

# Efectos tectónicos recientes en el Campo de Calatrava deducidos de los datos paleomagnéticos del volcanismo neógeno

Recent tectonic effects in the Campo de Calatrava deduced from the paleomagnetic data of the neogene volcanism

J.L. Gallardo Millán

Departamento de Ingeniería Geológica y Minera. Universidad de Castilla – La Mancha. Plaza Manuel Meca, 1.13400 Almadén (Ciudad Real).  
Joseluis.GMillan@uclm.es

## ABSTRACT

The Campo de Calatrava region shows some effects of the recent tectonics related to origin of the Betic orogen. Some of the effect recognizable at Campo de Calatrava was: vertical blocks movements leading to depressions where neogene sediments began to deposit giving rise to the tertiary basins located in the center of the Ciudad Real province.

The neotectonic also has influenced in the distribution of the volcanism, which appears aligned with the main structures activity.

The analysis of the variations of the magnetic declination of some of existing volcanoes allows detect the block rotations over vertical axis. Nevertheless the results show that the declination values do not prove that there has been a generalized rotation of all the area.

Key word: Neotectonic, block rotation, volcanism, magnetic declination, Campo de Calatrava.

Geogaceta, 39 (2006), 35-38

ISSN: 0213683X

## Introducción

La región del Campo de Calatrava muestra rasgos, de haber sufrido los efectos de la tectónica reciente proveniente del sureste de la Placa Ibérica. Entre las principales consecuencias que se pueden mencionarse están la formación de depresiones en las que se formarán las cuencas neógenas, así como formación y distribución del volcanismo de esta región, Gallardo (2005).

En la geometría de la deformación han jugado un papel muy importante la estructura tectónica preexistente, la cual es heredada de la tectónica varisca.

Como se sabe, una de las formas más efectivas para distribuir la deformación continental a lo largo de centenares de kilómetros es mediante bloques que se desplazan y rotan al mismo tiempo (Mc Kenzie y Jackson, 1983). Hay numerosos modelos que explican estas rotaciones sobre ejes verticales, a favor de cizallas, (Beck, 1976, Garfunkel y Ron, 1985 y Nur *et al.*, 1986). Los aspectos más importantes que hay que tener en cuenta para caracterizar las rotaciones de bloques son: la forma y tamaños de los bloques, la velocidad de giro, la geometría de las fallas por las que se distribuye la rota-

ción, la profundidad de los bloques y el contexto geológico en el que son más importantes las rotaciones (Osete, 1992).

Existen muchos trabajos que justifican, mediante desgarres, la distribución de las deformaciones recientes desde los bordes de la Placa Ibérica hacia el interior, apote *et al.* (1990). Así como para justificar esta forma a la disipación lateral de la deformación alpina en el Sistema Central, Vicente *et al.* (1992). También se ha relacionado esta tectónica con la reactivación de fracturas preexistentes (Vegas y Banda, 1982 y Vegas *et al.*, 1990).

Por otra parte, el paleomagnetismo permite detectar en algunos casos los movimientos que sufren los bloques o placas en un momento determinado. De modo que, si un bloque se moviliza respecto a otro, el vector de la magnetización, si esta es simultánea, va a permitir reconocer los movimientos sufridos por los bloques, al verificar que la orientación observada, no coincide con la esperada.

La rotación de la declinación paleomagnética permite explicar los cambios de posición de un bloque en el espacio respecto al paleopolo magnético. La forma de deducir la aproximación a la dirección espacial se ilustra en

la figura 1a (Butler, 1992); en ella se representa, la inclinación y la declinación esperada ( $I_x$ ,  $D_x$ ), y se compara con la orientación paleomagnética obtenida ( $I_o$ ,  $D_o$ ). La inclinación  $F$  viene dada por:  $F = I_x - I_o$  y la rotación de la declinación se calcula según:  $R = D_x - D_o$ . Tomando  $R$  en sentido positivo, cuando  $D_o$  se mueve en sentido horario respecto a  $D_x$ .

Los límites de confianza de las direcciones observadas y de las esperadas se indican  $a_{95}$  y toman los valores  $DF$  y  $DR$ . De modo que, las direcciones esperadas son  $R \pm DR$  y  $F \pm DF$ . El resultado será que cualquier dirección que se desvíe significativamente respecto a la esperada ( $F > DF$  y/o  $R > DR$ ) será una dirección discordante y cualquier otra dirección que no varíe del valor esperado será una dirección concordante.

La aproximación espacial del polo se representa en la figura 1b (Butler, 1992). En ella el Polo de Referencia ( $PR$ ), se mueve respecto al Polo Observado ( $PO$ ). Mediante trigonometría esférica en el triángulo  $S-PO-PR$  se pueden medir los desplazamientos hacia el polo de referencia. La distancia angular  $S-PO$  es  $po$ , mientras que la distancia angular  $S-PR$  es  $pr$ . Sí se comparan las distancias, el bloque se aproxima o se aleja

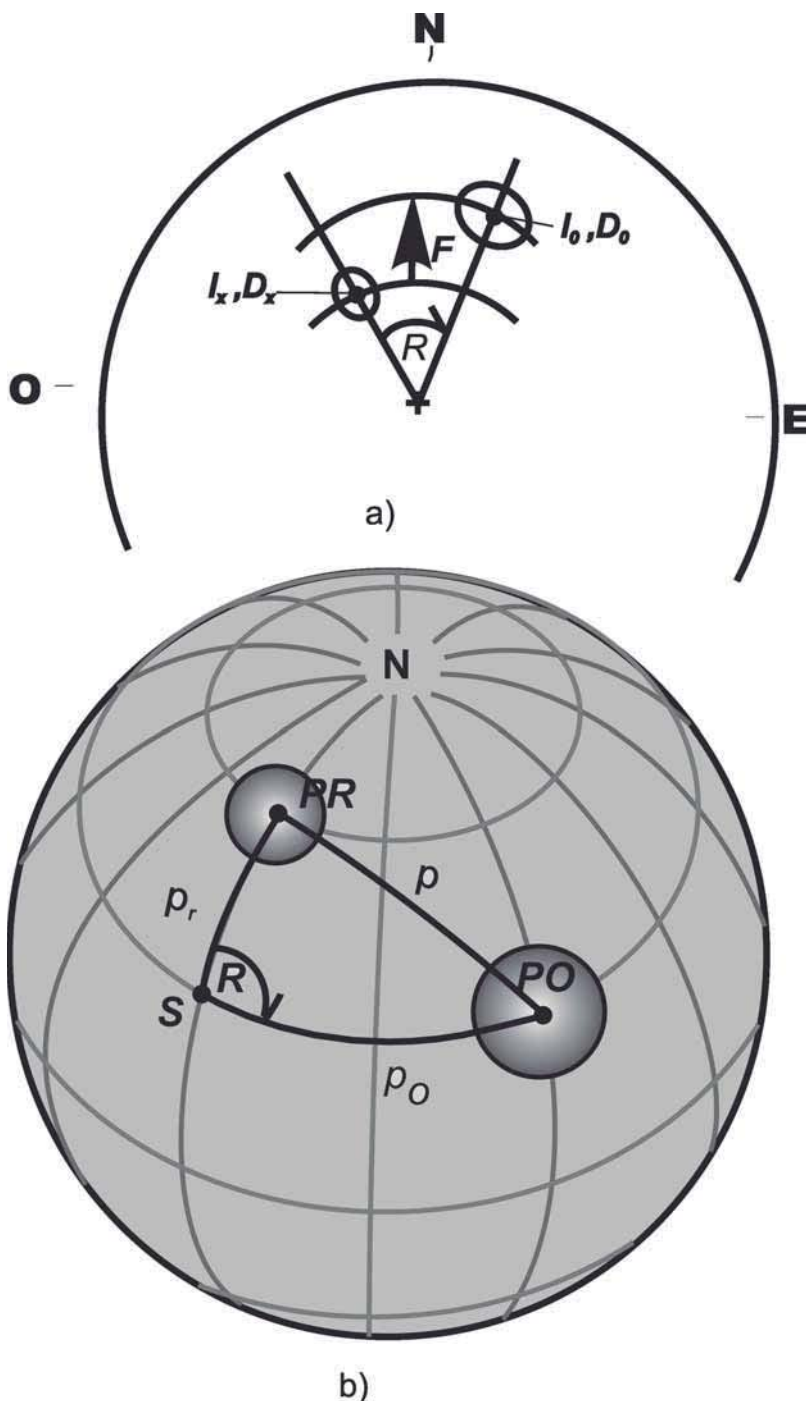


Fig. 1.- Análisis de la discordancia paleomagnética. a) Proyección equiareal entre la dirección paleomagnética observada que tiene una inclinación  $I_o$  y una declinación  $D_o$  y la esperada ( $I_x$ ,  $D_x$ ). La inclinación está más tendida, con un valor angular  $F = I_o - I_x$ . La declinación ha sufrido una rotación en sentido horario (positivo), que es el ángulo  $R$ . b) Ángulo entre el polo observado  $PO$  y el de referencia  $PR$ , en el triángulo  $S-PO-PR$ . La distancia  $p_r$  = distancia medida sobre el círculo máximo entre  $S$  y  $PR$ ;  $p_o$  = es la distancia medida entre  $S$  y  $PO$ . El transporte polar es  $p = p_o - p_r$ . La rotación sobre el eje vertical  $S$ , es el ángulo  $R$  medido sobre la esfera, (tomado de Butler, 1992).

Fig. 1.- Analysis of paleomagnetic discordance. a) Equal-area projection of an observed discordant paleomagnetic direction with inclination  $I_o$  and declination  $D_o$  compared to an expected ( $I_x$  y  $D_x$ ), the observed direction by the flattening angle  $F$  from the expected declination by the rotation angle  $R$ . b) Relation of observed pole  $PO$  and reference paleomagnetic poles  $PR$ . The discordant paleomagnetic was determined from paleomagnetic analysis of rocks at the collection location labelled  $S$ ,  $PR$  is the referent paleomagnetic pole; the spherical triangle with apices at  $S$ ,  $PO$ , and  $PR$  is shown by the heavy lines;  $p_r$  = great-circle distance from  $S$  to  $PR$ ,  $p_o$  = great-circle distance from  $S$  to  $PO$ ; poleward transport  $p = p_o - p_r$ , vertical-axis rotation,  $R$  = angle of spherical triangle at  $S$ . (In Butler, 1992).

respecto al polo de referencia, y su deriva polar  $P$ , será:  $P = p_o - p_r$ . Tomándose en sentido positivo, si el bloque se mueve hacia el polo de referencia.

### Resultados obtenidos

Los datos paleomagnéticos proceden de 365 muestras volcánicas recogidas en 51 estaciones (Tabla I). En ella se indica, el nombre del volcán, la estación de muestreo (se toma la nomenclatura de Ancochea, 1983),  $N$  = número de muestras,  $DEC$  = declinación,  $INC$  = Inclinación,  $K$  = parámetros de precisión y  $a_{95}$  es el ángulo del cono de confianza.

Para el cálculo de la dirección media de la zona se han tomado las 23 estaciones más significativas, que se destacan en negrita en la tabla I. El resto de estaciones tienen resultados más dispersos y cuyas declinaciones muestran signos de haber sufrido rotaciones.

De estas estaciones 11 tienen polaridad normal y su dirección media es:  $I = 52^\circ$ ,  $D = 357^\circ$  y  $a_{95} = 6,4^\circ$ . Las 12 restantes son inversas y su media es:  $I = -60,6^\circ$ ,  $D = 173,8^\circ$ ,  $a_{95} = 14,9^\circ$ . Se ha realizado el test de la inversión y la dirección obtenida de todos los datos ha sido de:  $I_o = 54,5^\circ$ ,  $D_o = 357,7^\circ$  y  $a_{95} = 4,5^\circ$ .

Se toma a continuación un punto de referencia centrado en la zona (de latitud  $39^\circ N$  y  $4^\circ O$  de longitud). El Polo Geomagnético Virtual (PGV) así obtenido está definido por la latitud ( $l_o$ ) y la longitud ( $F_o$ ):  $l_o = 83,9^\circ$  y  $F_o = 200^\circ$ , con un  $A_{95} = 5^\circ$ . Con estos datos se puede considerar que con el muestreo realizado se eliminan los efectos de la variación secular.

Para calcular la declinación de estas zona respecto al polo geomagnético del periodo Mioceno-Plioceno, se cuenta con los datos de Besse y Courtillot (1991), Bogalo *et al.* (1994) y Barberá *et al.* (1996). El PGV tiene una  $l_r = 2,9^\circ$  y de  $F_r = 50,6^\circ$  con un  $A_{95} = 2,6^\circ$ .

Con el punto de referencia centrado, resulta que la dirección esperada para el periodo considerado en la zona del Campo de Calatrava es:  $I_x = 83,9^\circ \pm 4,7^\circ$  y  $D_x = 200^\circ \pm 6,9^\circ$ . Si se compara esta dirección con la dirección media observada  $R \pm DR = 357^\circ \pm 9^\circ$ , y con una inclinación  $F \pm DF = 3,3^\circ \pm 6,5$  se demuestra que los datos observados son concordantes, por lo que no se puede justificar una rotación de toda

zona que haya sido lo suficientemente importante para que se pueda medir.

### Conclusiones y discusión de resultados

Con los resultados obtenidos no se puede justificar que haya habido un desplazamiento hacia el polo de referencia, al ser concordante éste con el polo que se ha obtenido (observado), y dado que la distancia  $p$  observada es mínima  $p \pm Dp = 2,18 \pm 8,2$

Por lo tanto, se concluye que no ha existido una rotación generalizada, o al menos en el mismo sentido, que afecte a la zona volcánica del Campo de Calatrava, respecto al resto de la Placa Ibérica durante el Mioceno - Plioceno.

Sin embargo, frente a estos resultados, se pueden hacer las siguientes consideraciones:

1° Las rotaciones de bloques, de haber existido, han podido ser en sentidos opuestos, debido a las múltiples situaciones que pueden surgir en el esquema de disipación de esfuerzos de desgarre.

2° Dado que la evolución geodinámica reciente del Campo de Calatrava está relacionada con los esfuerzos transmitidos desde el Orogénico Bético, es muy probable que estas rotaciones, de haberse producido, hayan sido anteriores a la aparición del volcanismo, que es donde se han medido las polaridades.

Sin embargo se observan que hay algunas estaciones (marcadas en la Tabla I con *letra cursiva y subrayada*) cuyas declinaciones paleomagnéticas sufren importantes giros de la declinación tanto en un sentido como en otro.

El hecho de que sólo algunas estaciones sufran giros, se puede justificar de la siguiente forma:

a) Que estas estaciones se encuentren próximas a las fracturas que han producido los desgarres.

b) Que las declinaciones anómalas coincidan en el periodo de tiempo de una excursión de los polos magnéticos, dada la instantaneidad de las erupciones volcánicas, aunque es un porcentaje alto de estaciones las que presentan estas anomalías.

### Referencias

Ancochea, E. (1983). *Evolución espacial y temporal del volcanismo reciente de España Central*. Tesis Doctoral, Univ.Complutense de Madrid,

VOLCÁN	ESTACIÓN	N	DEC.	INC.	K	$\alpha_{95}$
<i>Higueruelas inf.</i>	HGL1	6	<u>221,4</u>	<u>64,5</u>	15	19,7
<b>Cb°. del Moro</b>	78403	7	6,5	21,1	<b>160,1</b>	<b>4,8</b>
<b>Juan de la Puerta</b>	78404	8	183,8	-64,2	<b>58,7</b>	<b>7,8</b>
<b>Los Corrales</b>	78406	7	188,6	-50,9	<b>61,1</b>	<b>8,4</b>
<b>Peñarroya</b>	78411	12	165,2	-75,8	<b>122,4</b>	<b>3,9</b>
<b>Las Higueras</b>	78431	7	7	68	<b>51</b>	<b>8,5</b>
<i>N-420</i>	CLH	7	<u>126,3</u>	<u>8,2</u>	4	34,6
La Zurriaga	78435a	7	184	11		
<i>La Zurriaga</i>	78435b	7	<u>234</u>	<u>-57</u>	33	11,5
<b>Cerro Moreno</b>	78510	8	<u>56,1</u>	<u>-23</u>	65,4	8,1
<i>Las Herrerías</i>	78510	6	<u>51,0</u>	<u>2,3</u>	1,7	76,7
<b>Mesnera</b>	78528	4	166,6	-52,2	<b>34,3</b>	<b>12,8</b>
<b>Cerro Gurugú</b>	78601	7	181,6	-64,0	<b>42,8</b>	<b>10,1</b>
<b>Casas Canaleja</b>	80902	7	14,6	38,5	<b>25,1</b>	<b>13,3</b>
<i>La Viñuela</i>	80903a	7	<u>91,1</u>	<u>16,9</u>	70,2	8,1
<i>La Viñuela</i>	80903b	7	<u>236,9</u>	<u>35,4</u>	52,2	8,4
Conejera	81004	7	158,5	-14,1	13,4	17,9
<b>Cerro Pelado</b>	81005	7	186,0	-23	<b>74</b>	<b>7,6</b>
<b>Los Frailes</b>	81008	7	340,0	55	<b>168,6</b>	<b>5</b>
<b>Cabeza Parda</b>	81009	7	188,3	-32,7	<b>244,5</b>	<b>3,9</b>
La Encina	81014	6	343,0	36,3	21,7	14,7
<b>Cd°. Del Tesorillo</b>	81018	7	348,9	41,4	<b>104,3</b>	<b>5,9</b>
<i>La Vaqueriza</i>	81021	5	<u>305,6</u>	<u>-15,7</u>	7,3	30,3
<b>Las Mesas</b>	81023	7	2,4	68	<b>561,0</b>	<b>2,6</b>
Cuesta Berrocal	81025	6	325,5	49,6	8,3	24,7
<i>La Coscoja</i>	81103	7	<u>150,4</u>	<u>-52,7</u>	58,9	7,9
<i>Casablanca</i>	CSB	4	<u>239,4</u>	<u>-38,8</u>	56,7	12,3
<b>Cabezuelo</b>	81010	7	5,1	43,5	<b>199,5</b>	<b>5,5</b>
<b>Casa Fourier</b>	81014	7	186,8	-68,7	<b>74,8</b>	<b>7,0</b>
<i>Sacristanía</i>	81115	8	<u>210,4</u>	<u>-63,2</u>	16,9	13,9
<b>Encinar Padrón</b>	81116	5	174,6	-69,2	<b>113,3</b>	<b>4,3</b>
<b>Corral Moreno</b>	81119b	11	193,9	-56,2	<b>157,3</b>	<b>3,7</b>
<i>La Bienvenida</i>	83401	7	<u>65,6</u>	<u>14,3</u>	1,7	69
<i>Casjo. Bienvenida</i>	83501	9	<u>359,0</u>	<u>-7,1</u>	43,9	7,9
Retamar	83502	6	172,4	13,9	19,3	15,6
Asdrubal	83601b	7	15,3	33,4	15,2	16,0
<i>Quintería Ladrón</i>	83603	7	<u>332,5</u>	<u>21,6</u>	5,6	27,9
<b>El Villar</b>	83604a	7	358,3	54,6	<b>101</b>	<b>6,0</b>
<b>El Villar</b>	83604b	9	8,6	61,9	<b>83,4</b>	<b>5,7</b>
<i>Colada Ojailén</i>	83605a	7	<u>259,1</u>	<u>43,4</u>	15,8	14,4
<i>Colada Ojailén</i>	83605b	7	<u>83,0</u>	<u>-11,5</u>	52	9,1
<b>Vva. San Carlos</b>	83606a	3	6,2	75,3	<b>129</b>	<b>10,9</b>
Vva. San Carlos	83606b	9	177,0	-51,1	17,6	13,4
Puerto del Roble	83607	7	346,3	32,1	13,5	17,1
Villalba	836610	7	<u>51,1</u>	<u>36,0</u>	23,4	12,7
<b>Cortijo Alhorín</b>	83617	7	350,8	62,9	<b>30</b>	<b>11,2</b>
<b>Las Yeguas</b>	83701	12	184,8	-59,8	<b>33,2</b>	<b>7,7</b>
<i>La Atalaya</i>	83702a	6	<u>31,0</u>	<u>37,6</u>	18,7	15,9
La Atalaya	83702b	7	180,4	-46,1	16,1	15,5
<b>Casa de los tontos</b>	83703a	7	183,3	-53,9	<b>76,2</b>	<b>7,0</b>
<i>Casa de los tontos</i>	83703b	9	<u>332,2</u>	<u>68,8</u>	10	17,1

