **5.3.3.2. Facies granodiorítica**

La facies intermedia, es de una textura similar a la facies clara granítica, granular subautomorfa, pero su tamaño de grano raramente alcanza tamaños gruesos.

#### **5.3.3.3. Facies granítica**

En la facies granítica, la textura es granular subautomorfa, con un tamaño de grano fino a grueso.

#### **5.3.4. Diques**

En el stock granítico de Peñas de Aya es frecuente encontrar la presencia de diques de composición y tamaño variables. Estos diques se pueden agrupar en las siguientes categorías, en función de su textura y litología:

- Pórfidos y microgranitos: Presentan una textura subautomorfa, y están formados esencialmente por cuarzo, plagioclasa y feldespato potásico, como minerales principales, siendo muy numerosos los accesorios, como biotita, clorita, circón, apatito y rutilo.
- Pegmatitas: Se distinguen con facilidad por el tamaño grueso de sus componentes, sobre todo cuarzo, feldespato potásico y moscovita. Además su mineralogía incluye plagioclasa moscovita, circón y apatito
- Aplitas: La mineralogía de estos diques aplíticos es muy parecida a la de pórfidos pero se diferencia en que presentan una textura xenomorfa muy característica.
- Diques básicos: Son de grano fino formados por plagioclasa, piroxenos, anfíboles, biotita, clorita, circón, apatito e ilmenita.
- Diques de cuarzo: Contienen cantidades accesorias de feldespato potásico, moscovita y óxidos de hierro.

Su representación espacial revela la existencia de un grupo predominante cuya dirección es NO-SE, y otro de menor importancia ENE-OSO. Sin embargo, estas direcciones resultan una simplificación, ya que no indican una época determinada de formación, mas bien al contrario, la formación de diques se llevó a cabo en un intervalo de tiempo considerable. En cualquier caso, no hay duda de que son cuerpos intrusivos asociados a los últimos estadios de la evolución magmática.

### **5.3.5. Aureola de metamorfismo de contacto.**

La intrusión del granitoide de Aya ha generado unos efectos térmicos que se han traducido en el desarrollo de una aureola de metamorfismo de contacto en los materiales paleozoicos encajantes. Esta aureola tiene un desarrollo desigual, alrededor del granitoide, alcanzando entre 600 y 1000 metros al sur de la falla de Aritxulegui, mientras que al Norte, es mucho menor, no llegando a superar 300 metros.

CAMPOS (1979), reconoce diversas asociaciones, caracterizadas por la presencia de clorita, biotita, andalucita y cordierita, alcanzando un máximo metamorfismo correspondiente a la facies de corneanas hornbléndicas. Establece dos facies metamórficas en la aureola de metamorfismo con diferentes asociaciones minerales: Una facies de corneanas con albita-epidota y la ya mencionada facies de corneanas hornbléndicas. Según este autor, la aureola externa está mas desarrollada que la interna, que la reduce únicamente a los primeros 25 metros.

Según PESQUERA (1985); el metamorfismo de contacto producido por la intrusión del macizo granítico de Aya genera una aureola de metamorfismo cuyos efectos se hacen notar posteriormente a la 1ª Fase de deformación, continuándose posteriormente en la segunda y después de ésta. Esta aureola es irregular, con las isogradas tendiendo a acuñarse hacia el Norte, de tal forma que es en la parte inferior del macizo, al Sur de la Falla de Aritxulegui, donde mejor se registran los cambios mineralógicos.

Los cambios mineralógicos producen una aureola externa de bajo grado, representada fundamentalmente por clorita + moscovita  $\pm$  biotita  $\pm$  granate y una aureola interna de grado medio donde aparecen andalucita  $\pm$  estaurolita y cordierita. Realiza unas consideraciones geotérmicas que suponen unas temperaturas de 500-650º en la aureola interna con un régimen de presiones de 1-2 Kb aproximadamente, siendo el metamorfismo más débil hacia el Norte.

