

Corte geológico compensado del sur de Andorra: aportaciones a la estructura varisca del Pirineo central

Balanced cross-section of southern Andorra: Insights into the Variscan structure of the Central Pyrenees

A. Margalef¹ y J.M. Casas²

¹ Centre d'Estudis de la Neu i de la Muntanya d'Andorra, Institut d'Estudis Andorrans, Av. Rocafort 21-23, 3^a planta, AD-600 Sant Julià de Lòria (Andorra). amargalef.cenma@ica.ad.

² Dept. de Geodinàmica i Geofísica-Institut de Recerca Geomodels, Universitat de Barcelona, c/Martí Franquès s/n 08028 Barcelona. casas@ub.edu.

Resumen: Se ha realizado un corte geológico compensado N-S en el sur de Andorra (Zona axial del Pirineo central), en una zona con deformación polifásica. Para ello se han utilizado datos cartográficos y estructurales georreferenciados, proyectados en el corte según los distintos vectores de proyección definidos en cada área. El corte se ha restituido varias veces hasta conseguir que fuera geoméricamente posible y que correspondiera con la geología de superficie. Se diferencian dos episodios de deformación: en el primero se generan pliegues de dirección E-W con vergencia norte y una foliación de plano axial asociada S1; estas estructuras son deformadas en el episodio 2, que se divide en cuatro fases, y en el que se generan pliegues de dirección E-W con vergencia sur, dos familias de cabalgamientos con sentido de transporte hacia el sur, y una foliación de plano axial S2 que buza hacia el norte. Durante este segundo episodio se ha detectado una partición de la deformación a nivel del Silúrico. Se ha estimado una tasa de acortamiento máximo durante estos episodios del 62%.

Palabras clave: Pirineos, corte compensado, deformación varisca.

Abstract: A N-S balanced cross section has been realized in the southern part of Andorra (Axial zone of the Central Pyrenees), in a polyphasic deformation region. We have used cartographic and structural georeferenced data, which have been projected on the cross-section according to the different plunge lines defined for each zone. The cross section has been restored several times until achieving a valid geometry that matches with surface geology. Two deformational episodes can be distinguished: the first one causes E-W trending north-verging folds and an S1 axial plane foliation associated. These structures have been deformed during the second episode, which can be divided into four phases. In this second episode, E-W trending south-verging folds, two south-directed thrusting systems and a north dipping axial plane foliation S2 are generated. During the second episode, we have detected a strain partitioning through Silurian slates. A maximum shortening rate of 62% has been estimated during these episodes.

Key words: Pyrenees, Balanced cross-section, Variscan deformation.

CONTEXTO GEOLÓGICO

El área de estudio se encuentra en el Pirineo central y está formada por rocas metasedimentarias prevariscas, con edades comprendidas entre el Cámbrico superior y el Devónico medio, de bajo grado metamórfico y afectadas, tanto por la orogénesis varisca como por la alpina (Fig.1). La primera de ellas es la responsable de la formación de la mayor parte de estructuras de deformación observadas, mientras que la segunda, en este sector, se limita a la rotación y/o a la traslación de las rocas deformadas anteriormente.

En este trabajo se presenta un corte compensado de dirección N-S que se ha realizado a partir de la nueva cartografía a escala 1:25.000 del sur de Andorra (Margalef, 2015) (Fig. 2).

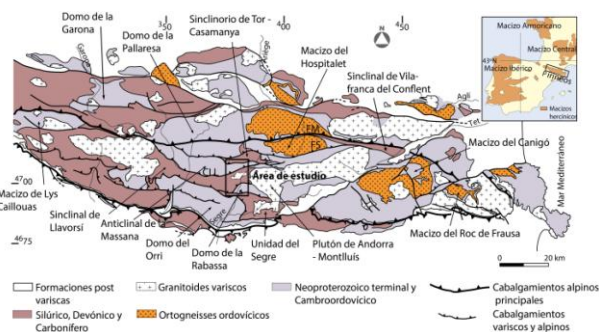


FIGURA 1. Esquema geológico de los materiales variscos de los Pirineos y sus principales estructuras (Casas y Fernández, 2007).

