

Fig. 2.- Diagrama de desmagnetizaciones progresivas en campos alternos. Véase la existencia de dos componentes, una componente de baja estabilidad y otra de estabilidad alta. Los pasos de desmagnetización se indican en Oersted. En círculos negros aparece la proyección horizontal y en blancos la vertical.

Fig. 2.- Demagnetisation diagrams of different samples. See two components, a lower - stability in opposite to a higher - stability component. The demagnetisation steps are in Oersted. Black circles correspond to horizontal projection and the white one to the vertical projection.

El objetivo del presente trabajo se basa en comparar sobre los mismos materiales, las edades radiométricas con los datos de la orientación de la componente característica (ChRM), en la región de Campo de Calatrava, lo que además de establecer con una mayor precisión el momento de la emisión y enfriamiento, ha permitido descubrir algunos aspectos volcanológicos como son: haber encontrado cierta permanencia de la actividad volcánica en el tiempo, diferenciar volcanes distintos y reconocer un posible caso de inversión magnética, dada la rapidez con la que los procesos volcánicos se producen.

Marco geológico y cronología del volcanismo

La zona volcánica de Campo de Calatrava, se localiza en la zona central de la provincia de Ciudad Real, presentando una distribución desigual de los asomos volcánicos en cuanto a la densidad y dispersión, apareciendo dispuestos en mayor número según una dirección NNW-SSE. (Fig. 1).

Geológicamente, se sitúa la zona volcánica de Campo de Calatrava entre los últimos afloramientos del basamento hercínico que se encuentran en la zona suroriental y las pequeñas cuencas cenozoicas que bordean este zócalo. Sin embargo, no se ha constatado que estas estructuras geológicas hayan influido en la distribución de los focos volcánicos, apareciendo éstos tanto sobre el zócalo hercínico como sobre los materiales neógenos.

Los materiales hercínicos se encuentran

bastante deformados e intensamente fracturados por fallas de direcciones NNW-SSE y ENE-WSW. Dichas fracturas son las que, parecen haber actuado en etapas recientes formando zonas elevadas y deprimidas. En estas últimas se formaron pequeñas cuencas aisladas entre sí, con tendencia a unirse hacia levante con la cuenca de la Llanura Manchega.

La primera aproximación cronológica que se hizo de este volcanismo fue debida a Hernández-Pacheco (1921), al asociarlo a los restos fósiles encontrados durante la excavación de un pozo en Valverde de Calatrava, que definían una edad Plioceno superior - Pleistoceno; y que más tarde Crusafont (1961), revisando de nuevo los restos, le atribuyó una edad del Villafranquiense superior. Recientemente, con el descubrimiento del yacimiento de Las Higuieruelas (en las proximidades de Alcolea de Calatrava), donde los restos de fauna se encontraban asociados a bombas volcánicas, se pudo establecer de nuevo para el volcanismo edades del Villafranquiense inferior y medio en Molina (1975) y Alberdi, *et al.* (1986).

Las dataciones radiométricas existentes en la zona, son las que han aportado datos más directos y precisos. El método empleado ha sido el K-Ar, en los trabajos de Ancochea *et al.* (1979), sobre todo en Ancochea (1982) y en Bonadonna y Villa (1986). Dichos autores establecen para este volcanismo dos periodos de actividad, el primero durante el Mioceno superior (8.7 - 6.4 Ma.), y el segundo del Plioceno - Pleistoceno (4.7 -1.7 Ma.). Entre ambos

periodos la actividad volcánica debió interrumpirse y la renovación estuvo acompañada con una variación composicional (Ancochea, 1982).