Según este autor, los cambios mineralógicos que se producen en los materiales pelíticos se traducen en una serie de asociaciones típicas, que de la parte más externa a su contacto con el plutón son las siguientes:

- Clorita + moscovita

- Clorita + moscovita + biotita  $\pm$  granate
- Biotita + andalucita  $\pm$  granate
- Moscovita + clorita + estauroлита + andalucita + biotita
- Biotita + corindón + andalucita + cordierita + feldespato K  $\pm$  espinela

Para PESQUERA, la razón por la cual se produce este adelgazamiento hacia el Norte, puede radicar en la distribución de fluidos: las fases mas “secas” ocasionan aureolas menos desarrolladas que las fases más ricas en fluidos. Una distribución heterogénea de los fluidos por el plutón habría ocasionado que en algunos puntos, en este caso, en la mitad superior del macizo, hubiera experimentado un mayor enfriamiento, causando diferencias térmicas en las rocas encajantes.

Dentro de la aureola de contacto se encuentran comúnmente diques de naturaleza básica y granítica, así como diversas pegmatitas.

Los efectos térmicos se manifiestan por la aparición, en los niveles pelíticos, de un típico moteado. Esta característica es la que permite determinar cartográficamente el límite de esta aureola de metamorfismo.

#### **5.3.6. 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° 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. 4.2).

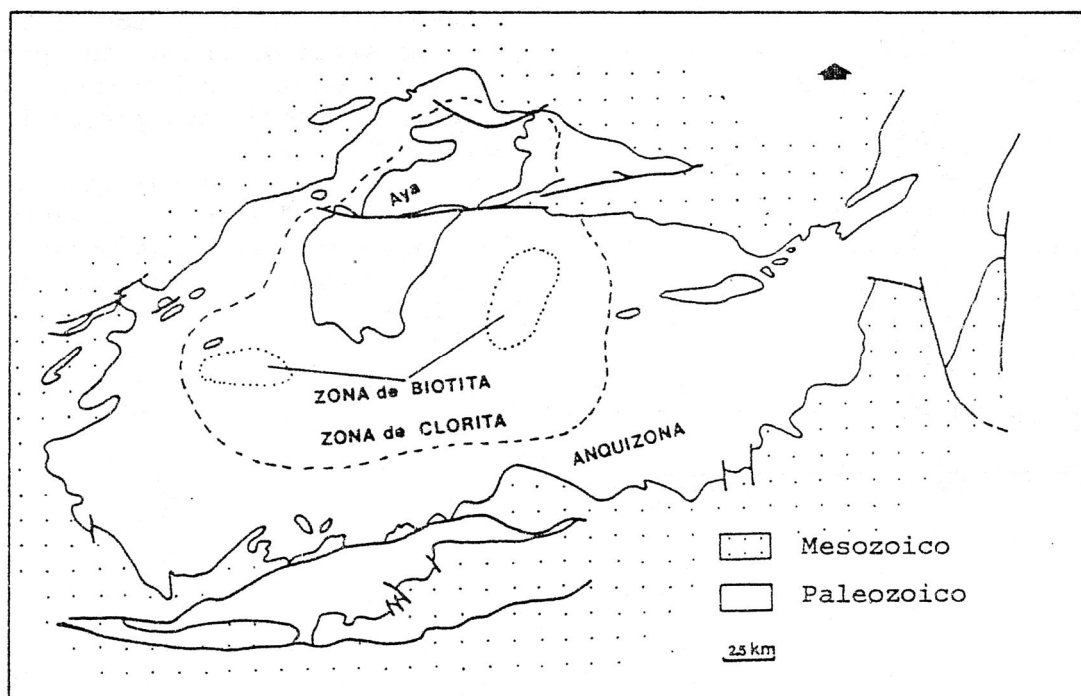


Fig.4.2: Límite anquizona-epizona y distribución aproximada de la zona de la biotita en Cinco Villas. PESQUERA (1985)

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 Ibañeta.

El relleno sedimentario de los surcos dio 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 está 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, origino 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 N110º a N120º.

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 Paleógeno, 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**

Los signos de actividad minera en el ámbito navarro de la hoja de Ventas de Irún se reducen a la explotación de dos canteras, una de ellas de caliza y otra de granito. Además de estas explotaciones de rocas industriales, en esta Hoja aparecen diecisiete indicios mineros, todos ellos de minerales metálicos, y abandonados en la actualidad, lo que indica que el desarrollo de la minería en esta zona conoció mejores épocas.

