

## Données sur le métamorphisme régional hercynien dans le dôme du Tormes (provinces de Salamanca et Zamora, Espagne).

Par FRANCISCO J. MARTÍNEZ, Barcelona \*)

Avec 3 figures

### Zusammenfassung

Die hercynische Metamorphose in einem Gebiet des zentralen Westteiles der Iberischen Halbinsel wird dargestellt. Diese Zone ist charakterisiert durch das Vorhandensein einer präkambrischen sowie einer ordovizischen Serie, die durch drei Hauptphasen hercynischer Deformation geprägt wurden, und zwei verschiedener granitischer Serien.

Vier verschiedene metamorphe Zonen werden unterschieden, die durch das Vorkommen der folgenden Index-Mineralen gekennzeichnet sind: Chlorit, Biotit, Andalusit-Cordierit und Sillimanit-Kali-Feldspat. In jeder Zone werden die vorhandenen Paragenesen nach der Thompson- und der Barker-Methode untersucht, und eine Subfazies-Abfolge, die zu einer Niederdruckmetamorphose des Abukama-Typs gehört, wird beschrieben.

Die Isograden bilden, obwohl sie stellenweise mit der hercynischen NW-SE-Richtung zusammenfallen, insgesamt eine längliche Queraufwölbung. Diese ungewöhnliche Erscheinung könnte auf die große Tiefe des Grundgebirges zurückzuführen sein.

### Abstract

In this paper the general characteristics of the Hercynian metamorphism in an area situated in the Central-Western part of the Iberian Peninsula are given. This zone is characterised by the presence of a Precambrian series and an Ordovician one affected by three main phases of Hercynian deformation, and by the presence of two different granitic series.

Four different metamorphic zones have been established and they are characterised by the appearance of the following index minerals: chlorite, biotite, andalusite-cordierite and sillimanite-K feldspar. In each zone the present parageneses are studied according to the THOMPSON and BARKER methods and a main suite of subfacies belonging to a low pressure metamorphism of Abukuma type is defined.

The isograds, though locally have the NW—SE hercynian direction, draw as a whole a transversally elongated dome. These unexpected attitude of the isograds could be originated by the deep socle characteristics.

### Résumé

Dans ce travail sont présentées les caractéristiques du métamorphisme régional hercynien dans une zone située dans la partie Centre-Occidentale de la Péninsule Iberique. Cette zone est caractérisée par la présence de matériaux proterozoïques et de un Ordovicien discordant affectés par trois phases principales de déformation hercyniennes et par l'existence de deux séries granitiques différentes.

Quatre zones métamorphiques caractérisées par l'apparition des minéraux indices suivants y ont été définies: chlorite, biotite, andalousite-cordierite et sillimanite-K feldspath. Dans chaque zone les différentes paragenèses existantes ont été analysées par la méthode de THOMPSON et BARKER. Cela a permis de définir une suite principale de

---

\*) Adresse de l'auteur: Depto de Petrologia, Facultad de Ciencias, Universidad Autonoma de Barcelona; Bellaterra (Barcelona), Espagne.

subfacies qui correspondent a un métamorphisme a basse pression type Abukuma. Les isogrades, bien que coïncidant localement avec la direction hercynienne NW—SE, dessinent dans leur ensemble un dôme allongé transversalement. Cette disposition paradoxale pourrait être due a la nature profonde du socle.

### Resumen

En este trabajo se exponen las características que presenta el metamorfismo hercyniano en una zona situada en la parte Centro-Occidental de la Península Ibérica. Esta zona está caracterizada por la presencia de una serie precámbrica y de un Ordovícico afectados por tres fases principales de deformación hercynianas y por la presencia de dos series graníticas diferentes.

