

# Caracterización de un sistema de fallas extensionales en el sector occidental del cabalgamiento del Montsec (Pirineos centrales)

*Characterization of an extensional fault system in the western sector of the Montsec thrust (Central Pyrenees)*

Jorge Franco Balaguer y Antonio Casas Sainz

Departamento de Ciencias de la Tierra, Facultad de Ciencias, Universidad de Zaragoza. C/ Pedro Cerbuna 12, 50009 Zaragoza, España.  
jorgefb18@gmail.com, acasas@unizar.es

## ABSTRACT

*The structural characteristics of extensional and strike-slip dextral faults in the central part of the South Pyrenean Central Unit (SPCU), obtained from geological surface data, are here presented. Some of these normal faults define a little E-W and NW-SE horst-graben system at the hinge zone of the hanging wall anticlines associated with the Mediano and Montsec thrust sheets. These grabens are filled with materials of the Graus Formation and can be considered as Oligocene in age. However, other N-S and NE-SW faults cut and post-date this Cenozoic formation. The origin of some of these faults could be related with the last out of sequence movements of the Montsec thrust.*

**Key-words:** Normal fault, graben, Graus Formation, thrust sheet, anticline.

## RESUMEN

*Se presentan las características estructurales de fallas extensionales y direccionales, a partir de datos de geología de superficie en la zona central de la Unidad Surpirenaica Central (USPC). Algunas de estas fallas normales definen un sistema de pequeñas fosas alargadas de dirección E-W y NW-SE en la charnela de los anticlinales de bloque superior de las láminas de cabalgamiento de Mediano y Montsec. Posteriormente, las fosas correspondientes a este sistema de graben fueron rellenadas por los materiales de la Formación Graus de edad Oligoceno. Otras fallas, sin embargo, de dirección N-S y NE-SW se han identificado cortando únicamente esta formación y algunas de ellas podrían estar relacionadas con los últimos movimientos fuera de secuencia del cabalgamiento del Montsec.*

**Palabras clave:** Falla normal, fosa, Formación Graus, lámina de cabalgamiento, anticlinal.

*Geogaceta*, 60 (2016), 27-30  
ISSN (versión impresa): 0213-683X  
ISSN (Internet): 2173-6545

Recepción: 8 de febrero de 2016  
Revisión: 20 de abril de 2016  
Aceptación: 20 de Mayo de 2016

## Introducción

Durante el Eoceno superior, el límite sur de la Cuenca de Graus-Tremp estaba marcado por el alto estructural del Montsec (Teixell y Muñoz, 2000). Este alto estructural lo constituían los anticlinales de bloque superior de las láminas de cabalgamiento del Montsec y Mediano (Martínez-Peña, 1991), de dirección pirenaica (WNW-ESE). Los pequeños afloramientos aislados, y en ocasiones karstificados, de esta cobertera mesozoica y cenozoica despegada agrupados en los afloramientos de Tolva y Benabarre, permiten inferir la existencia de un importante paleorelivo desarrollado en el Eoceno superior, y posteriormente fosilizado por los materiales terrígenos de la Formación Graus cuya discordancia basal se atribuye a una edad Priaboniense superior (Beamud, 2013). La edad del límite superior