#### **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, y en menor medida, en los granitos de stock de Peñas de Haya, mientras que en la cobertera permo-cretácica no aparecen indicios minerales.

Las mineralizaciones del MCV 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.

La mineralización más significativa de este tipo que aparece en la hoja de Ventas de Irún es la que se explotaba en Mina Modesta, por la Real Compañía Asturiana de Minas hasta su abandono a finales de los años 70 del siglo pasado. El yacimiento presentaba dos filones: el filón Porvenir, encajado en granito y explotado para Hierro, y el filón Real Compañía, más importante y situado al E del anterior, explotado para Pb-Zn-F-Cu-(Ag). En ambos casos, su morfología es muy complicada, como consecuencia de la evolución tectónica compleja de la zona.

Presenta un aspecto tabular, de potencia inferior a 8 m. Generalmente, extendiéndose poco más de 1 Km. en dirección NE-SO y unos 500 m. Con débil pendiente hacia el Este. A pesar de las condiciones de afloramiento y deformación posterior, parece que la mineralización es concordante con la estratificación a grandes rasgos.

#### **7.1.1.2. Hierro**

La mayoría de las mineralizaciones de hierro en la hoja de ventas de Irún 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. El filón más importante en la hoja de Ventas de Irún, es el denominado Porvenir, encajado en granito y con una mineralización de siderita, pirita, esfalerita, pirrotina y óxidos de hierro. Su estructura es masiva y esta fuertemente brechificado.

Otra mineralización de otro tipo es la de concreciones estratiformes. En este caso la más importante es la de la Mina Ley, situada próxima a la localidad de Vera de Bidasoa, aunque en término municipal de Lesaka, entre los barrios de Zalain y Alcayaga. Es un yacimiento de hematites de poca importancia que dejó de explotarse en el año 1978. Esta es una capa concordante con las pizarras carboníferas y esta constituida por hematites, cuarzo, limonita, goethita y galena.

Por último, la mineralización de la antigua mina de Eskolamendi, consiste en una masa encajada en las pizarras con intercalaciones carbonatadas. Es una mineralización muy parecida a la de la mina Ley, formada por magnetita, hematites, pirita y clorita.

El resto de indicios de hierro en esta Hoja son menos importantes, en un total de siete, como los existentes en Montoya, encajados en granito, o los de Monte Baldrum, Izotzaldea, Makuko Borda, Atxuritzeko, Lesaka, Erreka Hucha, que aparecen en mineralizaciones encajadas en calizas o pizarras carboníferas..

#### **7.1.1.3. Cobre**

La única mineralización de cobre en la Hoja de Ventas de Irún, como en el resto de Cinco Villas, es filoniana. Se encuentra en la zona de Ibardín, y se trata de un filón de siderita con calcopirita y siderita subordinadas, en una tipología clásica, encajado en pizarras paleozoicas

#### **7.1.2. Rocas industriales**

Pertenecen a este grupo las explotaciones de granito y calizas, siendo las únicas rocas industriales que se explotan en esta zona. Se trata de dos explotaciones, ambas activas en la actualidad, una de granito, que se localiza en la cantera Acozpe, en Antzuzelay y otra de calizas, en la margen izquierda del río Bidasoa, aunque en la actualidad no se explota, ya que la principal explotación tiene lugar en la cantera Arcaítza, en la margen derecha del Bidasoa, ya en la Hoja 65-II.

#### **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; 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 parte Navarra de la hoja escala 1:25.000 de Ventas de Irún (65-I) comprende una zona montañosa de relieves contrastados, con dos áreas litológicamente bien definidas. El macizo granítico de Peñas de Aya que ocupa toda la zona occidental de Navarra y el macizo de Cinco Villas, donde afloran depósitos paleozoicos en una serie pelítica monótona. El límite entre las provincias de Navarra y Guipúzcoa es también el límite entre las cuencas de los ríos Bidasoa y Urumea, por lo que todos los cursos fluviales forman parte de la cuenca del río Bidasoa. Este sigue un curso sur-norte, muy próxima ya su desembocadura en el Cantábrico. El afluente principal del Bidasoa es el Endara que recoge las aguas del macizo de Peñas de Aya.