Durante la investigación del yacimiento de Las Higuieruelas, se determinó radiométricamente el entorno volcánico del yacimiento, donde aparecen distintas secuencias de materiales volcánicos relacionadas con la serie sedimentaria. La primera de estas secuencias corresponde a un nivel de piroclastos de alta explosividad (freatomagmático), con gran cantidad de fragmentos líticos arrancados del zócalo, este nivel se encuentra en la base en la serie estratigráfica con una potencia que alcanza 8 metros, y se ha datado en 4.7 Ma. En posiciones intermedias de la serie sedimentaria aparecen también pequeños niveles de materiales volcánicos muy alterados, pero que parecen más bien haberse formado como material volcánico resedimentado. En la parte superior de la serie, donde se sitúa el yacimiento, los materiales volcánicos allí encontrados (bombas volcánicas), así como los volcanes próximos a él, han dado edades entre 3.5 - 3.0 Ma. en Bonadonna y Villa (1986).

A pesar de que es frecuente encontrar en la zona materiales volcánicos intercalados en las series sedimentarias, este criterio no puede ser empleado para establecer correlaciones que abarquen a zonas mayores, dado el carácter restringido y aislado de dichas cuencas, y lo puntual en cuanto a la extensión de las emisiones. Por lo que la aplicación de técnicas paleomagnéticas en estos materiales, tanto en los volcánicos como en los sedimentarios, puede contribuir a establecer otro criterio físico de correlación, aunque en este trabajo solo nos limitaremos al estudio de los materiales volcánicos de los que se cuenta con datación.

Paleomagnetismo

Los antecedentes de la aplicación de esta técnica en la zona, se deben en primer lugar a Ancochea, (1982), que midió «in situ» la MRN sobre la mayoría de los afloramientos volcánicos señalando la orientación de la componente de magnetización correlacionando, además, los datos radiométricos con las polaridades obtenidas. Sin embargo, este método de medición solo permite determinar la componente magnética total de la roca, la cual puede deberse a la sobreimposición de diversas magnetizaciones relacionadas con procesos secundarios y que, frecuentemente, enmascara la componente primaria. Es necesario,

para definir la componente original o característica (ChRM) realizar lavados de desmagnetización sucesivos, tal y como se puede observar en la figura 2, donde la orientación de dicha componente varía con los sucesivos pasos de la desmagnetización hasta determinar la componente primaria.

Con el objetivo de obtener un paleopolo magnético del Plioceno - Pleistoceno, Bógalo, *et al.* (1994), realizan medidas paleomagnéticas con desmagnetizaciones de diferentes afloramientos volcánicos en la zona.

Por último, Parés y Dinarès - Turell (com. personal) obtienen polaridades inversas en el techo de la serie estratigráfica que contiene el yacimiento de Las Higuieruelas.

En el presente trabajo se han analizado los materiales volcánicos de las estaciones de las que se contaban datación absoluta. Previamente se hizo un reconocimiento cartográfico de los volcanes y de las diferentes emisiones que hayan podido tener, muestreando según las circunstancias varias estaciones del mismo volcán.

El análisis se realizó en un magnetómetro rotatorio (Molspin Ltd) y se usó para la desmagnetización la aplicación de campos alternantes sucesivamente mayores con un equipo GSD-5 (Schonstedt).

Los resultados paleomagnéticos así obtenidos se han comparado con la escala magnetoestratigráfica. Esta escala, que se formó, en principio, basándose en medidas radiométricas, en cuyo establecimiento Butler (1992), observa algunos aspectos cronológicos interesantes como son:

- Los errores que se producen en las determinaciones radiométricas son parecidos a la duración típica de un intervalo de polaridad (= 0.25 Ma.)

- Hay ciertas medidas de polaridad (1.5%) que pueden clasificarse como polaridades intermedias, las cuales aparecen mientras se producen las inversiones de polaridad, periodo éste que dura entre 10^3 y 10^4 años, por lo que se pueden considerar rápidas en muchas aplicaciones estratigráficas pero que pueden ser detectadas en una emisión volcánica, dado la instantaneidad con la que ésta se produce.

Posteriormente esta escala ha sido reformada mediante perfiles de anomalías magnéticas de los fondos oceánicos (Cande y Kent, 1992 y 1995).

