

M I N I S T E R I O D E I N D U S T R I A

Y

E N E R G I A

INSTITUTO TECNOLOGICO GEOMINERO DE ESPAÑA

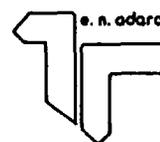
MAPA GEOLOGICO DE ESPAÑA

ESCALA 1:50.000

INFORME COMPLEMENTARIO SOBRE LA TECTONICA ALPINA DE LA HOJA

350 (23-14)

SORIA



J.L. Simón Gómez
(UNIVERSIDAD DE ZARAGOZA)

Noviembre-1989

HOJA Nº 350. SORIA.

Tectónica alpina.

A.M. CASAS SAINZ y J.L. SIMON GOMEZ.

Departamento de Ciencias de la Tierra.

Universidad de Zaragoza.

1. DESCRIPCION MACROESTRUCTURAL.

La hoja de Soria se encuentra a caballo entre el límite S de las formaciones del Cretácico inferior de las sierras de Cameros (s.l.) y los materiales terciarios de la cuenca de Almazán. Aflorando en medio de estos últimos se encuentran hacia el W algunos enclaves de calizas del Cretácico Superior carbonatado marino, que forman elevaciones en torno a los 1200 m. . Globalmente se pueden distinguir, pues, dos sectores: el correspondiente a las sierras de Cameros en la mitad N de la hoja y el sector S, englobado en la depresión de Almazán.

1.1. Sector del borde S de las Sierras de Cameros.

La estructura general del borde S de la cuenca cretácica de los Cameros es la del flanco S de un gran sinclinal, con buzamiento

generalizado hacia el N. En la zona meridional de este sector afloran los materiales más antiguos, correspondientes al Jurásico, que forman una banda de dirección más o menos E-W. La estructura en detalle de la banda Jurásica no tiene directrices claras, y las orientaciones son muy variadas en los diferentes bloques o dominios limitados por fallas. Pueden distinguirse, no obstante, dos segmentos: a) uno occidental de directriz ENE, al parecer menos deformado y en buena medida cubierto por el terciario discordante; b) otro segmento oriental, con directriz ESE, cabalgante todo él hacia el Sur sobre el Cretácico y el Terciario. Este último aparece cortado asimismo por dos familias de fallas según direcciones NW y NE, que tienen el aspecto de constituir un sistema conjugado de desgarres.

En el extremo NE de la hoja (Sierra del Almuerzo, Sierra Matute) aparece la extensión más continua de materiales del Cretácico inferior en facies Purbeck-Weald de la zona, que adopta a grandes rasgos una estructura sinclinal con orientación E-W (sinclinal de Calderuela). Hacia el W de Soria, y con poca representación dentro de la hoja, aparece otra estructura sinclinal, también E-W, dentro de los materiales del Weald (sinclinal de Canredondo), que forma una terminación periclinal a la altura del pico Bellosillo.

Adosados al borde Jurásico por su parte meridional aparecen algunos afloramientos de Cretácico Superior: a) el extremo E de la Sierra de San Marcos, que culmina en el Alto del Santo y presenta estructuras de plegamiento de orientación NE-SW; el contacto de esta estructura con el Terciario de la cuenca de Almazán es una falla inversa de la misma dirección; b) el alto del Tiñoso, que se continúa formando un arco con

orientación NE-SW a NW-SE, y c) el extremo W de la Sierra de la Pica, estructurada en dirección NW-SE.

1.2. Sector de la Cuenca de Almazán.

La disposición general del contacto del borde Mesozoico de las Sierras de Cameros con el terciario de la Depresión de Almazán presenta orientación NE en el extremo W de la hoja, se hace E-W en la parte central, y va adoptando una disposición ibérica hacia el sector oriental. Este cambio de orientaciones se inscribe, a escala de varias decenas de Km., dentro de un marco más general de cambio de dirección en las estructuras que marcan el límite S de la cuenca cretácica de los Cameros al E de la falla de S. Leonardo. Este límite adopta una disposición E-W a NE en la zona de las Sierras de Cabrejas y S. Marcos, y dirección ibérica hacia las Sierras de La Pica y del Madero, que enlazan con las Sierras Ibéricas. La hoja de Soria queda enmarcada, pues, en la zona de tránsito espacial entre estas dos orientaciones.

