

UNIVERSIDAD DE BURGOS

ESCUELA DE DOCTORADO

TESIS DOCTORALES

- TÍTULO:** ESTUDIO PALEOMAGNÉTICO EN EL ALTO ATLAS CENTRAL. REMAGNETIZACIONES E IMPLICACIONES TECTÓNICAS
- AUTORA:** TORRES LÓPEZ, SARA
- PROGRAMA DE DOCTORADO:** EVOLUCIÓN HUMANA, PALEOECOLOGÍA DEL CUATERNARIO Y TÉCNICAS GEOFÍSICAS APLICADAS A LA INVESTIGACIÓN (INTERUNIVERSITARIO)
- ACTO Y FECHA DE LECTURA:** ACTO Y FECHA DE LECTURA: EL ACTO PÚBLICO DE DEFENSA DE TESIS SE DESARROLLARÁ EL DÍA 10 DE DICIEMBRE DE 2020, A LAS 11:00 HORAS, DE MANERA TELEMÁTICA MEDIANTE TEAMS
- DIRECTORES:** JUAN JOSÉ VILLALÁIN SANTAMARÍA
ANTONIO CASAS SÁINZ
- TRIBUNAL:** RUTH LURDES SOTO MARÍN
MARÍA FELICIDAD BÓGALO ROMÁN
HMIDOU EL OUARDI
VICENTE CARLOS RUIZ MARTÍNEZ
ERIC FONT
- RESUMEN:** En las últimas décadas se han desarrollado estudios paleomagnéticos que constatan la existencia de remagnetizaciones en áreas muy extensas. El estudio de estos fenómenos ha permitido relacionarlos con diversos procesos: diagenéticos, termoviscosos, químicos, metamórficos, mecánicos o hidrotermales (Valet et al. 1998; Evans et al. 2000, Katz et al. 1998; Woods et al. 2000; Gong et al. 2008b). Sin embargo, el origen de las remagnetizaciones es aún una cuestión abierta, por lo que su estudio es fundamental para intentar esclarecer los mecanismos que provocan este fenómeno. Trabajos anteriores han documentado remagnetizaciones en cuencas mesozoicas de la placa Ibérica. En concreto (Villalaín et al., 2003; Gil-Imaz et al., 2005; Casas et al., 2009; Soto et al. 2008; Soto et al., 2011, Villalaín et al., 2008a,b) ponen de manifiesto remagnetizaciones regionales que afectan a zonas previamente deformadas. En estos trabajos se han aportado dataciones, propiedades magnéticas e interpretaciones estructurales. Estos antecedentes llevan a pensar si el fenómeno de las remagnetizaciones en cuencas sedimentarias es extensible a otras cuencas intraplaca como las cuencas del Alto Atlas Marroquí. Las cuencas Mesozoicas del Atlas Marroquí se forman en una fase extensional que ocurre principalmente durante el Triásico y comienzo del Lias. Durante el Jurásico y Cretácico se produce el relleno de las cuencas, principalmente calizas, calizas margosas y red beds. A finales del Cretácico se produce la inversión de las cuencas debido a la convergencia entre África y Europa. La formación y evolución de las cuencas mesozoicas en el Ato Atlas convierten el área en un área idónea para realizar un estudio sistemático sobre remagnetizaciones que es el contenido de la

tesis doctoral de la investigadora y que representa el primer estudio paleomagnético sistemático realizado hasta el momento en esta región. La metodología de este proyecto de investigación es la habitual en los estudios paleomagnéticos aplicados a la tectónica e incluye también los análisis de mineralogía magnética a partir de experimentos de magnetismo de las rocas. Se han realizado un total de 6 campañas de campo donde se ha procedido a un reconocimiento geológico, cartográfico y estructural del área de estudio. Se han adquirido unas 1180 muestras distribuidas en tres secciones transversales al Alto Atlas central. Cortes de Imilchil, Midelt-Erracidia y Demant-culminación de Skoura. Para la extracción de muestras se ha utilizado perforadoras de gasolina con sistema de refrigeración para extraer testigos estándar de una pulgada de diámetro, que se orientan en el campo mediante sistemas magnéticos o solares. En cada estación se perforará un número suficiente de testigos orientados (8-12) para estimar con precisión la dirección de la remanencia característica (ChRM) y minimizar los errores. Dadas las características de este trabajo es necesario demostrar para cada área concreta, que la magnetización característica observada es efectivamente la remagnetización previa a la inversión terciaria. Para ello, es necesario realizar de forma sistemática tests de estabilidad paleomagnética con el fin de definir la cronología de la magnetización encontrada en las muestras. De estos tests, el más importante es el test del pliegue. Todas las muestras han sido desmagnetizadas térmica y por campos alternos en el laboratorio de Paleomagnetismo de la Universidad de Burgos. El análisis de las direcciones paleomagnéticas ha permitido observar el comportamiento de la N.R.M (Imanación remanente natural) que muestra que las calizas del Jurásico inferior y medio del Alto Atlas central presentan una componente intensa con sistemática polaridad normal y temperaturas de desbloqueo entre 450-475 °C. En los trabajos de paleomagnetismo son básicos los estudios de magnetismo de las rocas, pues la identificación de la mineralogía magnética y su caracterización son fundamentales para la interpretación del origen y estabilidad de las componentes paleomagnéticas. Se han realizado diversos experimentos para conocer la mineralogía magnética y valorar la estabilidad paleomagnética: Adquisición de la I.R.M (Magnetización remanente isoterma) Desmagnetización térmica en tres ejes ortogonales de la I.R.M Ciclos de histéresis Medida de la susceptibilidad magnética Control de cambios químicos durante la desmagnetización Curvas termomagnéticas Curvas back field Análisis mineralógico mediante S.E.M (Scanning electron microscope) Tests de pliegue. Los resultados de los experimentos para conocer la mineralogía magnética indican que el mineral portador de la remagnetización es la magnetita además ponen de manifiesto la presencia de otros minerales como la Greigita, Hematites, Pirrotina, Pirita y otros sulfuros, que aportan conocimiento sobre los procesos diagenéticos que han afectado a las diferentes cuencas. Los resultados de los tests de pliegue demuestran que como en las cuencas de Iberia la remagnetización se ha producido después de la fase tectónica extensional que afecta al Norte de Africa durante el triásico y lias inferior y medio y es posterior a la fase compresiva iniciada a finales del Cretácico y que perdura en la actualidad. Para