Discusión de resultados y conclusiones

Los resultados paleomagnéticos obtenidos junto con los datos cronológicos existentes se indican en la tabla 1, en la que se

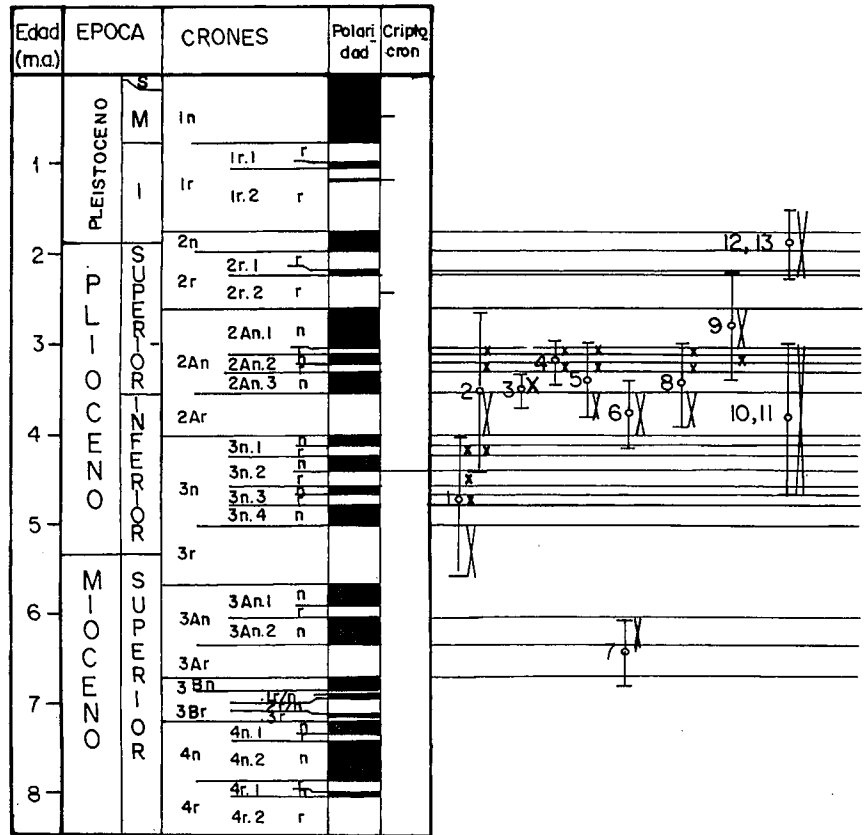


Fig. 3.- Secuencia magnetoestratigráfica de los últimos 8 Ma, según Cande y Kent (1992, 1.995), con la situación de las distintas muestras volcánicas con sus intervalos de error. Se indican con una "X" la polaridad magnética correspondiente.

Fig. 3.- Geomagnetic polarity time scale from the last 8 Ma, after Cande and Kent (1992, 1.995). With the situation of radiometric age and their error intervals of volcanic samples. The paleomagnetic polarity is noted with "X".

han incluido además dos datos paleomagnéticos de los trabajos anteriormente citados, de Bógalo *et al.* (1994) que corresponden a los volcanes de Cabezo Segura y Morrón de Villamayor, y de Parés y Dinarès - Turell referentes a la polaridad del yacimiento de Las Higuieruelas.

Cabe destacar de dichos resultados las diferentes polaridades que presentan las estaciones recogidas en los volcanes Colada del Ojailén y La Atalaya (Fig. 1 y Tab. 1).

En la figura 3, se han representado las distintas cronologías radiométricas con sus márgenes de error sobre la escala magnetoestratigráfica de Cande y Kent (1992, 1995). En ella se pueden observar que la amplitud que presentan las dataciones absolutas llegan a abarcar varios crones magnéticos, y que con las determinaciones paleomagnéticas correspondientes (indicadas con una "X"), se puede ajustar la edad con mayor precisión.