Las estructuras de plegamiento situadas dentro del Terciario de la Depresión de Almazán afectan claramente al Paleógeno situado en el sector occidental de la hoja. Estos pliegues se adaptan a grandes rasgos a las orientaciones definidas por las grandes estructuras mesozoicas del borde de la cuenca de Cameros: NE-SW a E-W. Las estructuras más visibles son dos anticlinales de dirección E-W, con sus núcleos formados por materiales del Cretácico Superior, que forman dos grandes resaltes topográficos al SE de la capital soriana (anticlinal del cerro de Santa Ana y anticlinal de Los Rábanos, que forma el cerro del Picazo); en algunos puntos aparecen fallas inversas que forman el límite entre las calizas

cretácicas y los conglomerados paleógenos (flanco N del anticlinal de Santa Ana). Los pliegues son de tipo flexural, y en sus flancos aparecen numerosas estrias de deslizamiento capa sobre capa. Los conglomerados paleógenos aparecen fuertemente deformados, con buzamientos subverticales e incluso invertidos y multitud de fallas inversas en los límites de la depresión de Almazán con los mesozoicos de las Sierras de Cameros. Existen además algunos pliegues que sólo afectan al Paleógeno, sin relación con materiales mesozoicos, y con dirección E-W en el paraje de "El Censo", hacia el centro-sur de la hoja, y al S del anticlinal de los Rábanos. Los afloramientos neógenos de este sector de la hoja aparecen en general discordantes sobre todos estos pliegues, excepto quizá el situado a unos 3 Km. al W de Soria, que podría estar débilmente afectado por un sinclinal de dirección E-W, prolongación de uno de los sinclinales NE-SW de la Sierra de S. Marcos. En todo el sector suroccidental de la hoja aparece un grupo de fracturas de escaso desplazamiento, con orientación NW-SE, que cortan a los pliegues.

El sector suroriental de la hoja aparece ocupado por materiales neógenos, que se sitúan discordantes sobre los mesozoicos de la cuenca de Cameros, y escasamente deformados, sin directrices estructurales claras.

2. ANALISIS MICROESTRUCTURAL.

Se han obtenido medidas de microestructuras frágiles (juntas estilolíticas y planos de falla con estrias) en cuatro estaciones situadas en la mitad norte de la hoja. Una de ellas (estación 1, cerca de la localidad

de Calderuela), se localiza en las calizas del Jurásico inferior-medio situadas en el borde sur de la cuenca cretácica de los Cameros, y las otras tres en las calizas del Cretácico Superior de los flancos de los anticlinales de Santa Ana, de Los Rábanos y de la Sierra de San Marcos, los tres cerca de la ciudad de Soria. A partir del análisis de las poblaciones de microfallas mediante los métodos de ETCHECOPAR et al. (1981) y diagrama σ_1 -R (SIMON GOMEZ, 1986) se puede caracterizar el elipsoide de esfuerzos responsable de su movimiento. A continuación se describen las microestructuras y estados de esfuerzo obtenidos de ellas en las cuatro estaciones analizadas. Los resultados gráficos del análisis se recogen en la figura 2 y en los anexos 1 y 2.