Se han definido cuatro zonas metamórficas caracterizadas por la aparición de los siguientes minerales índice: clorita, biotita, andalucita-cordierita y sillimanita-feldespatopotáxico. En cada una de estas zonas se han analizado las diferentes paragénesis existentes de acuerdo con los métodos de THOMPSON y BARKER y se definido una suite principal de subfacies que corresponden a un metamorfismo de baja presión tipo Abukuma. La disposición de las isogradas alrededor de un núcleo de orientación NE—SW, aunque localmente coincide con la dirección hercyniana NW—SE, es paradójica y podría deberse a la naturaleza profunda del zócalo.

### Краткое содержание

Описан метаморфизм центра западной части Иберийского полуострова. Эта зона характеризуется присутствием докембрийской и ордовикской серий, преобразованных тремя основными фазами герцинской деформации, и двумя гранитными сериями.

Различают четыре зоны метаморфизма, характеризующиеся присутствием следующих индексных минералов: хлорит, биотит, андалузит-кордиерит и силлиманит-калиевой полевой шпат. Имеющиеся парагенезы исследовали в каждой зоне методами Томпсона и Баркера; описана субфациальная серия, принадлежащая к метаморфизму низкого давления типа Абукум.

Изограды образуют в общем продолговатое поперечное утолщение, хотя порой и совпадают с герцинским направлением NW—SE. Возможной причиной такого необычного явления является, по-видимому, значительная глубина залегания коренных пород.

### Introduction

Le cours inférieur du rio Tormes traverse un domaine de granitoïdes, migmatites et métamorphites de haut degré, sur lequel on ne dispose que d'informations anciennes (PUIG y LARRAZ, 1883) ou très fragmentaires (SCHMIDT-THOMÉ, 1945) malgré l'intérêt que presente cette region pour la comprehension des hercynides iberiques.

Une analyse, même rapide, permet de montrer en particulier que l'extension du métamorphisme régional et son intensité avaient été largement sousestimées (BARD et al., 1971). Le but de cette note est de donner un aperçu préliminaire des traits caracteristiques de ce métamorphisme et de le situer dans l'orogène hercynien ibérique.

### Données géologiques

Une première analyse nous a conduit, en ce qui concerne la stratigraphie, la tectonique et le plutonisme granitique, au schéma suivant:

a) La serie stratigraphique comprend de bas en haut des orthogneiss et des

gneiss ocellés type « Ollo de Sapó », d'âge proterozoïque supérieur, une série d'âge incertain, probablement aussi proterozoïque dans la région considérée, comparable au « complexo xisto-grauvaquico » et une série discordante de quartzites avec pelites intercalées d'âge ordovicien.

b) Les déformations observées correspondent à trois phases principales hercyniennes, comme il a été observé à Tras-Os-Montes (RIBEIRO, 1970). La première origine une schistosité de flux régional associée à des plis observables seulement à échelle microscopique. La deuxième est d'extension locale, avec des plis aplatis à plan axial subhorizontal, axe curve et une forte schistosité de crenulation associée. La troisième est une phase régionale de serrage avec plis à plan axial subvertical de direction NW—SE, presque homoaxiale avec la première. Le versemement des deux phases régionales est vers le NE. Plus tardivement sont formés des kink-bands et des décrochements senestres orientés NE—SW. Il existe également dans la région étudiée des bombements pré-ordoviennes qui semblent-ils être orientés NE—SW.

c) Les granitoïdes sont représentés par des granites d'anatexie et des leucogranites à deux micas, quelques uns ante-phase III, la plupart sincinématiques avec cette phase de déformation. Il existe également des granodiorites, tonalites et quartzdiorites précoces, ante-phase III et des microgranites calcoalcalins en filons du type de ceux qui accompagnent fréquemment les granodiorites post-tectoniques dans la Péninsule (MARTÍNEZ, 1974).

### Métamorphisme régional

#### Les zones métamorphiques et leur distribution

En première analyse on peut facilement individualiser sur le terrain quatre zones de métamorphisme principales (fig. 1). Les zones sont séparées par les isogrades d'apparition de la biotite, de la andalousite-cordierite et de la sillimanite-feldspath potassique dans la séquence pélitique. La zone située sous l'isograde de la sillimanite est formée en majorité par des migmatites.