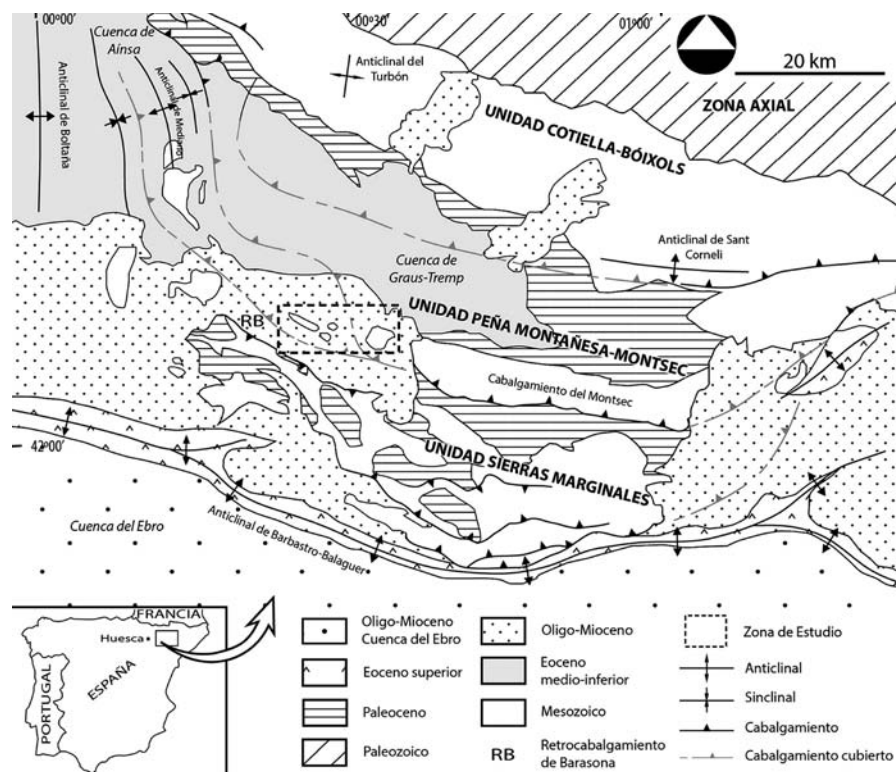
de la Fm. Graus sigue siendo controvertida, y algunos autores la llevan hasta el Mioceno inferior (Cuevas-Gozal, 1989) mientras que una gran mayoría restringe la sedimentación de esta unidad al Oligoceno. Es de destacar que esta unidad está caracterizada por un importante carácter sintectónico, registrando así los últimos eventos tectónicos ocurridos en esta región durante el tránsito Paleógeno-Neógeno.

La existencia de sistemas de fallas extensionales y en dirección en esta área de la Unidad Surpirenaica Central (USPC) (Fig. 1) durante la etapa compresiva alpina está poco documentada (ver Sancho, 1990; Martínez-Peña, 1991; Franco, 2014) y se necesitan trabajos que permitan completar la evolución de la cobertera despegada durante sus últimos estadios. Con este trabajo se pretende realizar un análisis de los mismos desde el punto de vista estructural, caracterizando algunas es-

tructuras particularmente interesantes que aparecen en este sector de la USPC.

## Contexto geológico

La zona de estudio se localiza en el área central de la USPC (Séguret, 1972), compuesta por los mantos de cabalgamiento de Bòixols, Montsec y Sierras Marginales, emplazados en secuencia de bloque inferior (Martínez-Peña, 1991). El área elegida se encuentra en la parte occidental del cabalgamiento del Montsec y el sector oriental de la lámina de Mediano, ésta ya en la unidad de las Sierras Marginales (Fig. 1). Su límite norte lo forman los sedimentos de la Cuenca de Graus-Tremp que se sitúan infrayacentes a la discordancia basal de la Fm. Graus. El límite meridional viene marcado por el retrocabalgamiento de Barasona (RB), de dirección pirenaica (Fig. 1). Los bor-



**Fig. 1.- Mapa geológico de la Unidad Surpirenaica Central con la situación de la zona de estudio. En la parte inferior izquierda se marca con un recuadro la situación geográfica.**

*Fig. 1.- Geological map of the South Pyrenean Central Unit with the situation of the study area. In the lower left map the mapped area is pointed out with a square.*

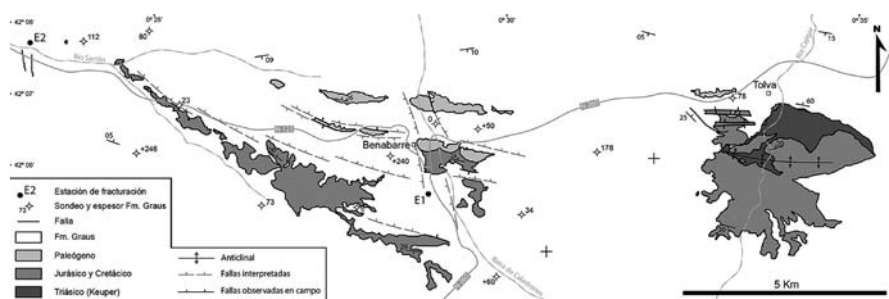
des E y W vienen señalados por la Sierra del Montsec y el valle del río Ésera, respectivamente (Fig. 1).