La estación 1 (Calderuela) se encuentra situada en la trinchera del ferrocarril Castejón-Soria, a la altura del Km. 23.5, en las calizas del Jurásico medio que limitan por el sur la cuenca wealdense de los Cameros. Las capas presentan una orientación 048, 28 W, y su disposición no puede relacionarse con ninguna macroestructura clara. Se han obtenido medidas de 42 microfallas, que presentan orientaciones dominantes E-W y WNW-ESE, con estrias que indican movimientos de fuerte componente direccional; también aparece un grupo de fallas normales con dirección N-S a NW-SE. Al analizar la estación mediante el método de ETCHECOPAR et al. (1981) aparece una buena solución con σ_1 horizontal en dirección 014 y un valor de $R=0.9$, dentro del campo del *décrochement* (σ_2 vertical), pero próximo a la distensión uniaxial. Este tensor permite explicar el 56% de la población (26 de los movimientos medidos). Las fallas explicadas presentan una desviación angular estría real-estría teórica muy baja, de unos 5°, y se agrupan muy claramente en las dos primeras clases del histograma de desviaciones. El diagrama de círculo de Mohr para estos

planos permite un movimiento óptimo para una buena parte de ellos, pero 6 se concentran en el cuadrante derecho del círculo. En el diagrama γ -R (SIMON GOMEZ, 1986) puede verse que las fallas compatibles con este tensor son también compatibles con un tensor que presenta σ_1 en dirección 150, y relación R próxima a 0 (compresión uniaxial); este último se aprecia mejor en el diagrama γ -R elaborado tras corregir los datos de las fallas mediante el abatimiento de la estratificación a la horizontal. Nuevas pruebas mediante el método de Etchecopar permiten comprobar que existe una familia de fracturas, de dirección 120-140, compatible con ambos tensores. Al final hemos optado por la primera de las soluciones, por su mayor calidad en cuanto a la solución matemática, pero no descartamos una posible solución mixta, en la que las fallas se formarían bajo un régimen de esfuerzos con σ_1 en dirección 150 (posición óptima en el círculo de Mohr), y podrían después rejugarse sometidas a un tensor de σ_1 horizontal NNE, y valores de R próximos a la distensión uniaxial. Queda un resto de fallas relativamente grande (16 fracturas) que no ha podido ser asimilado a ningún otro tensor.

La estación 2 corresponde a una cantera situada sobre calizas del Cretácico superior en el flanco norte del anticlinal de Santa Ana, a unos 2 Km. de la capital soriana. La orientación de la estratificación es 095, 45 N. Se han medido un total de 26 planos de falla. Los tectoglifos encontrados sobre los planos son en su mayoría de tipo estrilolítico. Existe una orientación dominante E-W de los planos de falla, y un predominio de los movimientos de componente inversa. La utilización del método de Etchecopar et al. para el análisis de esta estación ha dado como resultado la existencia de dos tensores compatibles con el movimiento de dos grupos

distintos de fallas dentro de la población:

a) Un tensor con orientación de σ_1 124, 31 N, σ_2 004, 34 S, σ_3 059, 35 N y valor de $R=0.45$ explica el 38 % de las fallas, bien separadas del resto en las dos primeras clases del histograma de desviaciones angulares; La posición de los planos dentro del círculo de Mohr es aceptable. En este caso el eje σ_2 es perpendicular al plano de estratificación, mientras que σ_1 y σ_3 están contenidos en el mismo; si abatimos los ejes pasando este plano a la horizontal, σ_1 queda en dirección 145 y σ_2 vertical, con lo que obtenemos un régimen de esfuerzos dentro del campo del *décrochement*, que habría actuado antes del plegamiento de las capas. Este tensor aparece también muy claramente definido en el diagrama γ -R con las fallas referidas al plano de estratificación; la desviación de los valores de R es muy pequeña.

b) Un segundo tensor explica un 26 % del total de las fallas, con σ_1 028,44 N, σ_2 117, 2 E y σ_3 036, 44 W, y relación $R=0.0$. Los ejes σ_1 y σ_3 están contenidos en el plano de estratificación y, por tanto, este tensor habría actuado también antes del plegamiento, con una dirección del σ_1 horizontal 020. La posición de los planos en el círculo de Mohr es óptima, y la desviación angular escasa -casi todas las fallas se concentran en la primera clase del histograma de desviaciones-. El problema de esta solución es el escaso número de fallas que explica, pero, dado que la población se compone de relativamente pocas fracturas, creemos que puede ser tenida en cuenta. En el diagrama γ -R abatido según el plano de estratificación también aparece claramente reflejado este tensor.

