

**LABORATORIO XEOLÓXICO DE LAXE**

**serie / NOVA TERRA**

**DEFORMACIÓN, METAMORFISMO Y  
EXHUMACIÓN DE LAS GRANULITAS DE  
ALTA PRESIÓN DE LA BACARIZA (COMPLEJO DE  
CABO ORTEGAL, NO DE ESPAÑA)**

**Pablo Puelles Olarte**

AREA DE XEOLOXIA E MINERIA DO SEMINARIO DE ESTUDOS GALEGOS

**2004**

ISBN: 84-608-0068-7  
Depósito Legal: C-113-04  
Imprime: TÓRCULO  
A Coruña, 2004

Fotografía de cubierta: Pablo Puelles

Morfologías concéntricas cerradas (en ojo) correspondientes a secciones de pliegues en vaina perpendiculares a la lineación. Granulitas intermedias

Maquetación y Portada: Fernando López

### FICHA DE CATALOGACIÓN

PUELLES OLARTE, Pablo

Deformación, metamorfismo y exhumación de las granulitas de alta presión de la Bacariza (Complejo de Cabo Ortegal, NO de España) / Pablo Puelles Olarte. -- Edición do Castro. Laboratorio Xeolóxico de Laxe. Area de Xeoloxía e Minería do Seminario de Estudos Galegos, 2004.  
411 pp.: 35 tabl.; 89 fig.; 2 map.; 24 cms; (Serie Nova Terra; 23)

Tesis Doctoral Universidad del País Vasco. -- Bibliografía: p. 317-352. -- Incluye Índice.

ISBN: 84-608-0068-7 D.L.: C-113-04

1. Geología Estructural - Galicia - España 2. Cabo Ortegal - Galicia - España

I. Laboratorio Xeolóxico de Laxe, ed. II. Seminario de Estudos Galegos. Area de Xeoloxía e Minería, ed. III. Serie

## Abreviaturas

Se han utilizado las abreviaturas propuestas por Bucher y Frey (1994), las cuales son una extensión de las de Kretz (1983).

Ab	albita	Omp	onfacita
Acm	acmita	Opx	ortopiroxeno
Act	actinolita	Phe	fengita
Ae	aegirina	Pl	plagioclasa
Alm	almandino	Prg	pargasita
An	anortita	Prp	piropo
And	andalucita	Qtz	cuarzo
Ann	annita	Rt	rutilo
Ap	apatito	Scp	escapolita
Aug	augita	Sps	espesartina
Bt	biotita	Ttn	titanita
Cal	calcita	Wo	wollastonita
Cel	celadonita	Zo	zoisita
Cpx	clinopiroxeno		
Czo	clinozoisita		
Chl	clorita		
Di	diópsido		
Dol	dolomita		
Ep	epidota		
Grs	grosularia		
Grt	granate		
Hbl	hornblenda		
Jd	jadeíta		
Kfs	feldespato potásico		
Ky	distena		
Ilm	ilmenita		
Mag	magnetita		
Mgs	magnesita		
Ms	moscovita		
Ol	olivino		

## RESUMEN

Las granulitas de alta presión que constituyen la Formación Bacariza afloran extensamente en la parte central del Complejo de Cabo Ortegá, donde se observa que dicha formación muestra contactos tectónicos con las unidades adyacentes superiores (macizos ultramáficos de Limo y Herbeira y Uzal), e inferiores (formaciones eclogítica, Gneises Bandedados y de Chimparra). En la Formación Bacariza se han distinguido y cartografiado cinco tipos granulíticos principales: granulitas ultramáficas o pirigarnitas, granulitas máficas, granulitas máficas ricas en Mg, granulitas intermedias-félsicas y ortogneises granulíticos, cuyas asociaciones minerales en equilibrio están foadas principalmente por granate, clinopiroxeno y plagioclasa, apareciendo zoisita, distena, cuarzo, escapolita y rutilo en distinta proporción según el tipo granulítico considerado. Además, se han reconocido otras litologías de importancia volumétricamente mucho menor, tales como ultramilonitas de apariencia fluidal, niveles carbonatados, gneises con granate y biotita, rocas calcosilicatadas, eclogitas, meta-serpentinitas y gabros no deformados.