obtener de manera precisa la dirección de remagnetización se ha usado el método de Intersección de Círculos menores (SCI) de Shipunov (1997) y Waldhör y Appel (2006). Este método asume que durante el basculamiento, la dirección de la magnetización rota alrededor de un eje horizontal paralelo a la dirección de la capa. (esta trayectoria corresponde a un círculo menor -SC- en la proyección estereográfica). La técnica asume que, a priori, todas las direcciones a lo largo de un círculo menor son posibles. La intersección de estos círculos menores correspondientes a las diferentes estaciones representa la dirección del campo magnético en el momento de la adquisición de la remagnetización. Esta técnica se ha utilizado en trabajos anteriores (Casas et al., 2009; Soto et al., 2011, etc.). Los resultados obtenidos para el caso del corte de Imilchil es ($D= 337, 9^\circ I= 31.5^\circ \alpha 95= 3,8^\circ$), para el caso del sector Midelt-Errachidia es ($D= 337.0^\circ I= 37,5^\circ \alpha 95= 3,7^\circ$) y para el corte Demant-culminación de Skoura ($D= 342.0^\circ I= 51^\circ \alpha 95= 3,7^\circ$). Los resultados de las direcciones (Torres-López et al., 2012; TorresLópez et al., 2014; Torres-López et al.,2016) muestran valores estadísticamente indistinguibles para las dos primeras áreas estudiadas. Se han comparado estos resultados con la APWP de Africa (Torsvick et al 2012) para el Alto Atlas pudiendo datar las remagnetizaciones de una manera precisa a una edad de 100 m.a, comienzo del Cenomaniense. Para el sector de Imilchil se ha podido relacionar las propiedades magnéticas con el estilo estructural de la cuenca además se ha observado que las remagnetizaciones de las cuencas Mesozoicas del Atlas Marroquí presentan las mismas propiedades que las de las cuencas ibéricas Torres-López et al., 2014 y la edad de la remagnetización es similar a las aportadas para Iberia. Como se ha explicado en el apartado de antecedentes, el grupo investigador ha trabajado en los últimos años sobre el fenómeno de las remagnetizaciones y su interpretación tectónica (Villalaín et al., 2003; Soto et al., 2008; Casas et al., 2009; Soto et al., 2011, etc.). Utilizando la metodología desarrollada por este grupo Villalaín et al., 2003, que permite definir la geometría de las cuencas investigadas en el momento de la adquisición de la remagnetización. La técnica permite también establecer la cronología relativa al registro de la remanencia. El método consiste en rotar los vectores paleomagnéticos de cada estación de muestreo alrededor del strike del estrato, restituyendo las capas hasta que los vectores alcancen la dirección esperada para esa época (restitución asimétrica: Villalaín et al., 2003; Henry et al., 2004). Esta reconstrucción proporciona finalmente los paleo-buzamientos de los estratos en el momento de la adquisición de la remanencia, de este modo se reconstruye la geometría de las cuencas en el momento de la adquisición de la remagnetización (Villalaín et al., 2003; Soto et al., 2008; Casas et al., 2009; Soto et al., 2011, etc). En el caso del Alto Atlas esto ha permitido demostrar que existen estructuras de deformación previas a la deformación Terciaria que afecta a toda la cadena del Atlas. Se han reconstruido diferentes estructuras a lo largo de los tres perfiles estudiados demostrando que presentan deformación por diferentes eventos previos a la remagnetización (Torres-López et al., 2015, 2018). Esta aportación es muy significativa ya que existe un debate abierto desde hace más de 40 años sobre

la existencia o no de deformación regional en el Alto Atlas Marroquí.

PALABRAS CLAVE:

KEY WORDS: