

EFFECTOS DE PLEGAMIENTO Y DEFORMACION INTERNA EN EL REGISTRO PALEOMAGNETICO DE SECUENCIAS CARBONATADAS

Z. JURADO CHICHAY*
J. URRUTIA-FUCUGAUCHI*
D. J. MORAN ZENTENO*
(Recibido: 29 de enero, 1988)
(Aceptado: 3 de junio, 1988)

RESUMEN

En este trabajo reportamos el análisis y discusión de los efectos de plegamiento y deformación interna en el registro paleomagnético de una secuencia carbonatada de la parte sur de México. El muestreo se realizó en forma estratigráfica en estructuras anticlinales y sinclinales. Las estructuras son de diversas amplitudes, que van desde unos cuantos centímetros hasta cientos de metros. También se muestrearon dos unidades de brecha. La mayor parte de las biomicritas presentan dolomitización de parcial a completa y bajas intensidades de magnetización remanente. Los resultados de las pruebas de desmagnetización por temperaturas y campos magnéticos alternos indican que la magnetización remanente natural está constituida principalmente por una sola componente (univectorial). Las pruebas del conglomerado son positivas, lo que sugiere que las unidades situadas debajo de las de brecha no fueron severamente remagnetizadas después del tiempo de formación de las brechas. Las pruebas de plegamiento sugieren que los registros paleomagnéticos de la secuencia carbonatada fueron afectados durante o por el plegamiento. Las direcciones de magnetización de los flancos de cada estructura se cruzan al efectuar la rotación para restaurar la paleohorizontal. Las magnetizaciones de los flancos occidentales de los anticlinales y de los flancos orientales de los sinclinales muestran direcciones dispersas y con una media cercana a la dirección esperada del campo paleomagnético para el Cretácico en la región. Las direcciones de las estructuras de pequeña amplitud muestran un patrón más complejo, lo que sugiere que los efectos de deformación interna o de remagnetización fueron más severos. Estos resultados pueden ser explicados en términos del modelo de rotación de marcadores lineales pasivos y sugieren que el plegamiento fue por flexión con deformación interna.

* *Laboratorio de Paleomagnetismo y Geofísica Nuclear, Instituto de Geofísica, UNAM, Del. Coyoacán 04510, D.F., MEXICO.*

ABSTRACT

We report an analysis and discussion of the effects of folding and internal deformation on the paleomagnetic record of a Mid-Cretaceous carbonate formation from southern Mexico. Sampling was carried out in stratigraphic order and cover folded structures of varying amplitudes from a few centimeters to hundreds of meters, and two interbedded breccia units. The most abundant biomicrite limestones often show effects of partial to complete dolomitization and have low intensities of NRM. Thermal and alternating field demagnetization show that NRM is mainly univectorial, with only small secondary components. The two conglomerate tests are positive, suggesting that no severe remagnetization affected the carbonate sequence after deposition of the breccia units. The several fold tests suggest on the other hand that for the larger folds the remanence was affected during folding. Directions cross each other during partial simple unfolding. Remanences from the western flanks of the anticlines and from the eastern flanks of the synclines consistently show larger angular dispersions and a mean direction close to the expected Mid-Cretaceous direction for the area. Remanences from the flanks of the smaller anticlines and synclines show a more complex behaviour suggesting a more complete remagnetization or stronger strain effects. We interpret the results in terms of the passive markers rotation model and suggest that the asymmetric strain effects are the product of flexural folding with internal deformation.

INTRODUCCION

Los estudios paleomagnéticos y estructurales de secuencias sedimentarias en cinturones orogénicos son de gran interés para la documentación y comprensión de los procesos de plegamiento, fallamiento y metamorfismo y de sus relaciones con la evolución tectónica y paleogeográfica. Inicialmente, la mayoría de los estudios paleomagnéticos se realizaron en secuencias sedimentarias con ligera o ninguna deformación, en las cuales los registros paleomagnéticos permiten documentar sus relaciones paleogeográficas y de aquí la evolución geodinámica de las regiones en que éstas se encuentran. El éxito alcanzado en estos estudios paleomagnéticos se ha reflejado en la documentación cada vez más detallada de las reconstrucciones paleogeográficas y tectónicas y en el desarrollo de las teorías de Deriva Continental, Esparcimiento de los Fondos Oceánicos y Tectónica de Placas (Irving, 1964; McElhinny, 1973; Valencio, 1977). Recientemente los estudios en secuencias deformadas y metamorfizadas se han intensificado debido al interés creciente por entender los procesos orogénicos y la evolución de las márgenes continentales, zonas de acreción, terrenos estratotectónicos, etcétera. El registro paleomagnético y estructural en estas regiones es más complejo y su documentación e interpretación presenta, consecuentemente, mayores dificultades.

En este trabajo presentamos un análisis y discusión de las relaciones entre el registro paleomagnético y el evento o eventos de deformación para una secuencia carbonatada del sur de México. La secuencia carbonatada forma parte de la Formación Teposcolula y ha sido recientemente estudiada por Jurado (1988), quien ha reportado datos paleomagnéticos, estructurales, estratigráficos y tectónicos.

FORMACION TEPOSCOLULA

La secuencia carbonatada de la Formación Teposcolula expuesta en el área de San Pedro y San Pablo Teposcolula, Estado de Oaxaca (figura 1) presenta varias características de interés potencial para investigar los efectos de deformación en el registro paleomagnético. Dicha secuencia se encuentra plegada formando anticlinales y sinclinales de diversas amplitudes (figura 2). Las estructuras anticlinales y sinclinales presentan una orientación dominante norte-noroeste en la porción norte y una tendencia de S invertida en la porción sur (figura 2). Para el estudio paleomagnético se muestrearon varios perfiles que incluyen diversas estructuras (figura 2). Detalles del muestreo, análisis fotogeológico y reconocimiento de campo se incluyen en Jurado (1988).

Observaciones petrográficas en láminas delgadas de la mayoría de los núcleos colectados (aproximadamente 160 láminas) permitieron identificar las variedades litológicas descritas por Ferrusquía (1977); sin embargo, se encontró que la mayoría de las muestras presentaron dolomitización de parcial a completa.

El rango estratigráfico de la secuencia carbonatada es del Albiano al Coniaciano (Ferrusquía, 1977).