Se han distinguido dos fases de deformación ( $D_1$  y  $D_2$ ) desarrolladas en condiciones de presión y temperatura propias de la facies de las granulitas de alta presión y enmarcadas en un proceso único de deformación progresiva. La primera fase tuvo lugar en condiciones de ca.  $1.55 \pm 0.1$  GPa y  $755 \pm 35$  °C y dio lugar al desarrollo de una fábrica penetrativa plano-linear  $S_1-L_1$ . La lineación  $L_1$  es subhorizontal y presenta una orientación muy constante NNE, subparalela a la dirección de las lineaciones  $L_1$  del resto de las unidades de alta presión del Complejo de Cabo Ortegá. Las fábricas  $S_1$  y  $L_1$  fueron replegadas isoclinalmente durante la propia fase de deformación  $D_1$ , dando lugar a pliegues en vaina, pliegues de tipo -a-, interferencias de pliegues, pliegues desenraizados y otras estructuras de transposición tectónica. La segunda fase de deformación ( $D_2$ ) tuvo lugar en condiciones de ca.  $1.46 \pm 0.1$  GPa y  $705 \pm 40$  °C y está relacionada con el desarrollo de zonas de cizalla dúctil, pliegues en vaina e isoclinales y milonitas. A escala cartográfica queda representada por las asociaciones estructurales de las zonas de contacto con las eclogitas y las formaciones gneíscas infrayacentes. La deformación asociada a la fase  $D_2$  es del tipo de la constricción general, desviándose ligeramente de una deformación plana a volumen constante por cizalla simple heterogénea. Estos materiales se habrían deformado plásticamente en un régimen de esfuerzos diferenciales moderados a bajos. El análisis estructural de las trayectorias de las foliaciones pone de relieve la existencia de una estructuración interna en las granulitas adquirida durante episodios de deformación ligeramente anteriores a los relacionados con la fase  $D_1$  y el reconocimiento de las zonas apicales de pliegues con geometría en vaina de escala kilométrica. Los procesos de deformación  $D_1$  y  $D_2$  fueron postdatados por un proceso de simplectitización estática en unas condiciones  $1.23 \pm 0.05$  GPa y  $695 \pm 35$  °C, a los que siguieron otros procesos de anfibolitización (normalmente estática, aunque ocasionalmente relacionadas con la formación de cizallas discretas de bajo ángulo durante una fase de deformación  $D_3$ ) en unas condiciones de presión de  $1.19 \pm 0.03$  GPa a una temperatura de  $645 \pm 40$  °C.

El estudio petroestructural de algunos de los principales minerales petrográficos y el análisis cinemático de sus diversas fábricas, microestructuras, así como el de las estructuras mayores han permitido concluir que los procesos deformacionales de alta presión tuvieron cierto carácter cons-

trictivo y estuvieron acompañados de componentes rotacionales. Los criterios cinemáticos indican de forma congruente un desplazamiento tectónico de los bloques de techo hacia el NNE durante las fases de deformación  $D_1$  y  $D_2$ . El estudio de la deformación de los granates elongados de algunas granulitas sugiere la operatividad de procesos de plasticidad intracristalina a altas temperaturas. La microfracturación de este mineral evidencia una deformación frágil a temperaturas inferiores a 300 °C, desarrollándose algunas de las fracturas en condiciones de esfuerzos y velocidades de deformación características de zonas sujetas a sismicidad. Las fábricas cristalográficas del anfíbol mimetizan a las del clinopiroxeno. El análisis petroestructural del cuarzo en cintas policristalinas muestra que los esfuerzos diferenciales debieron de ser bajos durante las fases de deformación de alta presión (entre 5 y 30 MPa), que las velocidades de deformación fueron relativamente elevadas en las zonas de cizalla  $D_2$  ( $10^{-11}$ - $10^{-13}$  s $^{-1}$ ) y que estas zonas de cizalla tuvieron un comportamiento reológico viscoso (con una viscosidad efectiva del orden de  $10^{18}$  Pa•s).