Desde un punto de vista estratigráfico es posible reconocer una serie mesozoica y cenozoica fundamentalmente calcárea y reducida con respecto a la existente algo más al norte, bajo la Cuenca de Graus-Tremp. Se pueden reconocer depósitos del Triásico superior en facies Keuper, carbonatos jurásicos parcialmente dolomitizados, una reducida serie margosa del Cretácico inferior, así como una serie del Cretácico superior-Paleoceno formada por calizas, margas y areniscas sobre las que yacen las Calizas con Alveolinas del Ilerdiense. Discordante sobre estos materiales yacen los sedimentos terrígenos de la Fm. Graus.

Estructuralmente, esta serie calcárea aparece plegada por estructuras con orientación pirenaica donde los anticlinales poseen una vergencia S (Franco, 2014). En cambio, los materiales de la Fm. Graus describen una geometría general de sinforme con orientación similar. En el sector oriental de la zona de estudio la serie entera aparece deformada y perforada por la estructura diapírica de Tolva (Fig. 2).

**Metodología**

El estudio y análisis de las fallas objeto de este trabajo se ha llevado a cabo sobre una cartografía geológica sintética de los afloramientos de Tolva y Benabarre (Fig. 2). Para ello hemos utilizado las ortofotografías PNOA del año 2009 a escala 1:10.000 descargadas del Servicio de Información Territorial del Gobierno de Aragón (SITAR) y datos propios tomados en el campo. En esta cartografía (Fig. 2) se reflejan las dis-



**Fig. 2.- Mapa geológico simplificado de los afloramientos de Tolva y Benabarre con la interpretación del sistema de fosas propuesto en este trabajo, la localización de las estaciones de fracturación y los espesores de la Fm. Graus inferidas desde sondeos.**

*Fig. 2.- Simplified geological map of Tolva and Benabarre outcrops and the interpretation of the horst-graben system proposed in this paper, the location of the fracturing sites and the thickness of Graus Fm. measured in different holes.*

tintas unidades estratigráficas, representativas de este sector de la USPC, agrupadas en cuatro grandes unidades como son (1) facies Keuper, (2) unidades del Jurásico-Cretácico y (3) Paleógeno y (4) la Fm. Graus, así como las estructuras tectónicas principales interpretadas. También se ha realizado un análisis de dos afloramientos singulares donde se han establecido las respectivas estaciones de medida (Fig. 2) y donde se han interpretado estructuras de deformación a través de criterios cinemáticos (fallas con estrías y escalones de recristalización). Por último, se ha utilizado la información pública que ofrece la Confederación Hidrográfica del Ebro (CHE) en relación al Inventario de Puntos de Agua (IPA) para conocer en detalle la distribución areal de los espeores de la Fm. Graus.

**Estructuras de deformación**

*Sistema de fallas E-W*

A partir de observaciones en campo y en la ortofotografía se han identificado un conjunto de fallas normales de escala hectométrica. Estas estructuras se han observado afectando a materiales que van desde el Cretácico superior hasta el Ilerdiense (Calizas con Alveolinas). Poseen una dirección general E-W (sector de Tolva) que hacia el oeste (sector de Benabarre) tiende a hacerse NW-SE (Fig. 2), lo cual es coherente con la dirección de los anticlinales de bloque superior de las láminas del Montsec y Mediano. Han sido pocos los marcadores cinemáticos encontrados en el campo, pero todos los identificados muestran un carácter normal puro de estas estructuras. La configuración de estas fallas es tal que describen una serie de pequeñas fosas alargadas de

orientación E-W más evidentes en los alrededores de las poblaciones de Tolva (Fig. 3) y Benabarre. En todas las situaciones se ha observado que estas estructuras quedan fosilizadas por los materiales de la Fm. Graus y estos no se ven afectados por las fallas (Fig. 3). En este sentido, la Fm. Graus se adapta a la morfología preexistente o paleorelieve estructural mostrando así bruscos cambios de espesor, como se refleja en los sondeos (Fig. 2).