Las pruebas de desmagnetización por temperaturas y campos magnéticos alternos decrecientes aplicadas a las muestras indican que la magnetización remanente natural (MRN) está formada por una componente dominante de alta estabilidad magnética y otra de menor magnitud y de baja coercitividad o bajo rango de temperatura de bloqueo. La componente mayor se interpreta como la magnetización característica de la unidad carbonatada. Los minerales portadores de la magnetización pertenecen a la serie de titanomagnetitas; sin embargo, también se tienen otros minerales de mayor rango de coercitividad y que podrían pertenecer a la serie de las titanohematitas o bien a los hidróxidos de hierro (principalmente goetita). Mediciones de adquisición de una magnetización remanente isothermal (MRI) apoyan estas observaciones y permiten distinguir muestras en las que coexisten varios minerales magnéticos portadores de los registros. Las magnetizaciones remanentes características para las diversas estructuras y las dos unidades de brecha presentaron las siguientes distribuciones de dirección:

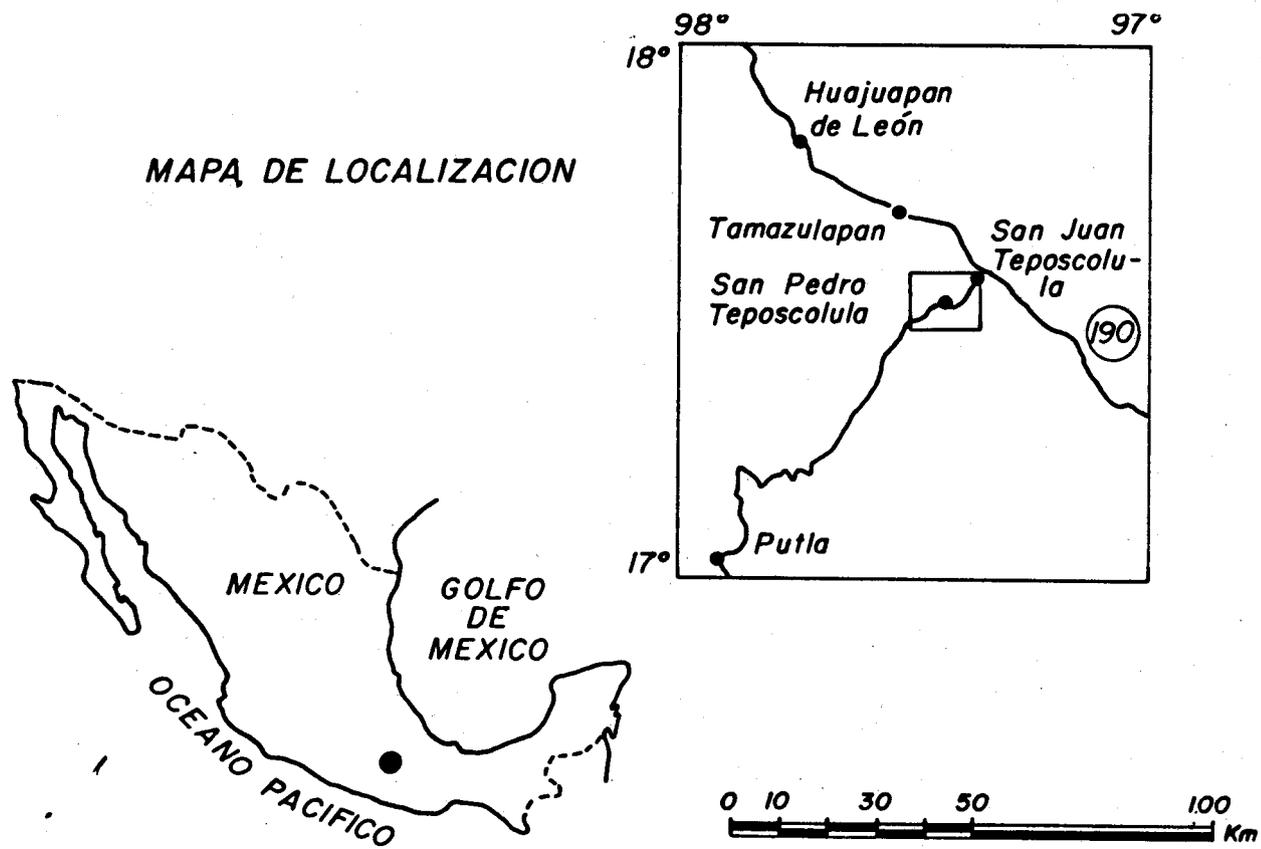
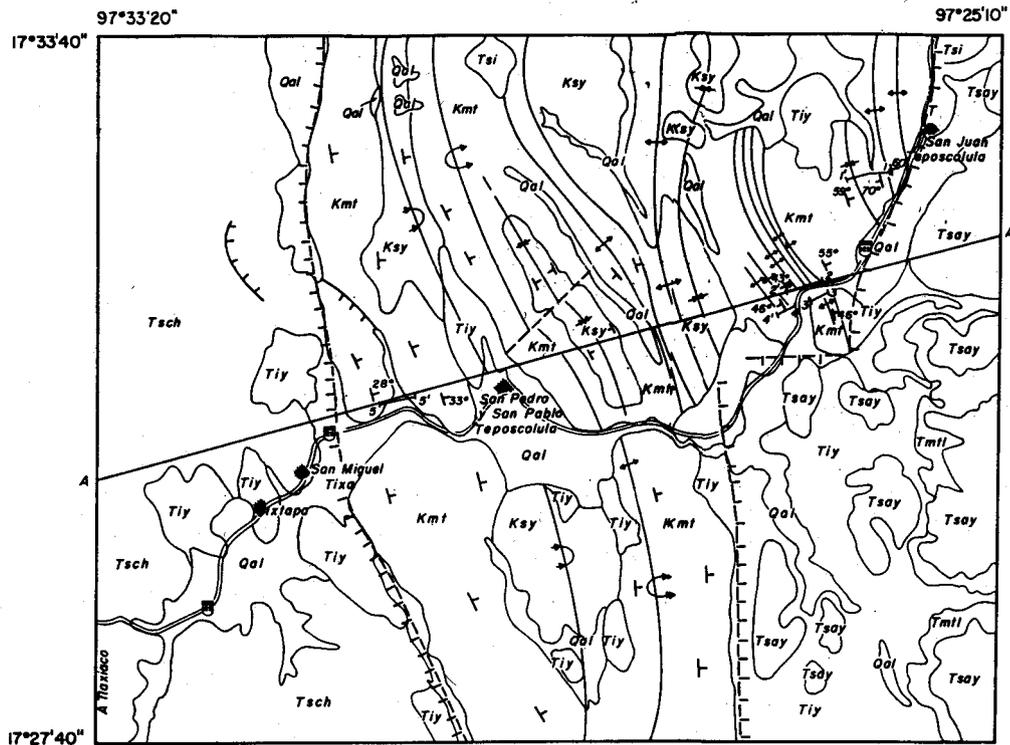


Fig. 1. Mapa de localización.



LEYENDA

Cuaternario	[Qal]	Aluvión
	[Tiy]	Andesita Yucudaa
Terciario	[Tiy]	Formación Chilapa
	[Tsch]	Discordancia
	[Tml]	Taba Llano de Lobos
	[Tiy]	Formación Yanhuiltán
Cretácico	[Tsch]	Discordancia
	[Tic]	Conglomerado Tamazulapan
	[Tic]	Discordancia
Cretácico	[Ksy]	Formación Yucunama
	[Kmt]	Caliza Teposcolula

SIMBOLOS GEOLOGICOS

- Contacto.
- |— Falla inferida (la patita indica el bloque caído).
- - - Fractura o falla.
- T Rumbo e inclinación interpretada por fotografías aéreas.
- 33° Rumbo e inclinación medidos en el campo.
- ↔ Anticinal
- ↪ Anticinal recostado (el segmento semicircular de la flecha indica el lado recostado).
- ⊕ Sinclinal.
- ⊕ Sinclinal recostado.