# ÍNDICE

Página

## CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN

I.1. INTRODUCCIÓN .....	17
I.1.1. PRESENTACIÓN .....	17
I.1.2. OBJETIVOS .....	17
I.1.3. ORGANIZACIÓN DE LA MEMORIA .....	18
I.1.4. MÉTODOS Y TÉCNICAS DE ESTUDIO .....	19
I.1.4.1. Trabajo de campo .....	19
I.1.4.2. Trabajo de laboratorio .....	19
I.2. MARCO GEOGRÁFICO .....	20
I.3. MARCO GEOLÓGICO .....	21
I.3.1. LA CADENA HERCÍNICA .....	21
I.3.2. EL MACIZO IBÉRICO .....	24
I.3.3. LOS COMPLEJOS ALÓCTONOS .....	27
I.3.4. EL COMPLEJO DE CABO ORTEGAL .....	29
I.4. GEOLOGÍA DE LOS TERRENOS GRANULÍTICOS .....	30
I.4.1. GRANULITAS DE METAMORFISMO REGIONAL .....	30
I.4.1.1. Terminología .....	30
I.4.1.2. Características generales de los terrenos granulíticos .....	32
I.4.1.3. Significado e importancia de las granulitas .....	36
I.4.2. GRANULITAS ALTA PRESIÓN: FORMACIÓN E IMPLICACIONES TECTÓNICAS ..	39

## CAPÍTULO II

### LITIOESTRATIGRAFÍA Y PETROGRAFÍA

II.1. ANTECEDENTES .....	43
II.1.1. LA FORMACIÓN BACARIZA EN EL CONTEXTO DEL COMPLEJO DE CABO ORTEGAL .....	43
II.1.2. ORIGEN DE LOS PROTOLITOS DE LAS GRANULITAS DE ALTA PRESIÓN ...	46
II.1.3. METAMORFISMO .....	47
II.2 ORGANIZACIÓN LITIOESTRATIGRÁFICA DE LA FORMACIÓN BACARIZA .....	49
II.2.1. RASGOS GENERALES .....	49
II.2.2. RELACIONES ENTRE LAS GRANULITAS DE LA FORMACIÓN BACARIZA Y LAS ROCAS ADYACENTES .....	51
II.2.3. PSEUDOESTRATIGRAFÍA DE LA FORMACIÓN BACARIZA .....	51
II.3. TIPOLOGÍAS GRANULÍTICAS .....	53
II.3.1. GRANULITAS ULTRAMÁFICAS O PIRIGARNITAS .....	53
II.3.1.1. Características litoestratigráficas .....	53
II.3.1.2. Petrografía y composición química .....	55
II.3.2. GRANULITAS MÁFICAS .....	76
II.3.2.1. Características litoestratigráficas .....	76
II.3.2.2. Petrografía y composición química .....	77
II.3.3. GRANULITAS INTERMEDIAS-FÉLSICAS .....	89
II.3.3.1. Características litoestratigráficas .....	89
II.3.3.2. Petrografía y composición química .....	90
II.3.4. GRANULITAS MÁFICAS RICAS EN Mg .....	102
II.3.4.1. Características litoestratigráficas .....	102
II.3.4.2. Petrografía y composición química .....	103
II.3.5. ORTOGNEISES GRANULÍTICOS .....	114
II.3.5.1. Características litoestratigráficas .....	114
II.3.5.2. Petrografía y composición química .....	115
II.4. OTRAS LITOLOGÍAS .....	122
II.4.1. ULTRAMILONITAS DE APARIENCIA FLUIDAL .....	122
II.4.1.1. Características litoestratigráficas .....	122
II.4.1.2. Petrografía .....	123
II.4.2. NIVELES CARBONATADOS .....	128
II.4.2.1. Características litoestratigráficas .....	128
II.4.2.2. Petrografía y geoquímica mineral .....	128
II.4.3. GNEISES CON GRANATE Y BIOTITA .....	132
II.4.3.1. Características litoestratigráficas .....	132
II.4.3.2. Petrografía .....	133

II.4.4. TIPOS TRANSICIONALES ENTRE GRANULITAS Y ECLOGITAS .....	136
II.4.5. ROCAS CALCOSILICATADAS .....	138
II.4.6. METASERPENTINITAS .....	138
II.4.7. GABROS NO DEFORMADOS .....	139