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 Vera de Bidasoa (65-IV), 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 se han distinguido los siguientes niveles acuíferos:

Acuíferos principales	Albiense
Acuíferos secundarios	Paleozoico
	Buntsandstein
	Cretácico superior calcáreo
	Cuaternario

### **7.2.3. Acuíferos principales**

#### **7.2.3.1. Albiense**

La serie aparece aflorando junto a los demás materiales carbonáticos permeables, aunque es más frecuente su presencia en el borde Norte del Macizo de Cinco Villas, dando resaltes topográficos considerables. Está formada por calizas bioconstruidas correlacionables con el “Complejo Supraurgoniano” y relacionadas con estructuras anticlinales y sinclinales, incluidas en un conjunto esencialmente margoso. En conjunto, la serie presenta un alto grado de Karstificación y fracturación, por lo que la permeabilidad es elevada.

En el muro de este complejo carbonatado, se observa unos niveles de areniscas y conglomerados con intercalaciones de limos y arcillas, que constituyen un sistema acuífero detrítico poco importante en continuidad hidrológica con el acuífero principal carbonatado.

#### **7.2.4. Acuíferos secundarios**

##### **7.2.4.1. Acuíferos aislados del Paleozoico (Devónico y Carbonífero)**

En el Carbonífero se incluyen los materiales calcáreos correspondientes a la formación Elorzuri. En conjunto se trata de calizas y dolomías, en ocasiones intensamente recrystalizadas, con un espesor muy variable. Los afloramientos calcáreos del Carbonífero no son muy numerosos en esta hoja y están reducidos a pequeños lentejones intercalados en la serie pelítica y a unos pequeños retazos en la esquina suroccidental.

En general, estos niveles paleozoicos presentan un elevado grado de recrystalización 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.

##### **7.2.4.2. Buntsandstein**

Los afloramientos del Buntsandstein, ocupan una superficie reducida a lo largo de la falla de Aritxulegui por lo que su importancia como acuíferos es muy reducida. La composición básica de esta formación consiste en granos de cuarzo subangulosos y fragmentos de rocas metamórficas con matriz sericitica. 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.

#### **7.2.4.3. Cretácico superior calcáreo**

Los materiales del Cretácico superior calcáreo afloran en el sinclinal de Vera-Zugarramurdi. Está formado fundamentalmente por calizas arcillosas, permeables por fracturación, fisuración y carstificación. Su escaso desarrollo y la presencia de materiales intercalados de muy baja permeabilidad disminuye la capacidad acuífera de estos niveles, ya que el alto porcentaje en arcillas, así como la intercalación de niveles de estos mismos materiales dificultan su karstificación y disminuyen su importancia hidrogeológica.

#### **7.2.4.4. 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.

Para estos depósitos, 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 areno limosa o areno 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.

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

#### **7.2.5. 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. Dichos puntos se localizan en el listado adjunto.

Codigo	Nombre	U_hidrog	Utmx	Utmy	Caudal l/s	Fecha
970	Santinenea	90	613805	4789967	0.49	02/02/71
2288	Fuente arleun	90	619706	4792276	2.24	05/07/77
936	Gorosusta	90	611885	4789962	0.81	22/01/71
2288	Fuente arleun	90	619706	4792276	2.24	05/07/77
2288	Fuente arleun	90	619706	4792276	5.25	07/02/71
2272	Fuente argandoita	90	620065	4792043	4.00	05/07/77
2412	Ascar	90	620199	4790561	3.94	02/03/71
2293	Fuente arleun	90	619315	4792067	7.50	08/02/71
943	Navalsa	90	613756	4790161	0.22	25/01/71
939	Marticonea	90	611998	4790218	0.32	22/01/71
935	Miaca	90	611222	4790226	0.21	22/01/71
934	Monoco	90	611196	4789947	0.38	22/01/71
944	Aldalurra	90	612712	4789995	1.29	25/01/71
937	Alzugaray	90	611666	4789939	1.22	22/01/71
938	Errando	90	611620	4790092	0.05	22/01/71
2412	Ascar	90	620199	4790561	2.00	05/07/77
2393	Elzuspe	90	617891	4791691	3.85	26/02/71