MUESTREO PALEOMAGNETICO

Z. Jurado Chichay et al.

Fig. 2. Mapa geológico del área de Teposcolula, Oaxaca (basado en fotografías aéreas, observaciones de campo y la cartografía geológica de Ferrusquía, 1976).

- Las dos unidades de brecha tienen direcciones dispersas, por lo que la prueba es positiva, indicando que estas unidades no han sufrido efectos significativos de remagnetización.
- Las direcciones de los flancos E de los anticlinales y de los equivalentes flancos W de los sinclinales están en el cuarto cuadrante en coordenadas actuales y en el primer cuadrante en coordenadas de paleohorizontal.
- Las direcciones de los flancos W de los anticlinales y de los equivalentes flancos E de los sinclinales en coordenadas de campo están en el primero y cuarto cuadrantes, mientras que en las coordenadas de paleohorizontal se sitúan en el cuarto cuadrante.
- La dispersión de las direcciones es mayor para los flancos W de los anticlinales y los flancos E de los sinclinales.
- Estas observaciones también se aplican para el flanco E del microsinclinal y el flanco E del microanticlinal. Los otros dos flancos de estas estructuras presentan una alta dispersión de direcciones que no permite estimar su distribución y orientación angular.
- En resumen, la tendencia de las magnetizaciones para las diversas estructuras es la de mostrar un cruce de sus direcciones para los flancos al efectuar las rotaciones entre los sistemas de coordenadas.

PLEGAMIENTO Y ADQUISICION DE MAGNETIZACION

En el caso de secuencias sedimentarias afectadas por procesos de deformación, el registro paleomagnético presenta frecuentemente efectos parciales o totales de fenómenos diversos ocurridos antes, durante o después de dicha deformación, por lo que las edades de los registros paleomagnéticos de una unidad sedimentaria o partes de la misma pueden asignarse a un tiempo:

- 1) Anterior al plegamiento
 - a) Durante o poco tiempo después del depósito
 - b) Entre la litificación y el plegamiento
- 2) Durante el plegamiento
- 3) Después del plegamiento.

Si el registro paleomagnético fuera primario, es decir, adquirido durante o poco tiempo después del depósito, las direcciones de magnetización en coordenadas de campo estarían dispersas por efecto de los cambios de orientación debidos al plegamiento y se agruparían alrededor de la dirección del campo magnético para el tiempo del depósito al referir las magnetizaciones a coordenadas de paleohorizontal (figura 3). Para el presente estudio de la Formación Teposcolula, la dirección esperada sería la del Cretácico (Albiano-Conaciano) y las polaridades predominantemente normales

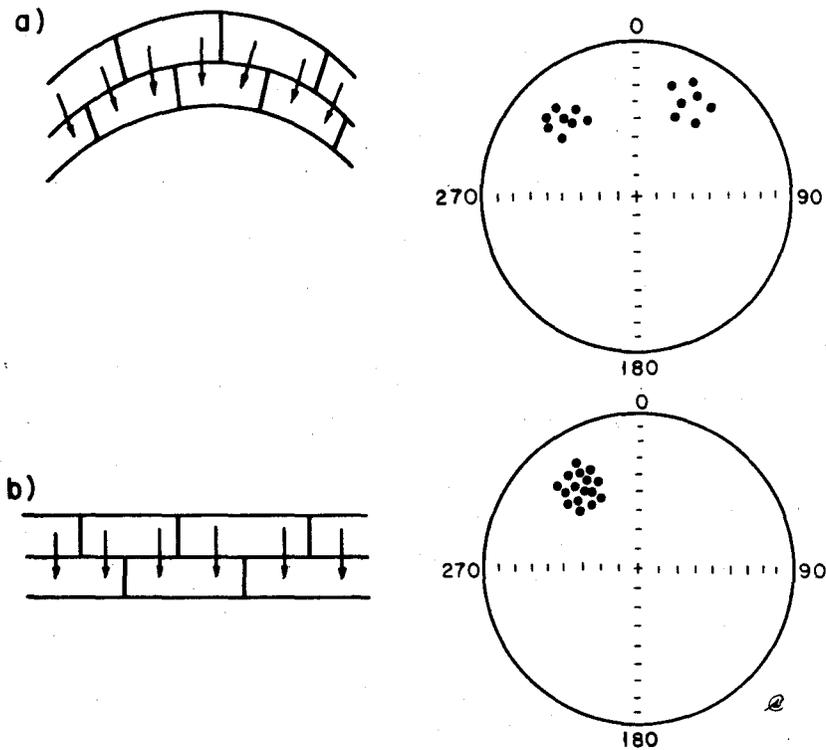


Fig. 3. Prueba positiva del pliegue.

(a) Los vectores de magnetización en el estrato plegado, en coordenadas de campo apuntan hacia varias direcciones por lo que sus declinaciones e inclinaciones en el estereograma aparecen dispersas, al hacerles la corrección estructural regresando el estrato a la paleohorizontal. (b) Los vectores de magnetización apuntan hacia una sola dirección, por lo que sus declinaciones e inclinaciones en el estereograma aparecen agrupadas. En este caso se dice que la prueba es positiva, ya que porta una magnetización remanente primaria.

y correspondientes al Intervalo de Polaridad Geomagnética Normal del Cretácico. Si el registro se adquirió antes del plegamiento pero después de la litificación, entonces las polaridades podrían ser normales, reversas o mixtas y las direcciones esperadas corresponderían al Cretácico tardío. En el caso de la Formación Teposcolula el intervalo sería relativamente corto y difícil de estimar, ya que los tiempos de litificación y particularmente de la deformación (orogenia Laramide) no se han documentado. Los datos paleomagnéticos podrían aportar esta información, pero desafortunadamente el movimiento polar aparente para el Cretácico de Norte América es de pequeña magnitud y no permite la resolución requerida para explicar los diferentes eventos.

Si el registro paleomagnético se adquirió o se modificó durante el plegamiento, entonces las direcciones de magnetización correspondientes a muestras de uno y otro flanco de las estructuras serán diferentes tanto en coordenadas de campo como en paleohorizontal y tenderán a agruparse en una dirección intermedia entre las direcciones obtenidas antes y después de la corrección estructural (figura 4). Los efectos del plegamiento se analizan con más detalle en los párrafos siguientes.

Si el registro paleomagnético se adquirió posteriormente al plegamiento, entonces las direcciones de magnetización de los flancos de las estructuras estarían agrupadas en coordenadas de campo alrededor de la dirección correspondiente del Terciario al Cuaternario de acuerdo con el tiempo de adquisición y se dispersarían al referirse a coordenadas de paleohorizontal (figura 5).

Los tipos de transformación que pueden ocurrir asociados al plegamiento son muy variados. Para efectos del estudio del registro paleomagnético, estas transformaciones pueden incluir:

- a) rotaciones de los estratos como cuerpos rígidos.
- b) deformación de las partículas dentro de los estratos que experimentan deformación interna.
- c) cambios térmicos, químicos y mineralógicos o combinaciones varias en los constituyentes portadores del registro paleomagnético que ocurran durante el proceso de deformación.

El primer grupo de transformaciones es el que ha sido tratado con mayor detalle particularmente en el caso de pliegues concéntricos con eje horizontal, cuya correc-

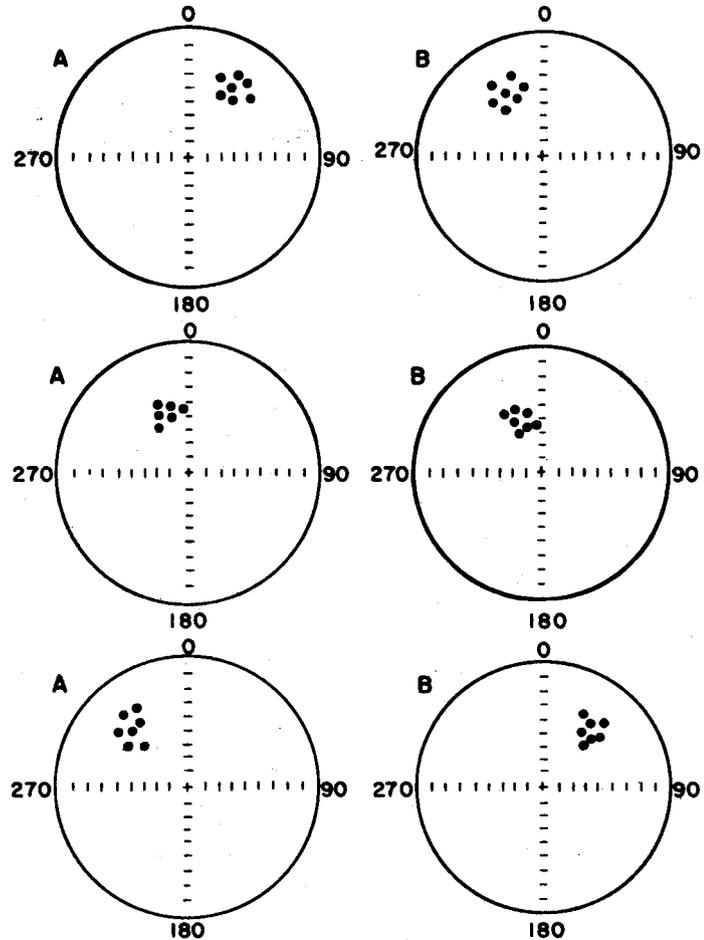
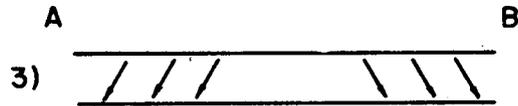
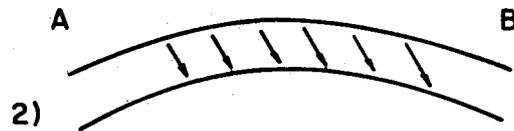
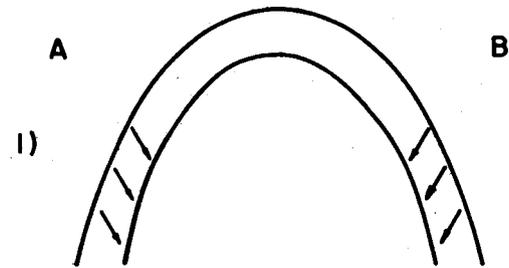


Fig. 4. Magnetización adquirida durante el plegamiento. Las direcciones de 1) y 3) al referirlas a la paleohorizontal, se cruzan de un cuadrante a otro. Las direcciones concuerdan en 2) momento en el cual adquirieron su magnetización.

ción requiere de rotación del echado con respecto al rumbo de la estructura (Graham, 1949). Otros casos han sido examinados en algunos estudios, por ejemplo, el caso de rotaciones aparentes relacionadas con pliegues buzantes y fallamiento (MacDonald, 1980) y efectos de varias fases oblicuas de plegamiento (Bonhommet *et al.*, 1981).

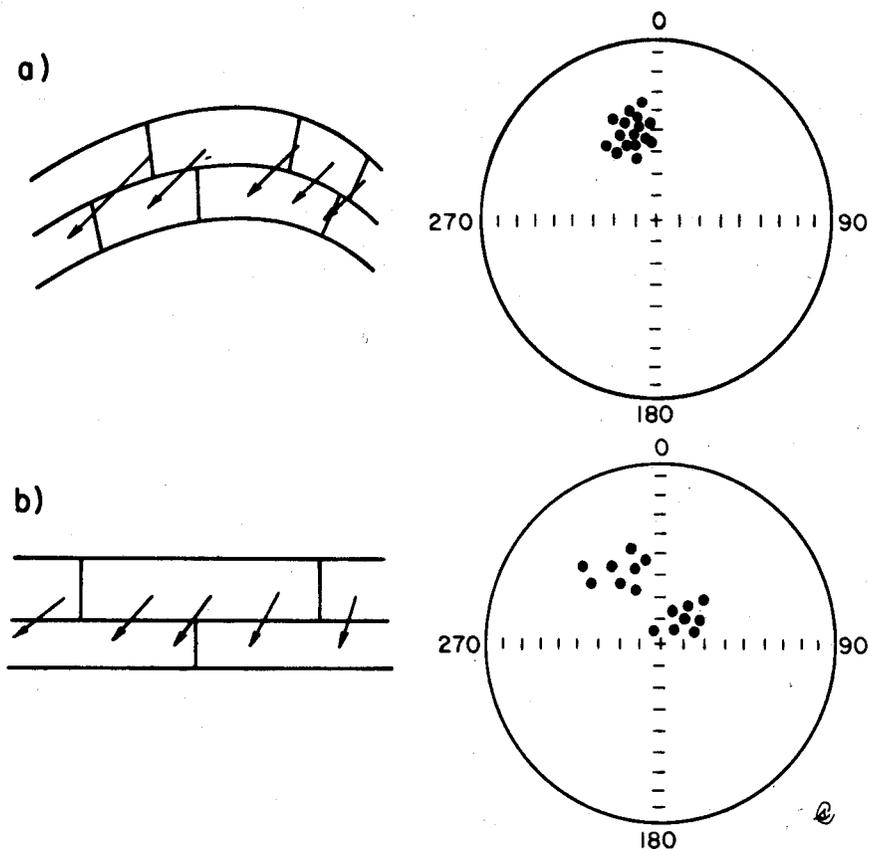


Fig. 5. Prueba negativa del pliegue.

(a) Los vectores de magnetización en el estrato plegado en coordenadas de campo apuntan hacia una sola dirección, por lo que sus declinaciones e inclinaciones en el estereograma aparecen agrupadas, al hacerles la corrección estructural regresando el estrato a la paleohorizontal. (b) Los vectores de magnetización apuntan hacia varias direcciones, por lo que sus declinaciones e inclinaciones en el estereograma aparecen dispersas. En este caso se dice que la prueba es negativa, ya que porta una magnetización remanente natural secundaria.

En el caso de deformación intensa, las relaciones angulares entre el vector de magnetización y el plano de estratificación se alteran (Graham, 1949; Tarling, 1971; Facer, 1983), por lo que una rotación simple para restaurar la horizontal de los estratos no es suficiente para corregir los efectos de deformación. Ejemplos de estos efectos han sido reportados en algunos estudios (Van der Ende, 1977; Lowrie y Kligfield, 1981; Cogné *et al.*, 1986). Se han propuesto métodos para interpretar y corregir por efectos de deformación interna (Cogné y Perroud, 1985); sin embargo, estas alternativas han sido criticadas (Lowrie *et al.*, 1986; Hirt *et al.*, 1986) y se tienen varios reportes de correcciones aparentemente infructuosas (Lowrie y Kligfield, 1981; Kligfield *et al.*, 1983). En el caso de deformación interna, la corrección simple para restaurar la paleohorizontal produce un efecto de cruce en las direcciones de magnetización de cada flanco del pliegue (figura 6).

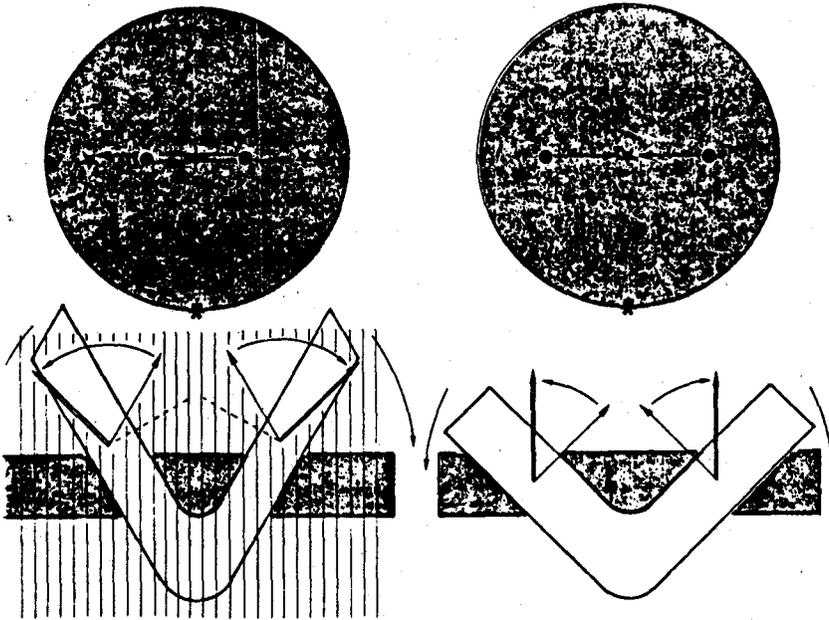


Fig. 6. Representación esquemática de la corrección estructural aplicada a una unidad cuyo registro paleomagnético experimentó efectos de deformación interna durante el plegamiento.

El diagrama de la derecha ilustra el cruce de direcciones al restaurar el estrato plegado a su posición horizontal. En el estereograma los puntos representan las direcciones en coordenadas de campo y las estrellas en paleohorizontal.

El diagrama de la izquierda ilustra el caso en que la deformación ha sido corregida.

Este efecto de cruce de direcciones al aplicar la corrección estructural ha sido interpretado en algunos estudios como resultado de una remagnetización ocurrida durante el plegamiento (McClelland, 1983). Este nuevo registro puede estar asociado a efectos térmicos, químicos o compresionales asociados al proceso orogénico; en cuyo caso el registro paleomagnético adquirido antes del plegamiento ya no puede recobrase. El efecto de cruce de las direcciones (figura 4) es similar al que ocurre debido a la deformación interna (figura 6) cuyo registro anterior al plegamiento podría aparentemente ser aún susceptible de recobrase (Cogné y Perroud, 1987). En el caso de adquisición del registro durante el plegamiento, se tiene la posibilidad de estimar la dirección paleomagnética por medio de una corrección estructural parcial que haga coincidir las direcciones correspondientes de los flancos del pliegue.

El tipo de transformación (rotación rígida, deformación interna y/o remagnetización) ocurrido al registro paleomagnético depende de múltiples factores tales como temperatura, presión, magnitud y características de esfuerzos, duración, presencia de fluidos, propiedades del material, competencia y presencia de fracturas. De aquí que estos estudios sobre la documentación del registro paleomagnético para unidades que incluyan diversas estructuras y características (por ejemplo pliegues de diversas amplitudes y estilos, grados variables de alteraciones como oxidaciones y dolomitización, y la presencia de brechas y fallamiento) es de gran interés.

DISCUSION

El estudio de la Formación Teposcolula en Oaxaca ofrece varios atractivos con un alto potencial para investigar los efectos de deformación en el registro paleomagnético, así como obtener resultados de magnetoestratigrafía y tectónica regional y local. Los sedimentos carbonatados se depositaron durante el Albiano-Conaciano dentro del Intervalo de Polaridad Normal del Cretácico, por lo que la polaridad de sus direcciones de magnetización primaria debería de ser predominantemente normal, con quizá algunas polaridades reversas (en secciones cortas y con consistencia estratigráfica). Si el registro paleomagnético ya no corresponde al primario, entonces las polaridades pueden ser normales, reversas o mixtas. Estudios paleomagnéticos en regiones cercanas de Chilpancingo, Guerrero (Urrutia y Van der Voo, 1982; Treviño, 1986; Urrutia, 1988); Petlalcingo, Puebla (Boehnel, 1985) y Sola de Vega, Oaxaca (Urrutia, 1981) han provisto un marco de referencia para comparar las direcciones paleomagnéticas observadas en la zona de Teposcolula y de aquí estimar los posibles efectos de rotaciones tectónicas regionales. En las áreas estudiadas de Teposcolula

se ha reportado la presencia de un cuerpo de anhidritas y se han documentado los efectos de deformación que incluyen cambios de tendencia en los ejes principales de las estructuras y formación de pliegues de diversas longitudes de onda (con amplitudes de unos centímetros hasta centenares de metros). Inclusive en estudios anteriores se han interpretado pliegues recostados en porciones de la estructura. Además se tienen algunas unidades de brechas y la ocurrencia de dolomitización. Estas y algunas otras características de esta zona y de la Formación Teposcolula convierten al presente estudio, por un lado, en un trabajo laborioso y complicado y por otro en una investigación interesante e importante desde diversos aspectos, paleomagnéticos, estructurales, tectónicos y sedimentológicos.

Como parte de este estudio se muestrearon pliegues anticlinales y sinclinales con amplitudes de unos centímetros hasta decenas de metros, así como algunas unidades de brechas (figura 2). Los resultados se han descrito y discutido en Jurado (1988) y en Jurado *et al.* (1988), por lo que en esta discusión el énfasis se da en el patrón general de los mismos y en su interpretación.

Los resultados de las mediciones de desmagnetización térmica y de campos alternos muestran que las magnetizaciones remanentes son generalmente estables y constituidas por una o dos componentes que pueden ser identificadas y determinadas. Una de las componentes es, en la mayoría de las muestras, de baja coercitividad o baja temperatura de bloqueo y constituye una pequeña parte de la magnetización natural. La otra componente, que constituye la mayor parte del registro, muestra coercitividad y temperatura de bloqueo mayor, por lo que se considera como la magnetización característica de la Formación Teposcolula. Estas magnetizaciones son de polaridad normal excepto para una parte de la sección 1 - 1 entre las muestras 44 y 73 (Jurado *et al.*, 1988).