DESCRIPCIÓN DEL CORTE

En la zona de estudio se han distinguido los siguientes episodios de deformación:

Un episodio varisco D1 anterior al episodio principal, en el que se generan pliegues de dirección E-W con vergencia norte y una foliación de plano axial S1 asociada que se desarrolla localmente y que actualmente se encuentra plegada.

Un episodio de deformación principal D2 que genera estructuras típicas de contextos compresivos de dirección E-W y con vergencia hacia el sur. Se trata de un episodio varisco, ya que afecta rocas devónicas y las estructuras generadas se encuentran cortadas por las intrusiones tardivariscas. Durante este episodio de deformación principal se desarrollan 4 fases de deformación. En las fases 2a y 2b se forman cabalgamientos enraizados en el Silúrico y pliegues asociados en las rocas silúricas y devónicas. En las rocas presilúricas probablemente se produce una reactivación como cabalgamientos de antiguas fallas normales presilúricas. Durante la fase 2c se forman pliegues vergentes al sur a todas las escalas, que afectan a toda la serie, y una foliación S2 asociada. Por último, durante la fase 2d se forman los grandes cabalgamientos enraizados al menos en las rocas cambroordovícicas que cortan todas las estructuras anteriores.

La forma cartográfica de las grandes estructuras (el domo de la Rabassa al sur y al anticlinal de la Massana al norte) (Fig. 3) se debe a la superposición de pliegues kilométricos del episodio 1 con los pliegues kilométricos generados durante el episodio 2. Estas estructuras presentan en general una vergencia hacia el sur, pero su flanco norte presenta a menudo buzamientos hacia el norte elevados similares a los del flanco sur.

Separando los dos anticlinales se encuentra el sinclinal de Llavorsí, que es una estructura sinformal compleja que merece especial atención. Está formada por varias láminas cabalgantes de materiales silúricos y devónicos, con dirección de transporte hacia el sur, arraigadas en las pizarras del Silúrico y plegadas posteriormente. En este sinclinal los afloramientos de pizarras silúricas tienen formas alargadas de dirección E-W a NE-SW, y se encuentran en contacto con distintas formaciones devónicas tanto a la base como al techo. En el corte y en la cartografía, estos cabalgamientos enraizados en el Silúrico están representados con líneas azules.

Se observa también la intrusión del batolito de Santa Coloma, de edad Carbonífero superior (Romer y Soler 1995, Solé et al. 1997), que corta tanto los cabalgamientos del episodio de deformación principal como las foliaciones S1 y S2.

Por último, se puede observar la existencia de algunas fallas normales con buzamientos elevados hacia el norte y que cortan todas las estructuras

anteriores. Localmente se ha podido observar cómo estas fallas también cortan el batolito de Santa Coloma.

No se han encontrado evidencias directas de deformaciones importantes de edad alpina en este sector.

Debido al carácter polifásico de la deformación, para la realización del corte se han extraído varios vectores de proyección. A través de estos vectores se han proyectado las medidas estructurales georeferenciadas en el mapa sobre el corte. Finalmente, el corte ha sido restituido y vuelto a deformar varias veces hasta conseguir que en el estado deformado fuera coherente con la geología de superficie, y en el estado restituido fuera geoméricamente válido.