Los dos tensores hallados tienen dos de sus ejes contenidos en el

plano de estratificación, bastante inclinado hacia el N, y el tercero de ellos perpendicular. La fracturación en esta estación se habría producido, pues, antes del plegamiento de las capas, aunque uno de los tensores es compatible con la orientación del pliegue E-W.

La estación 3 está situada en una de las canteras cercanas a la presa del embalse de Los Rábanos, en el flanco norte del anticlinal de dirección ENE que forman las calizas del Cretácico superior. La estratificación presenta una orientación 048; 78 N. Se han tomado 16 medidas de picos estilolíticos, con una orientación que oscila entre NW-SE y NNW-SSE y con inmersiones muy bajas, prácticamente incluidos en el plano horizontal; esto último sugiere que se han originado después del plegamiento de las capas. Junto con los estilolitos aparecen también algunas microfallas de direcciones entre 030 y 060, generalmente inversas y con estrias de cabeceos elevados; los planos de falla son escasos y no permiten la determinación de estados de esfuerzo compatibles con ellas.

La estación 4 se encuentra situada en la cantera abierta en las calizas del Cretácico Superior de la Sierra de San Marcos, que forman el flanco N de un anticlinal de dirección NE-SW. La estratificación presenta una orientación 055, 52 N. Se han medido algunos picos estilolíticos horizontales, cuyas direcciones oscilan entre ESE y SE, y 30 microfallas. Los planos de falla suelen presentar una pátina que hace difícil determinar su sentido de movimiento. Sólo se ha podido establecer éste con seguridad en 9 de ellas. Por ello, al analizarlas, las 18 restantes se han introducido como fallas con doble sentido. Existen dos direcciones dominantes de fracturación: NE-SW, correspondiente a fallas con bajos cabeceos, y NE-SW, que agrupa también a fracturas con fuerte componente inversa.

El análisis mediante el método de Etchecopar de las microfallas medidas en esta estación muestra la compatibilidad de las mismas con un tensor cuyo eje σ_1 se orienta según 113, 01 W, el σ_2 es subvertical (régimen de *décrochement*) y la relación R es 0.2. Las fallas explicadas constituyen el 63% de la población, y se agrupan en las tres primeras clases del histograma de desviaciones; la desviación angular media es muy baja (7°), y la posición de los planos en el círculo de Mohr indica que ha sido posible su movimiento bajo este régimen de esfuerzos. En el diagrama y-R puede verse que existen numerosos puntos de corte entre curvas próximos a una dirección de σ_1 ESE y con R comprendido entre 0 y 1; esto corrobora que una buena parte de las fracturas son compatibles con un tensor similar al obtenido mediante el método de Etchecopar. También los estilolitos resultan compatibles con esa misma compresión. El hecho de que tanto los picos de estos como los ejes de esfuerzos obtenidos de las fallas aparezcan horizontales a pesar de que las capas presenten un fuerte buzamiento hacia el N indica que la fracturación se ha producido en una etapa posterior al plegamiento.

3. INTERPRETACION TECTONICA.

Algunas de las estructuras presentes en los materiales mesozoicos de la hoja, y en concreto el sinclinal de Calderuela, pueden atribuirse en parte a la tectónica sinsedimentaria del cretácico inferior, que tuvo gran importancia en la estructuración de la cuenca Wealdiense de los Cameros (SALOMON, 1982; GUIRAUD, 1985; GUIRAUD Y SEGURET, 1986). Ella puede ser la causante de la formación de los sinclinales del N de la hoja, y , quizá

también, de una parte de las fallas que compartimentan el jurásico inferior y medio que separa las Sierras de Cameros *s. l.* de la Depresión de Almazán. Según los estudios realizados a escala de cuenca (GUIRAUD Y SEGURET, 1986), existe una tectónica transtensiva durante todo el Cretácico inferior que produce el movimiento de fallas normales de zócalo de dirección NW-SE, las cuales a su vez dan lugar a pliegues sinsedimentarios que adaptan la cobertura jurásica y los materiales cretácicos recién sedimentado a dichas fracturas del basamento.