Tabla I.- Tabla resumen de los datos paleomagnéticos obtenidos en volcanes (ver texto).

Table I.- Summary table of the paleomagnetics data of volcanoes (see the text).

657 pp.  
Barberá, X., Cabrera, L., Gomis, E. y Parés, J.M. (1996). *Geogaceta*, 20,

1014-1016.  
Beck, M.E. (1976). *American Journal of Science*, 276, 694-712.

- Besse, J. y Courtillot, V. (1991). *Journal of Geophysical Research*, 96 (B3), 4029-4050.
- Bogalo, M.F., Osete, M.L., Ancochea, E. y Villalaín, J.J. (1994). *Geogaceta*, 15, 109-113.
- Butler, R.F. (1992). *Paleomagnetism*. Blackwell Scientifics Publications, 319 pp.
- Capote, R., Vicente, G. de y González Casado, J.M. (1990). *Geogaceta* 7, 20-21.
- Gallardo Millán, J.L. (2005): *Evolución geodinámica de las cuencas neógenas del Campo de Calatrava y su relación con el volcanismo reciente*. Tesis Doctoral, Univ. Complutense de Madrid, 334 pp.
- Garfunkel, Z. y Ron, H. (1985). *Journal of Geophysical Research*, 90, 8589-8602.
- McKenzie, D. y Jackson, J. (1983). *Earth Planetary Science Letter*, 65, 182-202.
- Nur, A., Ron, H. y Scotti, O. (1986). *Geology*, 14, 746-749.
- Osete, M. L. (1992). *Física de la Tierra. Paleomagnetismo y Tectónica de las Cordilleras Béticas*. (M.L. Osete y M. Calvo. Eds.) nº4, 151-163.
- Vicente, G. de, González Casado, J.M., Bergamín, J.F., Tejero, R., Babín, R., Rivas, A. y Enrile, J.L. (1992). En: *III Congreso Geológico de España*, Comunicaciones, 1, 284-288.
- Vegas, R. y Banda, E. (1982). *Earth Evolution Sciences*, 4, 320-343.
- Vegas, R., Suriñach, E y Marcos, A. (1990). *Tectonophysics*, 184, 367-378.