### CAPÍTULO III GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

III.1. INTRODUCCIÓN .....	145
III.2. FASES DE DEFORMACIÓN RECONOCIBLES EN LA FORMACIÓN BACARIZA Y EN LAS UNIDADES ADYACENTES .....	148
III.2.1. DEFORMACIONES MANTÉLICAS $D_{HT}$ .....	150
III.2.2. DEFORMACIONES DE ALTA PRESIÓN $D_1$ .....	152
III.2.3. DEFORMACIONES DE ALTA PRESIÓN $D_2$ .....	157
III.2.4. DEFORMACIONES $D_3$ Y $D_4$ .....	166
III.2.5. DEFORMACIONES TARDÍAS .....	170
III.3. ANÁLISIS GEOMÉTRICO DE LAS ESTRUCTURAS MENORES .....	170
III.3.1. FOLIACIONES Y LINEACIONES .....	171
III.3.2. PLIEGUES .....	175
III.3.2.1. Introducción .....	175
III.3.2.2. Descripción y clasificación de los pliegues .....	178
III.3.2.3. Origen e interpretación de los pliegues .....	198
III.3.3. ASOCIACIÓN ESTRUCTURAL DEL CONTACTO BASAL DE LOS MACIZOS ULTRAMÁFICOS .....	202
III.3.3.1. Análisis geométrico de las zonas de cizalla $D_2$ .....	206
III.3.3.2. Análisis reológico de las zonas de cizalla $D_2$ basado en argumentos geométricos ..	212
III.4. ORGANIZACIÓN ESTRUCTURAL DE LA FORMACIÓN BACARIZA .....	218
III.4.1. GEOMETRÍA Y ORIENTACIÓN DE LOS CONTACTOS CON LAS UNIDADES ADYACENTES .....	218
III.4.1.1. El contacto entre las granulitas y las rocas ultramáficas .....	218
III.4.1.2. El contacto entre las granulitas y las eclogitas .....	222
III.4.1.3. El contacto entre las granulitas y las formaciones gneísicas .....	223
III.4.2. SOBRE EL POSIBLE ORIGEN TEMPRANO DE LAS FALLAS ONO-ESE .....	225
III.5. RECONSTRUCCIÓN GEOMÉTRICA .....	226
III.5.1. PROYECCIÓN ESTRUCTURAL “DOWN PLUNGE” .....	229
III.5.2. GEOMETRÍAS AXIAL Y TRANSVERSAL. ESTRUCTURA TRIDIMENSIONAL. DISCUSIÓN .....	232



**CAPÍTULO IV  
METAMORFISMO Y TERMOBAROMETRÍA**

IV.1. INTRODUCCIÓN .....	239
IV.2. ASOCIACIONES MINERALES EN EQUILIBRIO .....	239
IV.2.1. ASOCIACIONES MINERALES D <sub>1</sub> .....	239
IV.2.2. ASOCIACIONES MINERALES D <sub>2</sub> .....	241
IV.2.3. PROCESO DE SIMPLECTITIZACIÓN .....	241
IV.2.4. ASOCIACIONES MINERALES D <sub>3</sub> .....	241
IV.3. TERMOBAROMETRÍA .....	242
IV.3.1. CRITERIOS DE SELECCIÓN DE DATOS Y RESULTADOS .....	243
IV.3.1.1. Condiciones termobáricas de la fase de deformación D <sub>1</sub> .....	243
IV.3.1.2. Condiciones termobáricas de la fase de deformación D <sub>2</sub> .....	246
IV.3.1.3. Condiciones termobáricas del proceso de simplectitización .....	246
IV.3.1.4. Condiciones termobáricas del proceso de anfibolitización .....	248
IV.3.2. SIGNIFICADO DE LOS DATOS .....	248
IV.4. TRAYECTORIA PRESIÓN-TEMPERATURA-TIEMPO .....	250

**CAPÍTULO V  
ANÁLISIS MICROTTECTÓNICO Y CINEMÁTICO**

V.1. INTRODUCCIÓN .....	255
V.2. ANÁLISIS MICROTTECTÓNICO DEL GRANATE .....	256
V.3. ANÁLISIS MICROTTECTÓNICO DEL CLINOPIROXENO .....	264
V.4. ANÁLISIS MICROTTECTÓNICO DEL ANFÍBOL .....	272
V.5. PETROFÁBRICA DEL CUARZO .....	274
V.6. ANÁLISIS CINEMÁTICO .....	289
V.6.1. CRITERIOS CINEMÁTICOS DE FASE D <sub>1</sub> .....	291
V.6.2. CRITERIOS CINEMÁTICOS DE FASE D <sub>2</sub> .....	296

**CAPÍTULO VI  
CONCLUSIONES Y MODELO TECTÓNICO**

VI.1. CONCLUSIONES GENERALES .....	303
VI.2. MODELO TECTÓNICO PARA EL COMPLEJO DE CABO ORTEGAL .....	305
VI.3. INTERPRETACIONES TECTÓNICAS ALTERNATIVAS. DISCUSIÓN .....	311

**BIBLIOGRAFÍA**

BIBLIOGRAFÍA .....	317
--------------------	-----