Así, en las estaciones 1, 2, 3, y 4 tomadas en los volcanes relacionados con el yacimiento de Las Higuieruelas, se pueden hacer las siguientes observaciones: la esta-

ción 1 tomada sobre los piroclastos inferiores de la secuencia sedimentaria, presenta una polaridad inversa que corresponderá a algún subcron inverso de 3n. La estación 2, representando a los niveles del yacimiento fosilífero, con una polaridad inversa, corresponde al cron 2Ar, o a algún subcron inverso de 2An, indicando además, que las bombas volcánicas encontradas en el yacimiento junto a los fósiles, provienen del volcán Juan de la Puerta (estación 4) situado al sur del yacimiento, a pesar de encontrarse más cerca del mismo el volcán del Cabezo del Moro (estación 3), pero que posee polaridad normal. Con todo ello se puede estimar que dicho nivel fosilífero tiene edades correspondientes a los subcronos 2An.1r = (3.054 - 3.127 Ma.) o 2An.2r = (3.221 - 3.325 Ma). Coincidiendo con la determinación que para el yacimiento hace Mazo (1995).

Las estaciones 5 y 8, presentan polaridades inversas y opuestas a la correspondiente a su edad, se puede interpretar dicha diferencia y tal como indica Ancochea (1982), para la datación del Cabezo Pelado

E	VOLCAN	SIGLAS	N	DEC.	INC.	K	α_{95}	EDAD(Ma)
1	Las Higuieruelas	HGL1-3	6	221.4	64.5	15	19.7	4.7 ± 0.7
2	Las Higuieruelas	HIG		INV	INV			3.0 ± 0.4
3	Cb ^o del Moro	78403	7	7	21	61.1	8.4	3.46 ± 0.11
4	Juan de la Puerta	78404	8	183.8	-64.2	58.7	7.8	3.18 ± 0.23
5	Los Corrales	78406	7	188.6	-50.9	61.1	8.4	3.2 ± 0.4
6	Cabezo Segura	78432	13	174.4	-43.4	26.3	8.2	3.7 ± 0.4
7	Morrón de Villamayor	81001	13	338.7	51.3	269	2.5	6.4 ± 0.4
8	Cerro Pelado	81004	7	186	-23	74	7.6	3.4 ± 0.4
9	V. del Cabezuelo	81010	7	3.2	43.6	83.2	6.7	2.8 ± 0.6
10	Cd ^a del Ojailén	83605.I	7	304	62	10.7	19.1	3.7 ± 0.7
11	Cd ^a del Ojailén	83605.II	7	83	-11.5	52	9.1	¿3.7 ± 0.7?
12	La Atalaya	83702.I	8	20.2	41.2	13.7	16.7	1.75 ± 0.4
13	La Atalaya	83702.II	7	188	-47	16	19.1	¿1.75 ± 0.4?

Tabla 1.- Cuadro resumen de los parámetros paleomagnéticos y cronológicos del volcanismo datado del Campo de Calatrava. E, número de estación; N, número de muestras analizadas; DEC, declinación magnética; INC, inclinación magnética; K, parámetro de concentración; α_{95} , radio del cono de confianza al 95%. INV. Polaridad de magnetización inversa.

Table 1. - Summary table of the paleomagnetic parameters in the dated volcanoes of Campo de Calatrava zone. E, number of localities; N, number of sample; DEC., declination; INC, inclination; K, Concentration parameter, α_{95} radius 95% confidence cone. INV., Reverse magnetisation polarity.

(estación 8), por el hecho de que la erupción se haya producido con posterioridad a la formación del mineral empleado en la datación (en este caso la biotita). Y por tanto ambos volcanes caracterizan los subcronos posteriores **2An.1r** o **2An.2r**.

Las polaridades de las estaciones 6 y 9, se correlacionan bien con la definida por su edad radiométrica y caracterizan los cronos **2Ar** y **2An.1n**, respectivamente.