El resto de las deformaciones observadas en la hoja pueden considerarse incluidas en la orogenia alpina *s.s.* En cuanto al plegamiento de los materiales correspondientes al Cretácico Superior y Terciario de la mitad sur de la hoja, el hecho de que en la parte E tiendan a aparecer pliegues de orientación ibérica mientras que hacia el centro adopten una disposición más E-W puede deberse a su adaptación a la estructura preexistente definida por los límites de la cuenca durante el Cretácico inferior, controlada a su vez, probablemente, por fracturas de zócalo. Este límite cambiaría de orientación desde NE-SW en la parte occidental a NW-SE en la oriental. No obstante, podría existir una cierta diacronía en el desarrollo de unas y otras direcciones de plegamiento, ya que en algunas de las hojas vecinas (y quizá también en esta, según hemos comentado en el apartado 1.2), los depósitos Neógenos aparecen solamente afectados por pliegues de dirección E-W, mientras que el Paleógeno puede observarse plegado según direcciones tanto NE-SW como E-W y NW-SE.

Las direcciones de compresión compatibles con los pliegues y cabalgamientos descritos se encuentran también reflejados a escala microestructural, aunque sus relaciones cronológicas muestran una

complejidad mayor. Los resultados obtenidos en las estaciones 2 y 3 indican la existencia de una etapa compresiva con σ_1 en dirección SE, que parece anterior al plegamiento de dirección E-W. Dicha compresión podría ser correlacionable con la que cita ALVARO (1975) como responsable de las estructuras de "dirección Guadarrama" en el área de Sigüenza; posteriormente ha sido detectada en otros puntos de la Rama Castellana y la Sierra de Altomira, siempre con orientación SE (CAPOTE et al., 1982; MANERA, 1982; ALFARO, 1987). No obstante, no es seguro que puedan atribuirse a tal etapa temprana de plegamiento las estructuras NE-SW de la Sierra de San Marcos, dado que en un caso pasan a dirección E-W sin solución de continuidad y parecen afectar al Neógeno. El tensor obtenido en la estación 4 presenta el eje σ_1 en dirección ESE, y en principio existe la posibilidad de considerarla dentro de una variación en las direcciones de esfuerzos de la compresión SE antes mencionada, condicionada por las macroestructuras locales. No hemos encontrado, sin embargo, una relación clara de la dirección de compresión ESE con macroestructuras que afloran próximas a la estación 4. En resumen, no se puede establecer una sucesión temporal entre las compresiones en dirección SE y N-S, pudiendo ambas, incluso, coexistir o alternarse repetidamente.

Por otra parte, no se han reconocido ni a escala macro ni microestructural indicios de la etapa compresiva principal de la cadena Ibérica, de dirección NE, que citan otros autores. Sí que aparecen en cambio tensores con σ_1 en dirección N-S a NNE, compatibles por tanto con el plegamiento de dirección E-W. En la estación de Santa Ana la compresión es anterior al plegamiento, pero el sistema de esfuerzos es compatible con el mismo. La dirección de compresión N-S a NNE aparece en todo el