Les isogrades de haut degré dessinent grossièrement un dôme centré sur les affleurements de gneiss proterozoïques et sur les granites d'anatexie. Le dôme est entouré de tous côtés par la zone de la chlorite, sauf à l'Ouest où il se prolonge par des ceintures métamorphiques de Moncorvo-Vila Real et de Meda-Tabuaço (Portugal). Sa géométrie détaillée est difficile à définir du fait de l'importance des affleurements granitiques et des recouvrements tertiaires. La cartographie des isogrades à la bordure NW et W du dôme permet de voir que la zone sous l'isograde sillimanite-feldspath potassique avec développement de granitoïdes anatectiques est toujours en relation avec les antiformes où affleurent les gneiss proterozoïques. On peut penser que le dôme résulte de la coalescence de plusieurs sources thermiques élémentaires orientées NW—SE. Assez curieusement le grand axe du dôme est orienté NE—SW, c'est à dire perpendiculairement à l'orientation des sources élémentaires et aux directions structurales majeures.

L'allure des isogrades et surtout les relations entre la blastèse des porphyroblastes et les schistosités correspondantes aux phases de déformation hercyniennes permettent de montrer que le métamorphisme débute au cours de la première phase, se poursuit jusqu'après la deuxième et atteint son paroxysme légèrement avant ou pendant la phase III.

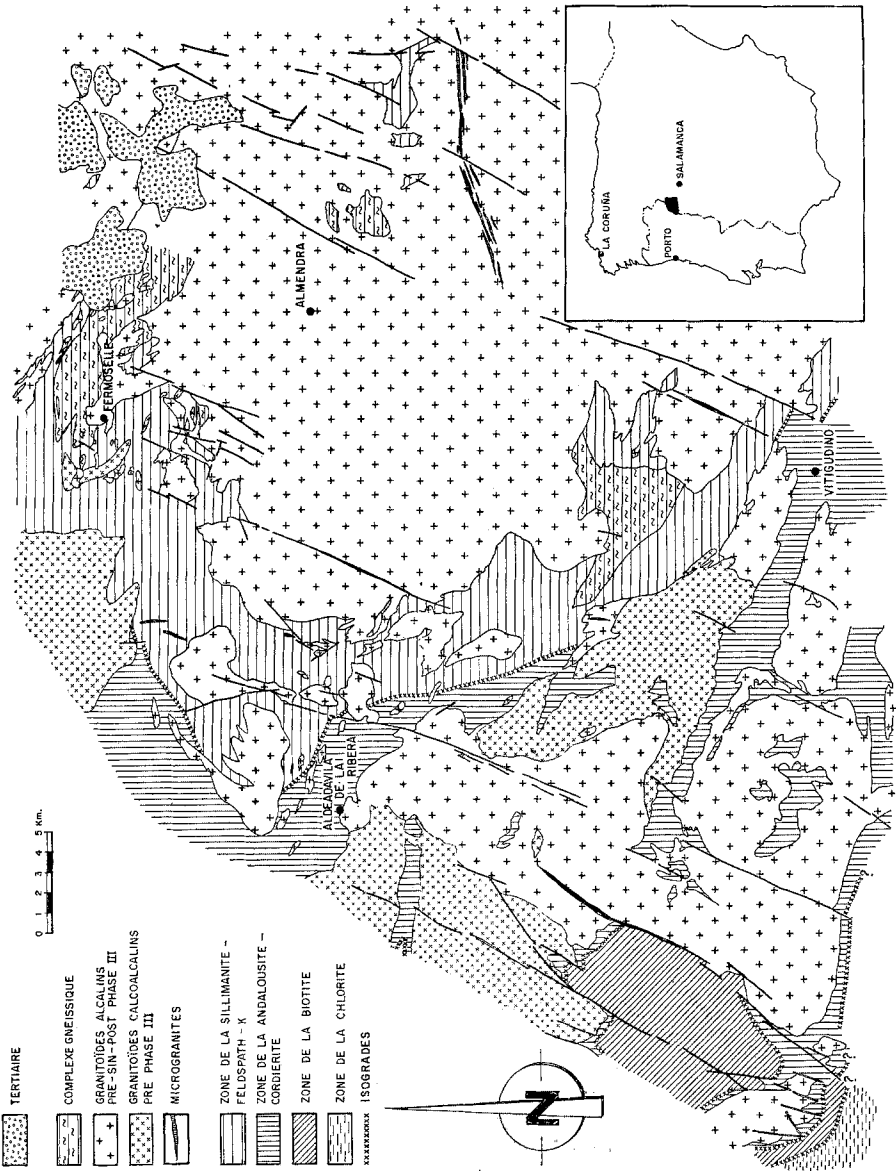


Fig. 1. Carte montrant la disposition des isogrades et des différentes zones métamorphiques.

### Type et evolution du métamorphisme

Les associations observées et les différentes zones dans les roches pelitiques sont les suivantes (les minéraux reliques dans la paragenèse sont entre parenthèse; le quartz, les plagioclases et les minéraux accessoires ne sont pas cités):

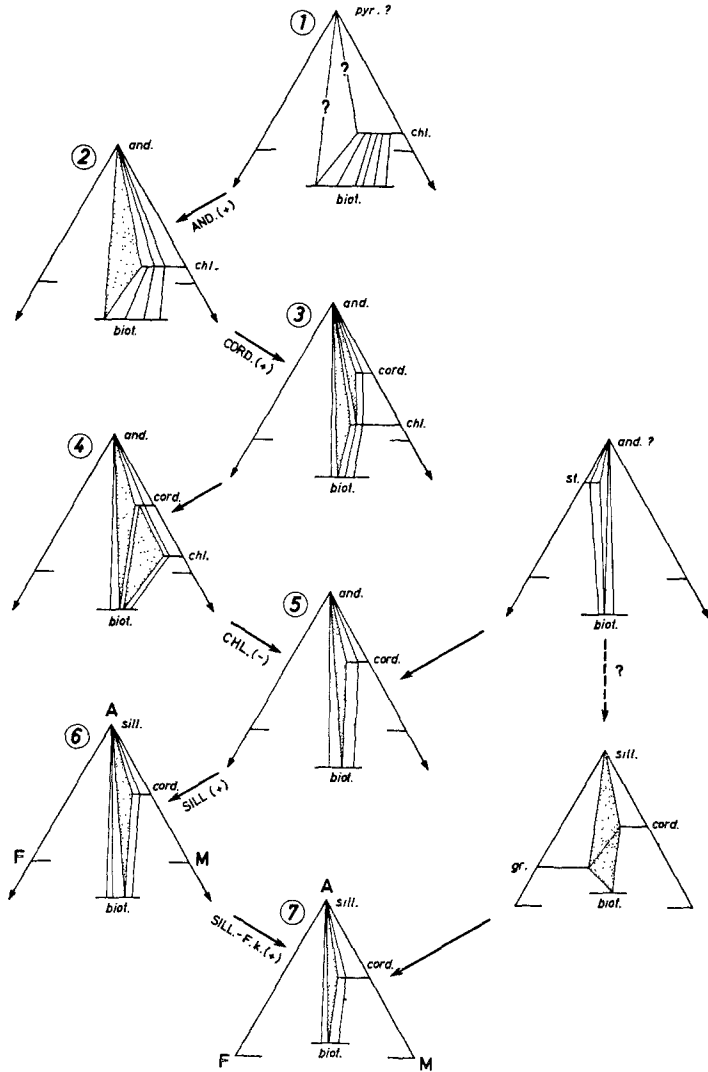


Fig. 2. Suite de subfacies qui apparaissent dans le métamorphisme progressif des roches pelitiques dans la région considérée. Répresentation d'après THOMPSON (1957) et BARKER (1961) pour des roches avec de la muscovite primaire et du feldspath potassique respectivement. La représentation des phases minérales est arbitraire. Biot: biotite; chl: chlorite; cord: cordierite; and: andalousite; sill: sillimanite; F.k.: feldspath potassique.