### Sistema de fallas del Sarrón

Bajo esta denominación y por encontrarse la mayoría de estas estructuras en el valle con el mismo nombre, se han agrupado todas aquellas fallas normales y en dirección de escala decamétrica que afectan a la Fm. Graus en este sector de la USPC y que en la mayoría de los casos presentan indicadores cinemáticos (estrías y escalones de recristalización). En algunos casos, estos indicadores permiten inferir su formación bajo diferentes direcciones del campo de esfuerzos, lo que muestra una cinemática compleja para la zona. El mejor ejemplo de esta situación se encuentra al sur de la localidad de Benabarre (E1 en Fig. 2 y Fig. 4A), donde se pueden observar dos fases de movimiento en diferentes fallas. Una primera con la formación de planos verticales de fallas en dirección, dextrales y sinestrales, donde se ha diferenciado una familia de dirección N170°E y otra menos representativa de dirección N050°E (Fig. 4A). Con cabeceos medidos en estrías inferiores a los 05°S para las fallas dextrales y en torno a 30°S para las sinestrales (Fig. 4A). La segunda fase observada representa la formación de fallas normales, lítricas y conjugadas de dirección N-S con estrías que indican una componente normal pura (cabeceos de 90°), en general con escaso desplazamiento en la vertical (E1 en Fig. 2 y Fig. 4A).

Otros ejemplos se encuentran al NW de la zona de estudio (E2 en Fig. 2 y Fig. 4B). Aquí únicamente se han identificado fallas normales con cabeceos superiores a los 85° y que, como se observa en la figura 4B, se pueden agrupar en dos familias oblicuas de dirección N-S y NW-SE, siendo la primera la más representativa. En este sector se han encontrado las fallas con mayor longitud y desplazamiento vertical (entre 15 y 20 m) dentro de la Fm. Graus, con una dirección N-S (Fig. 2) y que en conjunto determinan



Fig. 3.- Pequeña fosa al oeste de Tolva (lámina del Montsec). Se puede observar como la Fm. Graus no aparece deformada por las fallas normales. CA-Caliza de Alveolinas, FG-Fm. Graus, Csup-Cretácico superior.

Fig. 3.- A little graben located west of Tolva (Montsec sheet). It is possible to recognize the non-deformation of Graus Fm. by normal faults. CA-Alveolina limestone, FG-Graus Fm., Csup-Upper Cretaceous.

una pequeña fosa con esta misma dirección. También aquí se han identificado varias fallas normales pertenecientes a la familia NW-SE con un marcado carácter sinsedimentario (Fig. 5). Aunque es en las estaciones 1 y 2 donde se da la mayor concentración de fallas, se han identificado un gran número de estructuras similares repartidas por toda el área de afloramiento de la Fm. Graus con direcciones y escala similares.

### Interpretación

En el área de estudio se diferencian dos estadios tectónicos diferentes. El primero de ellos está relacionado con la formación del sistema de pequeñas fosas de dirección E-W y NW-SE, que se ha ligado al crecimiento de los anticlinales de bloque superior de las láminas de cabalgamiento del Montsec y Mediano. Durante el Eoceno superior, bajo el campo de esfuerzos regional compresivo de dirección N020-030°E (Liesa y Simón, 2009) que dio lugar a la formación de estos pliegues de dirección pirenaica, se desarrollaron en sus charnelas una sistema de pequeñas fosas con dirección similar. La observación de estas fracturas resulta en ocasiones complicada, pero queda reflejada en las constantes variaciones de espesor de la Fm. Graus en la charnela de estos anticlinales, la cual rellena el relieve estructural creado por los bloques de estas estructuras.

Como se puede ver en la figura 2, se ha interpretado la existencia de un gran número de pequeñas fallas E-W que permiten justificar las bruscas diferencias de espesor en la Fm. Graus, en ocasiones de más de 200 metros. También hemos interpretado la presencia de estructuras similares con dirección N-S que permiten explicar variaciones de espesor de igual im-

portancia en dirección E-W observas en los sondeos del IPA. El origen de estas segundas estructuras podría estar relacionado con la inmersión hacia el oeste del eje del anticlinal de la lámina de Mediano. En este sentido, los afloramientos de Benabarre corresponden a una combinación de altos estructurales o *horsten* dentro del complejo de fosas y a una morfología en cuestas,

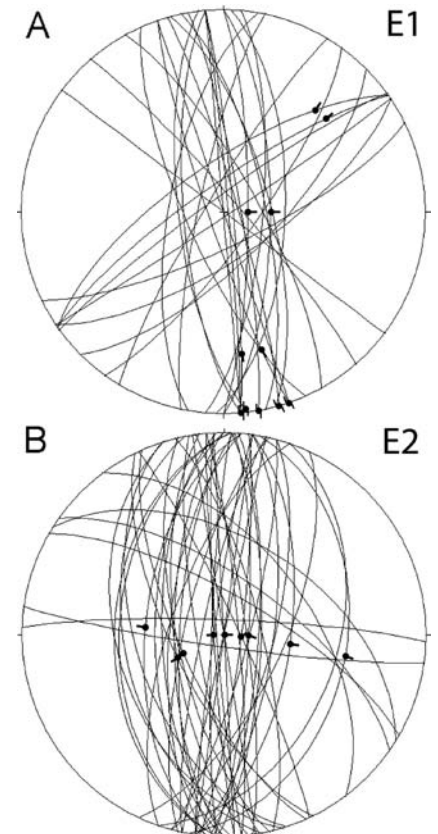


Fig. 4.- Proyección estereográfica (hemisferio inferior) de los datos de fallas y estrías medidas en las estaciones 1 (A) y 2 (B). Ver situación de las estaciones en la figura 2.

Fig. 4.- Stereoplot (lower hemisphere) fault data and slickenlines in sites 1 (A) and 2 (B). See location of sites in figure 2



**Fig. 5.- Falla normal sinsedimentaria en estación 2.**  
*Fig. 5.- Synsedimentary normal fault in site 2.*

coincidiendo con las calizas resistentes, heredada del peleorelieve. En relación con la inmersión del eje del anticlinal hacia el oeste, los afloramientos desaparecen en este mismo sentido lo que dificulta su interpretación. Benthams y Burbank (1996) establecen una edad en torno a 36,2 Ma para la base de la Fm. Graus y Teixell y Muñoz (2000) afirman que el Montsec no constituyó un alto estructural durante el Eoceno inferior, por lo que tras las observaciones de campo, podemos afirmar que el desarrollo de estas fosas y el paleorelieve estructural tuvo lugar, al menos parcialmente, durante el Eoceno superior.

Dentro de este primer estadio tectónico, pero separado en el tiempo, se encuentran las fallas en dirección identificadas en la Fm. Graus al sur de Benabarre. Resulta complicado establecer un origen concreto para estas fracturas, que podrían estar relacionadas con la evolución como cabalgamiento fuera de secuencia del cabalgamiento del Montsec durante el Oligoceno (Teixell y Muñoz, 2000; Franco, 2014), lo cual seguiría siendo coherente con el estado de esfuerzos propuesto por Liesa y Simón (2009) para esta zona del Pirineo.

El segundo estadio tectónico está representado por las fallas normales del sistema de fallas del Sarrón, de origen y edad inciertos. Sancho (1990) cita al sur de la

zona de estudio estructuras similares que involucran tanto a materiales más antiguos como a más modernos (Mioceno). Les atribuye una génesis relacionada con movimientos corticales en la Cadena Pirenaica. En la Cuenca del Ebro, Simón *et al.* (1999) describen también estructuras con direcciones y estado de esfuerzos similares y de edad Mioceno superior. En la Codillera Ibérica, Simón (1983) describe de nuevo estructuras generadas bajo un mismo estado de esfuerzos también de edad Mioceno medio-superior que atribuye al proceso distensivo final alpino de la Cuenca de Valencia. De atribuir un origen similar a estas fallas normales, habría que asumir una edad Mioceno medio para la parte alta de la Fm. Graus, como propone Cuevas-Gozaló (1989), para explicar las fallas sinsedimentarias observadas. O bien que el régimen extensional asociado fuera anterior en este caso, como ocurre en las catalánides, donde la extensión empieza ya en el Mioceno basal (Anadón *et al.*, 1979; Gelabert *et al.*, 2002).

## Conclusiones

La formación de los anticlinales de bloque superior de las láminas de cabalgamiento de Mediano y Montsec durante el Eoceno superior llevó consigo el desarrollo de un sistema de pequeñas fosas alargadas de dirección E-W y NW-SE en sus respectivas charnelas desarrollando así un paleorelieve estructural que posteriormente fue fosilizado por los materiales terrígenos de la Fm. Graus. Durante la sedimentación en el Oligoceno de esta formación quedaron registrados los últimos movimientos fuera de secuencia de la rampa lateral del cabalgamiento del Montsec en un conjunto de fallas en dirección con orientación N170°E. Por último, el carácter sinsedimentario de un conjunto de fallas normales de origen incierto y de dirección NW-SE podría hacer pensar en una edad Mioceno medio-inferior para la parte alta de la Fm. Graus.

## Agradecimientos

Los autores agradecen las revisiones y aportaciones constructivas de J. García Senz

y Carlos Liesa que han ayudado a mejorar este trabajo.

## Referencias

- Anadón, P., Colombo, F., Esteban, M., Marzo, M., Robles, S., Santanach, P. y Solé Sugañes, Ll. (1979). *Acta Geológica Hispánica* 14, 242-270.
- Benthams, P.A. y Burbank, D.W. (1996). En: *Tertiary Basins of Spain* (P. Friend y C. Dabrio, Eds.). Cambridge University Press, Cambridge, 144-152.
- Beamud, E. (2013). *Paleomagnetism and thermochronology in Tertiary syntectonic sediments of the South-Central Pyrenees. Chronostratigraphy, kinematic and exhumation constraints*. Tesis Doctoral, Univ. de Barcelona, 249 p.
- Cuevas-Gozaló, M. (1989). *Sedimentary facies and sequential architecture of tide-influenced alluvial deposits. An example from the middle Capella Formation, South-Central Pyrenees, Spain*. Tesis Doctoral, Univ. de Utrecht, 152 p.
- Franco, J. (2014). *Estructura de la terminación occidental del cabalgamiento del Montsec*. Trabajo Fin de Grado, Univ. de Zaragoza, 45 p.
- Gelabert, B., Sàbat, F. y Rodríguez-Perea, A. (2002). *Terra Nova* 14, 93-100.
- Liesa, C.L. y Simón, J.L. (2009). *Tectonophysics* 474, 144-159.
- Martínez-Peña, B. (1991). *La estructura del límite occidental de la Unidad Surpirenaica Central*. Tesis Doctoral, Univ. de Zaragoza, 346 p.
- Sancho, C. (1990). *Boletín Geológico y Minero* 101, 526-535.
- Séguret, M. (1972). *Étude tectonique des nappes et séries décollées de la partie centrale du versant sud des Pyrénées. Caractère sédymantaire rôle de la compression et de la gravité*. Tesis Doctoral, Univ. de Montpellier, 155 p.
- Simón, J.L. (1983). *Boletín Geológico y Minero* 94, 281-290.
- Simón, J.L., Arlegui, L.E., Liesa, C.L. y Maestro, A. (1999). *Journal of Geophysical Research* 104, 15141-15153.
- Teixell, A. y Muñoz, J.A. (2000). *Revista de la Sociedad Geológica de España* 13, 251-270.