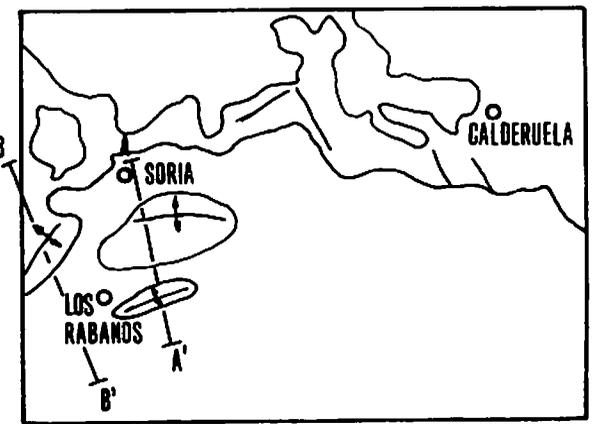
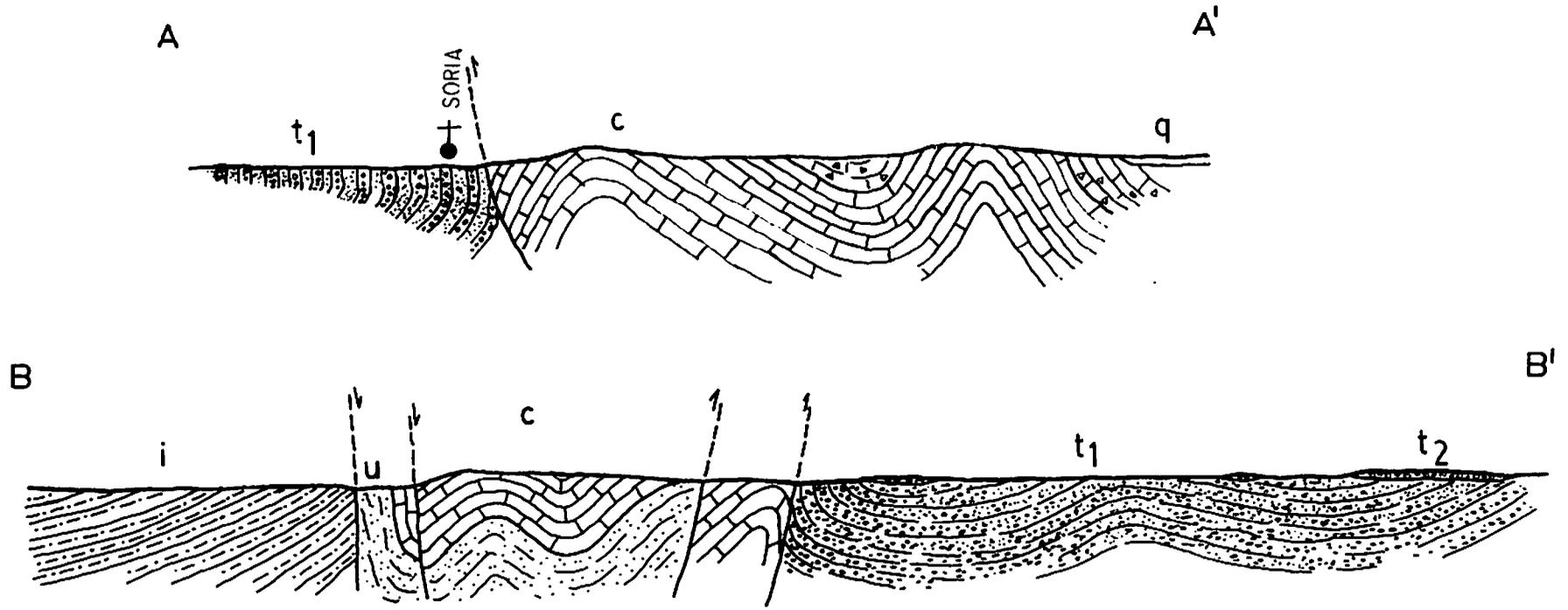
ámbito de la Cuenca de Almazán, y es correlacionable con la citada en otras áreas relativamente próximas, como son la Depresión de Arnedo (CASAS, 1987), cerca del borde N del bloque formado por las Sierras de Cameros, y el sector occidental de la Depresión del Ebro (GRACIA Y SIMON, 1986). En ambas áreas aparece con una edad intramiocena inferior. También en la Rama Castellana de la Cordillera Ibérica se encuentra una compresión N-S de la misma edad (CAPOTE et al., 1982).