2272	Fuente argandoita	90	620065	4792043	3.20	05/02/71
2272	Fuente argandoita	90	620065	4792043	4.00	05/07/77
2454	Artasin	90	617642	4791947	3.21	11/07/77
2288	Fuente arleun	90	619706	4792276	5.25	07/02/71
2393	Elzuspé	90	617891	4791691	7.30	05/07/77
2293	Fuente arleun	90	619315	4792067	6.50	05/07/77
2367	Orbia	90	618313	4791094	3.60	23/02/71
2363	Aitxpaz	90	618690	4791264	3.09	05/07/77
2363	Aitxpaz	90	618690	4791264	5.56	23/02/71
2356	Goiburua	90	618958	4791724	2.16	05/07/77
2356	Goiburua	90	618958	4791724	4.12	22/02/71
2293	Fuente arleun	90	619315	4792067	6.50	05/07/77
2293	Fuente arleun	90	619315	4792067	7.50	08/02/71
2454	Artasin	90	617642	4791947	4.89	09/03/71

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-I correspondiente a Ventas de Irún, 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>

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.

UNIDAD CARTOGRÁFICA	ZONACIÓN GEOTÉCNICA	DESCRIPCIÓN
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 silexitas
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 Nº 200 (0.08 mm) de la serie ASTM. Estos datos son utilizados posteriormente en diversas clasificaciones.

- **Plasticidad.** La clasificación de los suelos cohesivos según su plasticidad se ha efectuado con el límite líquido (WL) y el índice de plasticidad (IP), utilizando la carta de plasticidad de Casagrande.
- **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.

- 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 $Kp/cm^2$	Consistencia
< 0,25	Muy blando
0,25 a 0,50	Blando
0,50 a 1	Medio
1 a 2	Firme
2 a 4	Muy firme
> 4	Duro

- Ensayo de Carga Puntual ( $Is$ ,  $Kp/cm^2$ ). 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  $Is$  presenta una buena correlación con el ensayo de resistencia a compresión simple ( $Qu$ ), mediante la siguiente relación:  $Qu = f \cdot Is$ , 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<sup>2</sup>). 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<sup>2</sup>, 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	$\sigma_{tb}$ , 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.

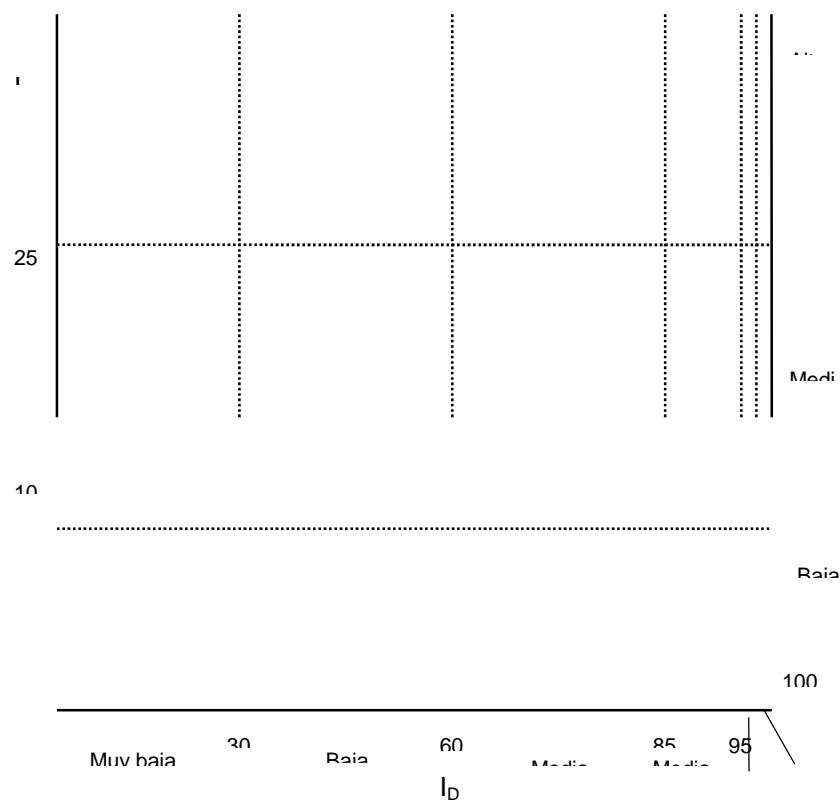


Fig. 6.3. Clasificación de durabilidad-plasticidad en rocas arcillosas propuesta por GAMBLE (ISRM, 1972).