Zone de la chlorite:

A. 1 Chlorite-muscovite

Zone de la biotite:

B. 1 Biotite-chlorite-muscovite

B. 2 Biotite-muscovite

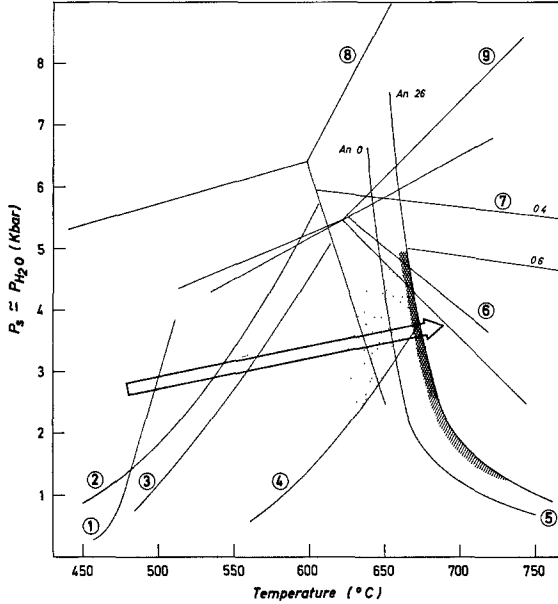


Fig. 3. Equilibre de phases et degré géothermique du métamorphisme. Les équilibres sont les suivants: (1) 1 pyrophyllite = 1 andalousite + 3 quartz + 1 H<sub>2</sub>O (ALTHAUS, 1969); (2) chlorite + andalousite + quartz = cordierite + H<sub>2</sub>O (SEIFERT & SCHREYER, 1970); (3) chlorite + muscovite + quartz = cordierite + biotite + H<sub>2</sub>O (SEIFERT, 1970); (4) muscovite + quartz = Al<sub>2</sub>SiO<sub>5</sub> + F. k. + H<sub>2</sub>O (ALTHAUS et al., 1970); (5) Fusion du granite, courbe pour gneisses An<sub>0</sub>-An<sub>26</sub> (WINKLER, 1970); (6) Equilibre grenat-cordierite (HIRSCHBERG & WINKLER, 1968); (7) Equilibre 3 cordierite = 2 grenat + 4 sillimanite + 5 quartz, pour FeO/FeO + MgO = 0.4—0.6 (CURRIE, 1971); (8) Point triple et equilibre pour les polymorphes de Al<sub>2</sub>SiO<sub>5</sub> (ALTHAUS, 1967); (9) Id. d'après RICHARDSON et al. (1968).

**Zone de la andalousite-cordierite:**

- C. 1 Biotite-chlorite-cordierite-muscovite
- C. 2 Biotite-chlorite-andalousite-muscovite
- C. 3 Biotite-andalousite-cordierite-muscovite
- C. 4 Biotite-andalousite-muscovite
- C. 5 Biotite-cordierite-muscovite
- C. 6 Biotite-muscovite
- C. 7 Grenat-staurotide-biotite-chlorite-muscovite

**Zone de la sillimanite sans feldspath potassique:**

- D. 1 Biotite-sillimanite-andalousite-muscovite
- D. 2 Biotite-sillimanite-muscovite
- D. 3 Biotite-sillimanite-andalousite-cordierite-muscovite

**Zone de la sillimanite-feldspath potassique:**

- D. 4 Sillimanite-cordierite-biotite-feldspath potassique
- D. 5 Sillimanite-biotite-feldspath potassique
- D. 6 Sillimanite-andalousite-cordierite-biotite-feldspath potassique
- D. 7 Sillimanite-andalousite-cordierite-biotite-muscovite-feldspath potassique
- D. 8 Sillimanite-andalousite-muscovite-biotite-feldspath potassique