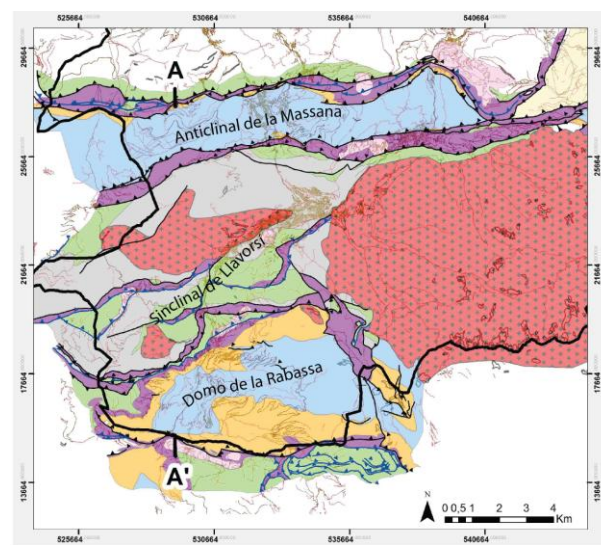


FIGURA 2. Mapa geológico simplificado del sur de Andorra (Margalef, 2015).

RESTITUCIÓN DEL CORTE

Debido a la partición de la deformación a nivel del Silúrico, la restitución se ha realizado para dos horizontes de referencia distintos: el primero es el contacto entre el Ordovícico superior y el Silúrico; y el segundo el contacto entre el Silúrico y el Devónico inferior. Se ha seguido el orden inverso de las deformaciones, combinando los métodos de *rigid body restoration* para restituir fallas y cabalgamientos, y *flexural slip restoration* para restituir pliegues.

En una primera fase se han restituido las fallas normales y los grandes cabalgamientos vergentes al sur. A continuación, se han restituido los pliegues de fase 2 vergentes al sur junto con los grandes pliegues vergentes al norte de fase 1, ya que afectan a las mismas rocas y no ha sido posible separar el efecto de una u otra fase. En tercer lugar se han restituido los

cabalgamientos de fase 2 enraizados en el Silúrico y con sentido de desplazamiento hacia el sur, y por

último los pliegues precoces de fase 2 que afectan a los materiales silúricos y devónicos (Fig. 4).