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 Firms Flexibles y Firms 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

Aparecen algunos diques de cuarzo en el entorno del macizo de Peñas de Aya y en filones en la serie pelítica carbonífera. Los afloramientos son únicamente dos de reducidas dimensiones en la esquina suroriental de la Hoja

- Características geológicas

Los materiales que definen esta Zona están formados por filones de cuarzo, ofitas y niveles interestratificados de basaltos (Unidades 1,3 y 19 respectivamente). 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 ( $>1500 \text{ Kp/cm}^2$ ). 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.

- 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.

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

- Localización

Se localiza en el macizo de Peñas de Aya, formado por un stock granítico, que en esta Hoja ocupa toda la zona occidental de la Hoja perteneciente a la Comunidad Foral de Navarra

- Características geológicas

Los materiales que definen esta Zona están formados por leucogranitos que forman la unidad externa (Unidad 4) y granitos, granodioritas y gabrodioritas en la unidad interna (Unidad 5). En el stock granítico aparecen diques de cuarzo, pegmatitas, aplitas y diques básicos.. El grado de alteración superficial es variable, siendo bajo en zonas de alta pendiente, aumentando en las zonas de menor relieve.

- Características geotécnicas

A continuación se describen los valores más característicos:

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

Resistencia a Compresión Simple (Qu)	3000 Kp/cm <sup>2</sup>
Modulo de Poisson (roca sana)	39.000-890.000 kp/cm2
Modulo de Poisson (roca alterada)	700-230.000 kp/cm2

Cohesión	100-480 kp/cm <sup>2</sup>
----------	----------------------------

Angulo de rozamiento	51°-58°
----------------------	---------

Como se puede observar, la resistencia a compresión simple en rocas sanas es muy alta, descendiendo considerablemente en rocas alteradas, que llegan a comportarse como suelos. Presentan un grado de alteración superficial variable, siendo éste importante en zonas de alteración y de fracturas y diaclasas

- Características constructivas

1. Condiciones de cimentación. Capacidad portante muy alta. La cimentación se debe realizar 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 al tratarse de rocas Duras.

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).

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

- Localización

Aparece ampliamente representada en toda la Hoja, ocupando toda la zona oriental a excepción de la banda de la falla de Aritxulegui.

- 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 conglomeráticas.

- 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 ( $< 250 \text{ Kp/cm}^2$ ). 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 resistivos. 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

Aparecen como paquetes de calizas lenticulares cuya potencia es inferior y no superan los 50 metros, como el que se puede apreciar en un corte de la carretera de Lesaka a Oyarzun, cerca ya del plutón granítico

Su naturaleza litológica determina una buena expresión morfológica de estos materiales en el paisaje, definiendo zonas con relieves importantes en algunas zonas.

- 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 (Unidades Geológicas 8, 10, 12,13,14).

- 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.

#### **7.3.4.4. Área III**

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

- Localización

En esta zona únicamente aparecen a lo largo de la falla de Aritxulegui, y en las proximidades de Vera de Bidasoa.

- 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 ( $Q_u$ )	1010 Kp/cm <sup>2</sup>
$Q_u$ 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

Afloran al sur de Vera de Bidasoa, en la zona de Baldrun.

- 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 PROCTOR	1,65 gr/cm <sup>3</sup>
Humedad PROCTOR	19,1 %
CBR 95 % Densidad PROCTOR	1,12
CBR 100 % Densidad PROCTOR	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

Alora en un único afloramiento al este de la Hoja, en el flanco Norte del Sinclinal de Vera, aprovechando la existencia de dos fracturas de dirección aproximada Norte-Sur, que provocan su aparición.

- 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 asientos 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 asientos 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).

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

- Localización

Esta unidad cartográfica, como la anterior, aflora en el sector de la falla de Aritxulegi y su continuación en el sinclinal de Vera. Los primeros afloramientos aparecen al oeste del embalse Endara. Hacia el Este, la unidad va ocupando el núcleo del Sinclinal de Vera, donde en las proximidades ya de Vera, empieza a desarrollarse.