En el volcán de La Atalaya (estaciones 12 y 13), se han encontrado dos polaridades opuestas que se pueden interpretar por la existencia de diferentes coladas (reconocibles cartográficamente), que fueron emitidas en distintos periodos; significando esto que la actividad del volcán perduraría al menos durante el tiempo que se produce una inversión magnética (duración media de 5.000 años). Esta perduración de la actividad volcánica en el tiempo ha sido reconocida por Ancochea (1982), en el caso del volcán Morrón de Villamayor.

Para el caso de la Colada del Ojailén (estaciones 10 y 11) también con diferentes estaciones de recogida, la variación que aparece en la declinación e inclinación se puede interpretar, diferenciando dos volcanes distintos; hecho éste que se deduce tanto cartográfica como petrofísicamente. El primer aspecto se justifica en la longitud que este afloramiento alcanza (hasta 7 km), apareciendo en la orilla izquierda del río Ojailén de forma discontinua, erosionado y cubierto de depósitos aluviales más recientes. Petrofísicamente, las intensidades de magnetización inicial de las muestras de las distintas estaciones son muy diferentes (de hasta 10 veces mayor), lo cual se interpreta como una variación composicional o correspondiente a distintos momentos de magnetización. Por otra parte, la orientación de la componente que aparece en la segunda y más oriental estación, en la dirección e inclinación (Fig.1 y Tab. 1), se puede clasificar como "intermedia", originada durante un periodo de inversión de polaridad.

Como conclusión final cabe indicar que la

relación que se puede establecer entre las medidas de polaridad paleomagnéticas y las edades radiométricas permite definir con mayor precisión la edad de emisión y enfriamiento de estos materiales volcánicos. De esta manera y con los datos de polaridad paleomagnética y dataciones radiométricas consideradas en este trabajo (Tab. 1 y Fig. 3) se ha establecido una emisión volcánica en el cron **3An.2n** y el resto de las emisiones se sitúan en Gilbert (**3r**, **3n**, **2An**), en Gauss (**2Ar**, **2An**) e inclusive hay una manifestación volcánica en Matuyama, que está alrededor del límite Cuaternario - Plioceno (**2n**), en el volcán de La Atalaya situado al SW de Calzada de Calatrava.

Agradecimientos

Al Instituto de Ciencias de la Tierra "Jaume Almera" (C.S.I.C.) de Barcelona, donde se han llevado a cabo el trabajo experimental. Este estudio ha contado también con las ayudas aportadas por la Universidad de Castilla-La Mancha para el programa Estancias en otras Universidades o Centros de Investigación.

Referencias

- Alberdi, M.I., Jiménez, E., Mazo, A.V., Morales, J., Sesé, C. y Soria, D. (1986): *Actas de Castilla La-Mancha. Espacio y sociedad*. Vol. III: 255-277
- Ancochea, E., Giuliani, A. y Villa, I. (1979): *Est. Geol.* 35: 131-135
- Ancochea, E. (1982): *Tesis Doctoral*. Univ. Complutense de Madrid. 203/83. 657pp.
- Bógallo, M.F., Osete, M.L., Ancochea, E. y Villalaín, J.J. (1994): *Geogaceta* 15:109-113
- Bonadonna, F.P. y Villa, I. (1986): *Actas de Castilla-La Mancha. Espacio y Sociedad*, Vol III: 249-253.
- Buttler, R.F. (1992): *Paleomagnetism*. Blackwell Scientifics Publications. Cambridge. Massachusetts. 02142. USA.
- Cande, S.C. y Kent, D. (1992): *Jour. Of Geoph. Res.* 97: 13917-13951
- Cande, S.C. y Kent, D. (1995): *Jour. Of Geoph. Res.* 100: 6093-6095
- Crusafont, M. (1961): «*Speleon*» 12: 1-21.
- Hernández-Pacheco, E. (1921): *Bol. R. Soc. Española Hist. Nat.* Tomo cincuentenario: 98-114.
- Mazo, A.V. (1995): *Estud. Geol.* 51:285-290
- Molina, E. (1.975) *Trab. Sobre Neógeno - Cuaternario*. 3: 1-106