Analizadas en conjunto las direcciones de magnetización, ya sea en coordenadas de campo o de paleohorizontal, para las diferentes estructuras (anticlinales y sinclinales) no corresponden al patrón esperado de un registro paleomagnético primario del Cretácico (Albiano-Conaciano) o a un registro paleomagnético secundario del Terciario-Cuaternario. Es decir, en el primer caso no se tienen direcciones dispersas en coordenadas de campo y agrupadas alrededor de la dirección media Cretácica en coordenadas de paleohorizontal y en el segundo caso tampoco se observan direcciones agrupadas en coordenadas de campo y dispersas en coordenadas de paleohorizontal.

En su conjunto el registro paleomagnético sugiere de manera consistente que éste está parcial o totalmente asociado al proceso de deformación. Las direcciones de magnetización para las muestras situadas en los flancos occidentales de los anticlinales y de los equivalentes flancos orientales de los sinclinales, en coordenadas de campo están entre el primero y el cuarto cuadrantes y al referirse a la paleohorizontal tienden a agruparse en el cuarto cuadrante hacia una dirección similar a la esperada del Cretácico (Albiano-Conaciano). Este comportamiento general se observa en las diversas estructuras con amplitudes desde algunos centímetros hasta decenas de metros y en los flancos de los pliegues alejados de su parte central. La dispersión de las direcciones dentro de cada conjunto de muestras es variable, por lo que en algunos casos las direcciones medias correspondientes no están bien definidas. Este registro paleomagnético podría corresponder a un registro del Cretácico (Albiano-Conaciano) parcialmente modificado por efectos del plegamiento (dispersión de las direcciones, etcétera). Esta interpretación es apoyada por:

- a) concordancia de paleo-direcciones con la dirección esperada del Cretácico (Albiano-Conaciano).
- b) comportamiento de direcciones en secciones "alejadas" de las charnelas de los pliegues (por ejemplo las muestras de la 17-73).
- c) comportamiento del grupo de magnetizaciones de polaridad reversa (muestras sección 1-1 de la 44-73).
- d) los resultados positivos de las pruebas de la brecha, que en los dos casos indican la ausencia de remagnetización (figura 7).
- e) la polaridad predominantemente normal de todas las secciones estudiadas.

Por otro lado, las direcciones de magnetización para las estructuras "grandes" de los flancos orientales de los anticlinales y de los flancos occidentales de los sinclinales en coordenadas de campo están en el cuarto cuadrante y al efectuar las correcciones estructurales se desplazan hacia el primer cuadrante en coordenadas de paleohorizontal. Estos resultados podrían interpretarse en términos de un registro reciente.

Los resultados para los pliegues con amplitudes de algunos centímetros presentan un comportamiento distinto, en el que para estos flancos, en particular, los cambios son en las inclinaciones (en el caso de las muestras 95-97 de polaridad reversa pasan a intermedia y las 105-108 quedan en polaridades normales).

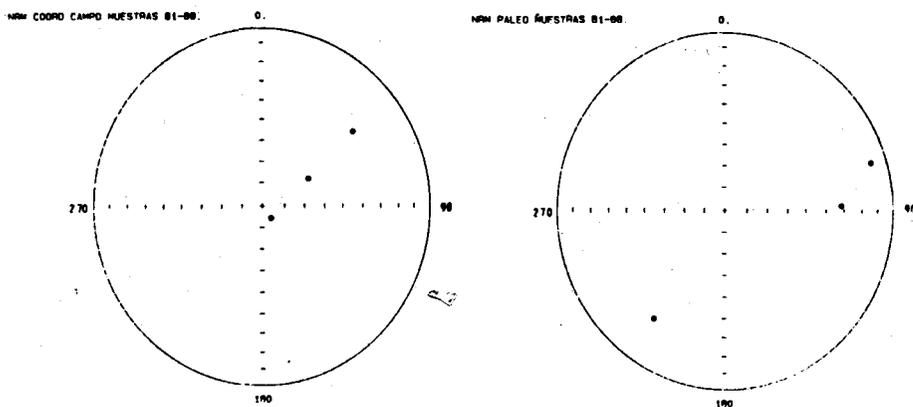
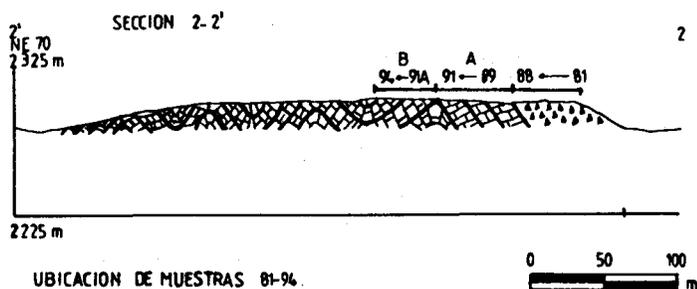


Fig. 7. Magnetización remanente natural, muestras 81-88.

Para los pliegues de gran longitud de onda los resultados en su conjunto muestran una tendencia a cruzar sus direcciones de magnetización, correspondientes a sus flancos, al pasar del sistema de coordenadas de campo al de paleohorizontal (figura 8). Ello sugiere que las magnetizaciones están afectadas por la deformación y de aquí el registro paleomagnético podría corresponder al Cretácico (registro primario) modificado por algún mecanismo de deformación interna, o bien al Cretácico tardío - Terciario temprano (registro del plegamiento) y ser resultado de una remagnetización. Al respecto cabe mencionar que los efectos sobre las direcciones de magnetización de los pliegues son similares (figuras 4 y 6); sin embargo, como ya se había discutido, en un caso es posible recuperar el registro anterior al plegamiento, mientras que en el otro el registro corresponde al tiempo del plegamiento.

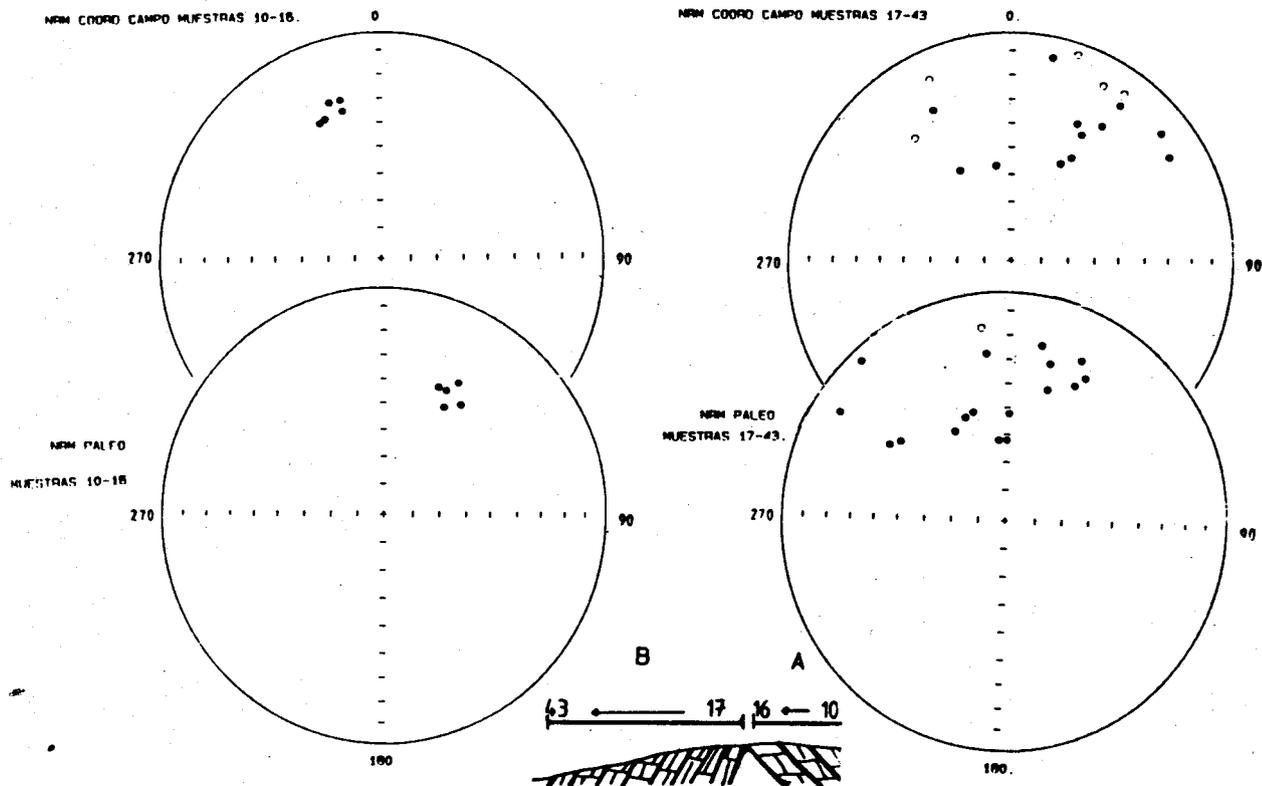


Fig. 8. Magnetización remanente natural, muestras 10-43.

La distinción entre estas dos alternativas de interpretación es difícil ya que tanto los mecanismos de deformación interna como de remagnetización se conocen solo parcialmente. Modelos preliminares por Cogné *et al.*, 1986 para los efectos de deformación interna, en casos particulares de pliegues con direcciones oblicuas respecto al plano de estratificación y en el caso plano (direcciones de magnetización normales al eje del pliegue) indican la posibilidad de recuperar (con mayor dispersión angular) el registro inicial en uno de los flancos de la estructura (figura 9). Este modelado se ha aplicado en una secuencia de lechos rojos de los Alpes Marítimos (Cogné y Perroud, 1985), en que el registro es llevado por hematita, cuyos granos rotan según el modelo de líneas pasivas. Si ello también se cumple en sedimentos carbonatados requiere más estudios. No obstante, cabe mencionar que en apoyo de esta interpretación, de contar con un registro primario para el Cretácico, se tienen varios

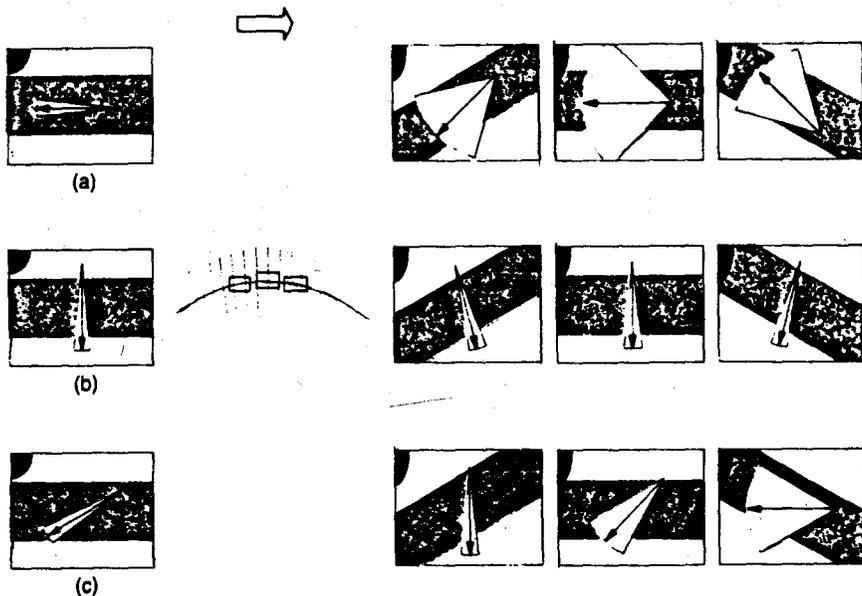


Fig. 9. Diagrama esquemático de las distribuciones de vectores paleomagnéticos en unidades plegadas con deformación interna. Observe las diferentes relaciones angulares entre los vectores paleomagnéticos y los planos de estratificación.

- a) dispersión angular alta dentro de cada flanco y dispersión pequeña para el estrato.
- b) poca dispersión dentro de cada flanco y para toda la estructura.
- c) dispersión variable dependiendo del flanco considerado y alta dispersión dentro de toda la estructura.

argumentos (ya mencionados antes en esta discusión), particularmente en los resultados positivos de la brecha, la polaridad predominantemente normal, la presencia de las direcciones reversas en una sección, la coherencia de los resultados en un marco geométrico (lo que sugiere una dependencia del arreglo vectorial de las magnetizaciones, ejes de la estructura y direcciones de esfuerzos), el patrón regular de los pliegues “pequeños” cuya deformación interna es mayor, muestran en los flancos correspondientes (cuyas magnetizaciones estarán deflectadas) unas direcciones anómalas que divergen de las de los pliegues “grandes” y la concordancia de las direcciones de magnetización (con la correspondiente dispersión) observadas en coordenadas de paleohorizontal con las direcciones esperadas para el Cretácico (Albiano-Conaciano) de la región. Cabe mencionar que una observación a favor del modelo de rotación de líneas pasivas (figura 9) es la referente a las dispersiones en los flancos de los pliegues. En los flancos cuyas direcciones, en coordenadas de paleohorizontal, se acercan a las esperadas para el Cretácico (Albiano-Conaciano), la dispersión es mayor (figura 8). Siguiendo con estos argumentos, la distribución asimétrica de las direcciones en los flancos de los pliegues indica que el tipo de pliegue se asemeja al de plegamiento por flexión con deformación interna (Facer, 1983) (figura 10). De ser esta interpre-

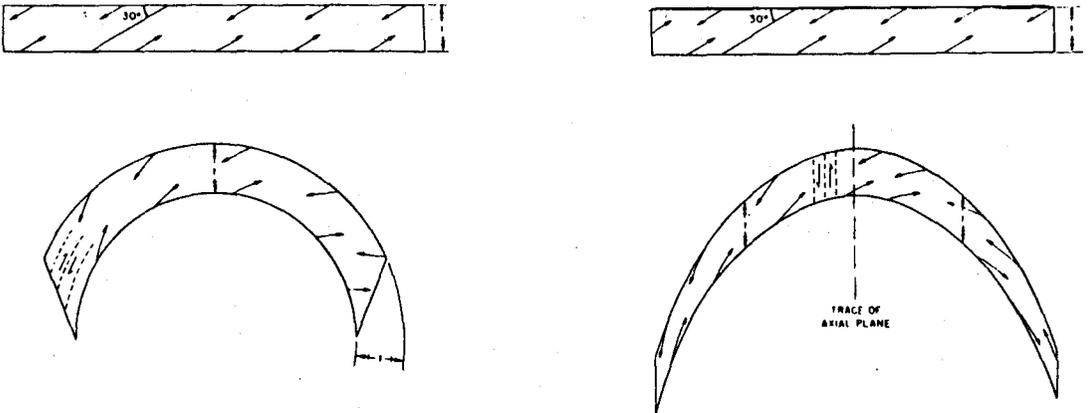


Fig. 10. Representación esquemática de los efectos de plegamiento en los vectores paleomagnéticos (las flechas indican polaridades normales y reversas).

El diagrama de la izquierda representa el caso de un pliegue paralelo en el que el espesor del estrato permanece constante y el movimiento interno es en planos paralelos a los planos de estratificación. Observe que las distribuciones paleomagnéticas difieren, dependiendo del flanco considerado.

El diagrama de la derecha representa el caso de un pliegue similar en el que el espesor de los estratos se adelgaza y el movimiento interno es a lo largo de planos verticales. Observe que el efecto en los vectores paleomagnéticos muestra una distribución más simétrica respecto del plano axial.

tación correcta, entonces los resultados paleomagnéticos presentados para la Formación Teposcolula documentan un caso en el que el registro paleomagnético es afectado por deformación interna y el cual es factible de recuperarse.

La dirección media estimada para la Formación Teposcolula en el área estudiada de San Pedro y San Pablo Teposcolula, Oaxaca, es similar a la dirección esperada calculada a partir del segmento Albiano-Conaciano de la curva del desplazamiento polar aparente de Norteamérica (Jurado *et al.*, 1988). La similitud en direcciones sugiere que la zona no ha experimentado movimientos significativos con respecto a la porción norte del país y al craton norteamericano desde el tiempo de deposición de la secuencia carbonatada. La similitud del registro paleomagnético para la Formación Teposcolula con los registros reportados de otras secuencias carbonatadas de la Formación Morelos (Albiano-Cenomaniano) de las regiones de Chilpancingo, Guerrero y de Petlalcingo, Puebla apoya la interpretación de una aparente estabilidad tectónica de los terrenos Oaxaca y Mixteco.

La documentación de intervalos de polaridad reversa en las secuencias de Teposcolula y Morelos indican la ocurrencia de, al menos, un evento de polaridad dentro del Intervalo de Polaridad Normal del Cretácico.

BIBLIOGRAFIA

- BOEHNEL, H., 1985. Paläomagnetische Untersuchungen an Jurassischen bis Quartären Gesteinen aus Zentral-und Sudmexiko. Inaugural-Dissertation zur Erlangung des Doctorgrades. Universität Münster, 235 pp.
- BONHOMMET, H., COBBOLD, H. PERROUD y H. RICHARDSON, 1981. Paleomagnetism and cross-folding in a key area of the Asturian arc (Spain). *J. Geophys. Res.*, 86.
- COGNE, J. P. y H. PERROUD, 1985. Strain removal applied to paleomagnetic direction in an orogenic belt: The Permian red slates of the Alpes Maritimes, France. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 72.
- COGNE, J. P., H. PERROUD, M. P. TEXIER y N. BONHOMMET, 1986. Strain reorientation of hematite and its bearing upon remanent magnetization. *Tectonics*, 5, 753.
- COGNE, J. P. y H. PERROUD, 1987. Unstraining paleomagnetic vectors: The current state of debate. *EOS Trans. AGU*, 34, 25.

- FACER, R. A., 1983. Folding, strain and Graham and Fold test in palaeomagnetic Investigations. *Geophys. J. R. Astr. Soc.*, 72, 1, 165-171.
- FERRUSQUIA, V. I., 1976. Estudios geológico-paleontológicos en la región Mixteca, Pt. 1: Geología del área de Tamazulapan-Teposcolula-Yanhuitlan, Mixteca alta, estado de Oaxaca, México. *Bol. Inst. Geol., UNAM*, 97, 1-160.
- GRAHAM, J. W., 1949. The stability and significance of magnetism in sedimentary rocks. *J. Geophys. Res.*, 54, 131-167.
- HIRT, A. M., W. LOWRIE y O. A. PFIFFNER, 1986. A paleomagnetic study of tectonically deformed red beds of the Lower Glarus Nappe Complex, Eastern Switzerland. *Tectonics*, 5, 723.
- JURADO, Z., 1988. Paleomagnetismo del Sistema Cretácico, región de Teposcolula, Oaxaca, México. Universidad Autónoma de Baja California Sur, tesis de licenciatura, 147 pp.
- JURADO, Z., J. URRUTIA y D. J. MORAN, 1988. Estudio paleomagnético de la Formación Teposcolula. *Geofís. Int.* (en prensa).
- KLIGFIELD, R., W. LOWRIE, A. M. HIRT y SIDDANS, 1983. Effect of progressive deformation on remanent magnetization of Permian redbeds from the Alpes Maritimes (France). *Tectonophysics*, 97, 59.
- LOWRIE, W. y R. KLIGFIELD, 1981. Effects of progressive deformation of the remanent magnetization of redbeds (abstract). *EOS Trans. AGU*, 62, 273.
- LOWRIE, W., A. M. HIRT y R. KLIGFIELD, 1986. Effects of tectonic deformation on the remanent magnetization of rocks. *Tectonics*, 5, 713.
- McCELLAND, B. E., 1983. Paleomagnetic studies of fold development and propagation in the Pembrokeshire Old Red sandstone. *Tectonophysics*, 98, 131-149.
- McDONALD, W. D., 1980. Net tectonic rotation, apparent tectonic rotation, and the structural tilt correction in paleomagnetic studies. *J. Geophys. Res.*, 85, 3659.
- McELHINNY, M. W., 1973. Palaeomagnetism and plate tectonics. Cambridge University Press, 358 pp.
- TARLING, D. H., 1971. Principles and Applications of Palaeomagnetism. Chapman y Hall, New York.
- TREVIÑO, A. T., 1986. Investigaciones magnetoestratigráficas y paleomagnéticas de la Formación Morelos, Estado de Guerrero, México. Fac. Ing., UNAM, Tesis de maestría, 95 pp.
- URRUTIA, J., 1981. Reconnaissance paleomagnetic investigation of Cretaceous limestones from southern Mexico. *Geofís. Int.*, 20, 3, 203-125.
- URRUTIA, J., 1988. Paleomagnetic study of the Cretaceous Morelos Formation, Guerrero State, southern Mexico. *Tectonophysics*, 147, 121-125.

- URRUTIA, J. y R. VAN DER VOO, 1983. Reconnaissance paleomagnetic study of Cretaceous limestones from southern Mexico. *EOS Trans. AGU*, 64 (18) 220.
- VALENCIO, D. A., 1977. El magnetismo de las rocas. Editorial Universitaria de Buenos Aires, 351 pp.
- VAN DER ENDE, C., 1977. Palaeomagnetism of Permian red beds of the Dome de Barrot (S. France), thesis, Rijsuniv. Utrecht, Utrecht, The Netherlands.