D. 9 Sillimanite-cordierite-biotite

D. 10 Sillimanite-biotite

D. 11 Biotite-muscovite-feldspath potassique

D. 12 Sillimanite-biotite-cordierite-grenat-feldspat potassique.

Les associations permettent d'établir la suite de subfacies dessinée sur la fig. 2 suivant le mode de représentation de THOMPSON (1957) et BARKER (1961) pour associations avec de la muscovite primaire et du feldspath potassique respectivement. Il s'agit d'une suite type de basse pression (fig. 3) caractérisée: a) par la présence d'andalousite et de cordierite; b) par la disparition très rapide de la chlorite, existant dans une étroite zone l'association andalousite-chlorite; c) par l'absence du grenat dans les séries pelitiques, seulement présent dans les associations kinzingitiques et dans les gneiss type «Ollo de Sapo» après la disparition de la muscovite; d) par l'absence de paragéneses à chloritoïde et staurotide, largement répandues en Galice (CAPDEVILA, 1969) et centre de Portugal (OEN I. SOEN, 1970).

On peut observer seulement l'ébauche d'une suite de type intermédiaire de basse pression dont les paragéneses C. 7 et D. 12 ne représentent que les reliques préservés très localement. L'association kinzingitique (sillimanite-biotite-cordierite-grenat-feldspath potassique), dans laquelle le grenat se présente comme relique blindée dans le plagioclase, paraît résulter de la superposition d'une association de basse pression (biotite-cordierite-sillimanite-feldspath potassique) sur une autre association (biotite-grenat-cordierite-sillimanite-feldspath potassique) de pression d'autant plus élevée que le rapport MgO/FeO de la roche est plus grand (HENSEN, 1971). Dans l'état actuel de nos travaux cette superposition ne paraît pas résulter d'un polymétamorphisme précambrien et hercynien, mais d'un métamorphisme hercynien polyphasé dont le degré géothermique correspondant s'est élevé entre le stade précoce et le paroxysme, sans doute par suite du soulèvement de la chaîne observé entre la première et la troisième phase de déformation.

### Conclusions

Le métamorphisme régional du dôme du Tormes est de basse pression type Abukuma (MIYASHIRO, 1961), assez répandu dans la chaîne hercynienne, analogue à celui qui a été décrit en Galice Occidentale (DEN TEX & FLOOR, 1971), dans le Nord de Portugal (OEN I. SOEN, 1970) et dans la région des Sierras de Gredos (UGIDOS & MARTÍNEZ, 1973). Sa distribution suivant un dôme globalement orienté NE—SW, dont la fig. 1 n'est que la représentation de sa partie SW, est par contre assez paradoxale puisque en règle générale dans la chaîne hercynienne Iberique les métamorphismes s'orientent parallèlement à la direction de la chaîne et non pas perpendiculairement à celle-ci. Il y a là une anomalie liée sans doute à la nature profonde du socle dont la connaissance sera d'un grand intérêt pour l'explication d'ensemble de la chaîne.

### Bibliographie

- ALTHAUS, E.: The triple point andalusite-sillimanite-kyanite. — *Contr. Mineral. and Petrol.*, **16**, 29—44, 1967.  
—: Das System  $Al_2O_3$ - $SiO_2$ - $H_2O$ . Experimentelle Untersuchungen und Folgerungen für