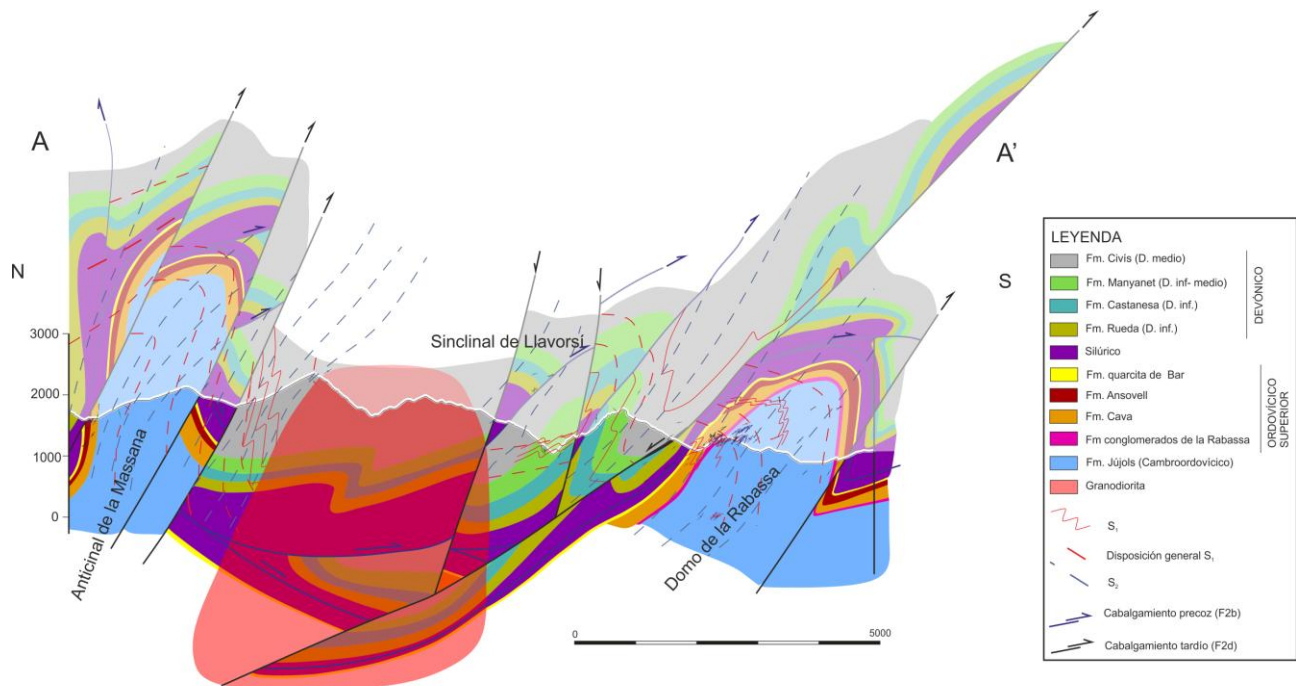


FIGURA 3. Corte geológico A-A' del sur de Andorra (Margalef, 2015). Situación en la figura 2.

CONCLUSIONES

La restitución del corte ha permitido, por una parte, evidenciar la diferencia de longitud entre los materiales pre y post Silúrico en el estado no deformado; y por otra parte, y relacionado con el hecho anterior, ha permitido calcular el acortamiento en cada uno de estos paquetes de materiales. Para los materiales presilúricos el acortamiento se ha estimado aproximadamente en un 49%, mientras que para los materiales postsilúricos se ha estimado en un 62%. Estos datos indican que parte del acortamiento no ha sido detectado en los materiales presilúricos y tiene que acomodarse en alguna estructura que no ha sido descrita en este trabajo. Una opción es la existencia de fallas normales en los materiales cambroordovícicos, que afecten a sólo a las rocas presilúricas, generadas en alguna fase de deformación anterior al Silúrico, tal y como propone Casas (2010) en la Cerdaña. Estas fallas normales

podrían haberse reactivado como cabalgamientos en estos episodios de deformación compresivos, y podrían ser difíciles de detectar debido a la falta de niveles guía de referencia.

La restitución del corte ha permitido estimar un acortamiento máximo de aproximadamente un 62% en las rocas del Silúrico y del Devónico, resultado en su mayor parte de las deformaciones variscas.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado por los proyectos CGL2010-21298 y el programa Consolider-Ingenio 2010 a través del proyecto CSD2006-00041 (Topoiberia). A.M. ha recibido financiamiento del Institut d'Estudis Andorrans y de la ayuda ACTP020-AND/2013 del Gobierno de Andorra.