- Características geológicas

Está constituida por depósitos del Cenomaniense-Campaniense, formados por una alternancia de apariencia turbidítica que comienza con unos niveles de brechas de naturaleza calcárea y algunos de ellos silíceos, lutitas y cuarcitas con matriz siempre calcárea de modo que aparece en campo como un tramo calcáreo homogéneo cuando no existen soportes detríticos, distribuidos en bancos decimétricos, tamaño medio de los cantos es del orden de 3 cm. Hacia techo continúa por una alternancia de margas y areniscas calcáreas de tonos cremas, estratificadas en bancos centimétricos.

- Características geotécnicas

La característica fundamental del macizo rocoso que constituye esta zona, es la alternancia de materiales de diferente litología (y por tanto, diferente comportamiento mecánico) en estratos y capas de espesor variable, factores estos que condicionan decisivamente el comportamiento geomecánico del conjunto. Se dispone de ensayos geotécnicos realizados sobre niveles carbonatados sanos en áreas de litología similar y próxima, cuyos valores más característicos se describen a continuación:

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

Densidad seca	2,6 gr/cm <sup>3</sup>
R.Q.D.	50 %
Grado de Meteorización	1
Resistencia Compresión Simple (Qu)	400,8 Kp/cm <sup>2</sup>
Qu a partir del Point Load Test	738 Kp/cm <sup>2</sup>

Cabe destacar de estos valores el bajo grado de meteorización y los resultados de resistencia, tanto de los ensayos de compresión simple como del de Carga Puntual (Point Load Test), que permiten clasificar los niveles competentes de caliza como rocas de una resistencia media a alta. Los niveles margosos menos competentes, según los criterios de la ISRM se clasifican con una resistencia muy baja (<50 Kp/cm<sup>2</sup>). Debido a la alta alterabilidad de los niveles margosos y calcomargosos, en superficie se desarrollarán niveles de alteración superficial de profundidad variable.

Desde el punto de vista hidrogeológico, la alta proporción de arcillas y margas marcan la baja permeabilidad del conjunto, por lo que no se espera presencia de agua en profundidad.

- **Características constructivas**

1. Condiciones de cimentación. La Norma DIN 1054 y el Código Británico establece presiones admisibles de 20 Kp/cm<sup>2</sup>, valores que deben reducirse a la mitad cuando el espesor de los tramos margosos aumenta o la disposición de

la estratificación y el grado de diaclasado son desfavorables. Tomando valores conservadores, la capacidad portante de estos materiales se sitúa entre 6 y 10 Kp/cm<sup>2</sup>, suficientes para el caso de edificios habituales en los que las cargas proyectadas son inferiores a 3 - 4 Kp/cm<sup>2</sup>.

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

## 2. Condiciones para obras de tierra.

Excavabilidad. Los tramos carbonatados constituyen Terrenos Duros, atacables por medios mecánicos. Las margas, arcillas y niveles calcomargosos son en general ripables.

Estabilidad de taludes. Presentan una estabilidad de conjunto buena. Puntualmente pueden producirse desprendimientos de niveles margosos laminados, y fenómenos de vuelco de estratos.

Empuje sobre contenciones. Será de tipo bajo, ocasionalmente de tipo medio en zonas margosas alteradas.

Aptitud para préstamos. Las arcillas, margas y calizas margosas se consideran rocas No Aptas para su uso en terraplenes y pedraplenes. Los niveles de calizas constituyen por el contrario, Terrenos Adecuados y Seleccionados.

Aptitud para explanada en carreteras. En terraplenes y pedraplenes solo los niveles de calizas constituyen préstamos adecuados para la coronación de los mismos. En el caso de desmontes, la categoría de la explanada en calizas es la E-3, mientras que en tramos arcillosos margosos y calcomargosos, constituyen Terrenos Marginales, precisando la extensión sobre ellos de una plataforma mejorada.

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

#### **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.

- 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 las 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.

- 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 asientos 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 geológico 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 Südtiles des Baskische 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 Pyrénéennes, 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 Golfe 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 paleozoiques 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. París.

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 ayant 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 datos morfo-estructurales sobre el Pérmico y Triásico 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 País 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, París.

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.Tectogénese et sédimentation: deus modèles de discordances syntectoniques pyrénéennnes..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. desroches intrusives trias. des ecailles du socle profond et gîtes de chlrorite 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.