- die Petrogenese der metamorphen Gesteine. — N. Jb. Miner. Abh., **111**, 74—161, Stuttgart 1969.
- ALTHAUS, E., NITSCH, K. H., KATOTKE, E., & WINKLER, H. G. F.: An experimental re-examination of the upper stability limit of muscovite plus quartz. — N. Jb. Miner. Mh., **7**, 325—326, Stuttgart 1970.
- BARD, J. P., CAPDEVILA, R., & MATTE, Ph.: La structure de la chaîne hercynienne de la Mésète Ibérique: comparaison avec les segments voisins (in: Histoire structurale du Golfe de Gascogne). — Pub. Inst. Français du Pétrole, Colloques et Séminaires, **22**, 1, 1—68, Paris 1971.
- BARKER, F.: Phase relations in cordierite-garnet-bearing Kinsman quartz monzonite and the enclosing schist, Lovewell Mountain quadrangle, New Hampshire. — Amer. Mineral., **46**, 1166—1176, Washington 1961.
- CAPDEVILA, R.: Le métamorphisme régional progressif et les granites dans le segment hercynien de Galice Nord Oriental (NW de l'Espagne). — Thèse Univ. Montpellier 1969.
- CURRIE, K. L.: The reaction  $3 \text{ cordierite} = 2 \text{ garnet} + 4 \text{ sillimanite} + 5 \text{ quartz}$  as a geological thermometer in the Opinicon Lake region, Ontario. — Contr. Mineral. and Petrol., **33**, 215—226, 1971.
- DEN TEX, E., & FLOOR, P.: A synopsis of the geology of Western Galicia (in: Histoire structurale du Golfe de Gascogne). — Pub. Inst. Français du Pétrole, Colloques et Séminaires, **22**, 1, 1—13, Paris 1971.
- HENSEN, B. J.: Theoretical phase relations involving cordierite and garnet in the system  $\text{MgO-FeO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ . — Contr. Mineral. and Petrol., **33**, 191—214, 1971.
- HIRSCHBERG, A., & WINKLER, H. G. F.: Stability relations between chlorite, cordierite and almandite during metamorphism. — Contr. Mineral. and Petrol., **18**, 17—42, 1968.
- MARTÍNEZ, F. J.: Estudio del área metamórfica del NW de Salamanca (Cordillera Herciniana, España). — Trab. de Geol., **7**, Oviedo 1974.
- MIYASHIRO, A.: Evolution of metamorphic belts. — Jour. Petrol., **2**, 277—311, 1961.
- OEN, I. SOEN: Granite intrusion, folding and metamorphism in Central Northern Portugal. — Bol. Geol. y Min., **81**, II—III, 271—298, Madrid 1970.
- PUGY y LARRAZ, G.: Descripción física y geológica de la provincia de Zamora. — Mem. Comun. Mapa Geol. España, 1—448, Madrid 1883.
- RIBEIRO, A.: Position structurale des Massifs de Morais et Bragança (Tras-Os-Montes). — Comun. Serv. geol. Portugal, **46**, 115—138, Lisboa 1970.
- RICHARDSON, S. W., GILBERT, M. C., & BELL, P. M.: Experimental determination of the kyanite-andalusite and andalusite-sillimanite equilibria; the aluminium silicate triple point. — Amer. Jour. Sci., **267**, 259—272, 1969.
- SCHMIDT-THOMÉ, P.: Paläozoisches Grundgebirge und junges Deckgebirge im westlichen Zentralspanien (Provinz Salamanca und Cáceres). — Geotekt. Forsch., **6**, 37—77, Berlin 1945.
- SEIFERT, F.: Low temperature compatibility relations of cordierite in haplopelites of the system  $\text{K}_2\text{O-MgO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2\text{-H}_2\text{O}$ . — Jour. Petrol., **11**, 73—99, 1970.
- SEIFERT, F., & SCHREYER, W.: Lower temperature stability limit of Mg-cordierite in the range 1—7 Kb water pressure: a redetermination. — Contr. Mineral. and Petrol., **27**, 225—238, 1970.
- THOMPSON, J. B. Jr.: The graphical analysis of mineral assemblages in pelitic schists. — Amer. Mineral., **42**, 842—858, Washington 1957.
- UGIDOS, J. M., & MARTÍNEZ, F. J.: El metamorfismo al Este de Plasencia (Cáceres). — Studia geol., **6**, 65—71, Salamanca 1973.
- WINKLER, H. G. F.: Abolition of metamorphic facies, introduction of the four divisions of metamorphic stage, and of a classification based on isograds in common rocks. — N. Jb. Miner. Mh., **5**, 189—248, Stuttgart 1970.