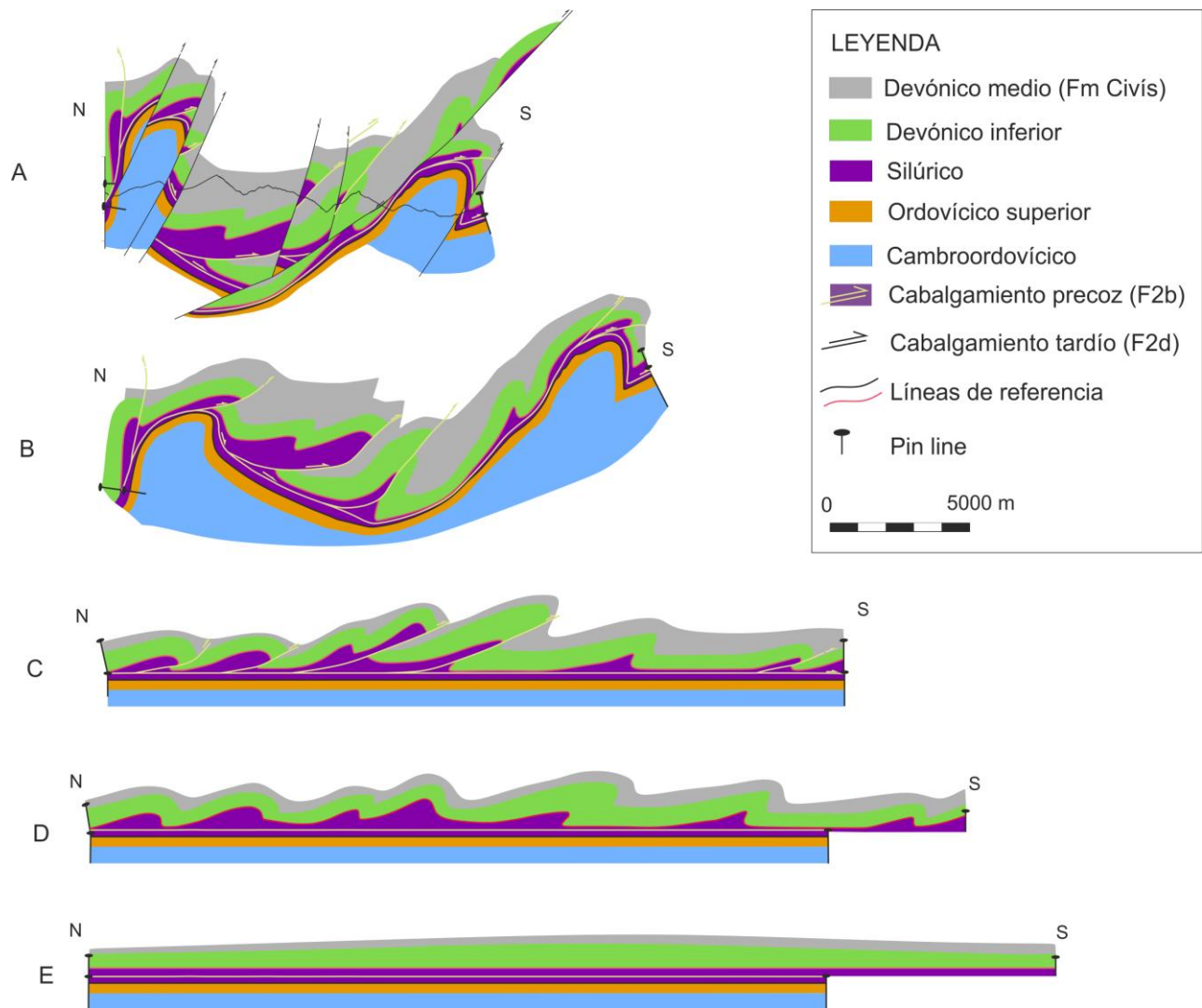


FIGURA 4: Restitución del corte A-A'. A: Estado final deformado (se ha suprimido el batolito de Sta. Coloma). B: Restitución de las fallas normales y cabalgamientos tardíos de fase 2d. C: Restitución de pliegues de fase 1 y pliegues tardíos de fase 2c. D: Restitución de cabalgamientos precoces de fase 2b. E: Restitución de pliegues precoces de fase 2a. Estado final no deformado.

REFERENCIAS

- Casas, J. M. (2010): Ordovician deformations in the Pyrenees: new insights into the significance of pre-Variscan ('sardic') tectonics. *Geological Magazine*, 147.05: 674-689.
- Casas, J.M. y Fernández, O. (2007): On the Upper Ordovician unconformity in the Pyrenees: New evidence from the La Cerdanya area. *Geologica Acta*, 5.2: 193-198.

Margalef (2015): *Estudi estructural i estratigràfic del sud d'Andorra*. Tesis doctoral, Univ. de Barcelona, 172 p.

Romer, R. L., y A. Soler (1995): U-Pb age and lead isotopic characterization of Au-bearing skarn related to the Andorra granite (Central Pyrenees, Spain). *Mineralium Deposita*, 30.5: 374-383.

Solé, J., Soler, A., Palau, J., Espínola, M. R., y Delgado, J. (1997): Geocronología K/Ar de los skarns mineralizados en As-Au y de las alteraciones intragraníticas asociadas en el hercínico de los pirineos centrales. *Boletín de la Sociedad Española de Mineralogía*, 20-A: 77-78.