No han sido hallados dentro de esta hoja, aunque sí existen a escala regional, datos acerca de movimientos tectónicos neógenos de signo distensivo. A pesar de ello, hay que decir que el estado de esfuerzos interpretado en la estación 1 (Calderuela) presenta un valor de la relación R muy cercano a 1 ($R = 0.9$) que supone una gran proximidad al régimen distensivo ($R = 1$ implica, en este caso, que σ_2 vertical = σ_1). La dirección de σ_3 en el elipsoide hallado (104) está, por otra parte, próxima a la dirección dominante de extensión que se registra en la región. Casos análogos se dan en otros puntos de la Cuenca de Almazán (hojas de Torrijo de la Cañada y Arcos de Jalón) y de la Depresión del Ebro (GRACIA y SIMON, 1986). Suponemos que el régimen de esfuerzos distensivo se instala después de la compresión NNE, a partir del Mioceno medio aproximadamente. Entre ambos estados de esfuerzo existiría un tránsito gradual con intercambio de los ejes σ_1 y σ_2 , fenómeno que parece ser la tónica común en todo el cuadrante NE de la Península (SIMON, 1984, 1986; GUIMERA, 1984; GRACIA y SIMON, 1986).

BIBLIOGRAFIA.

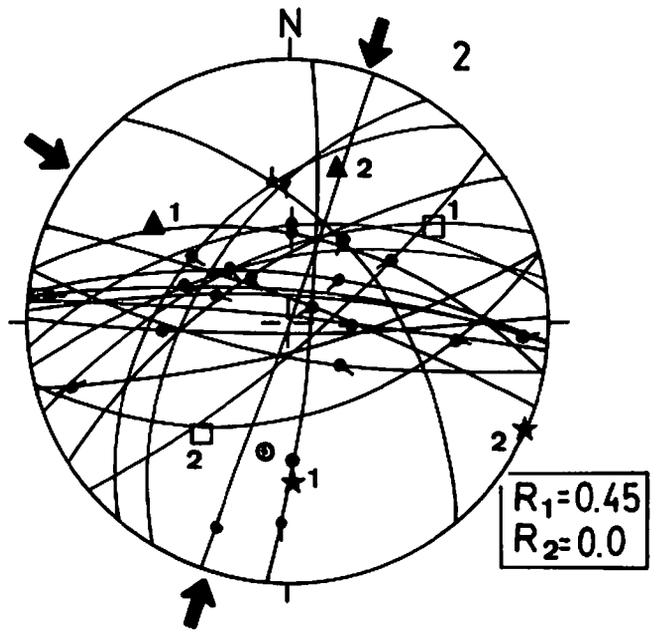
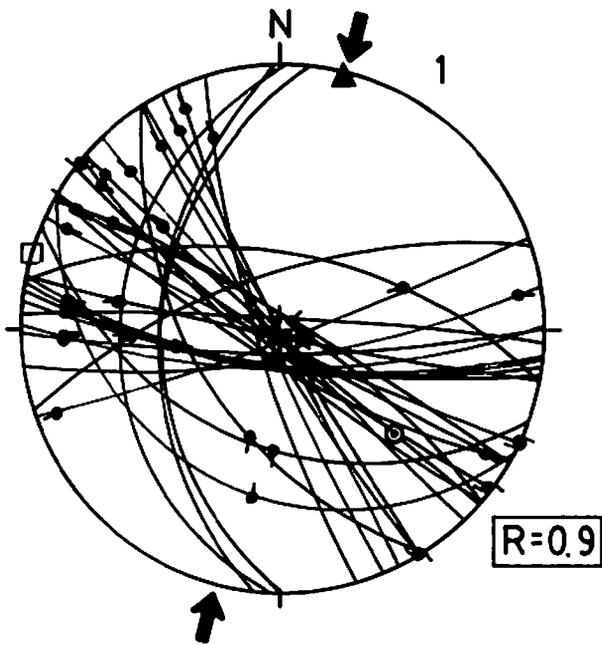
- Alfaro, J. A. (1987): Sobre la tectónica frágil y neotectónica del NE de la Sierra de Albarracín. Tesis Lic. Univ. Zaragoza, 120 pp.
- Alvaro, M. (1975): Estilolitos tectónicos y fases de plegamiento en el área de Sigüenza (borde del Sistema Central y la Cordillera Ibérica). Estudios Geol., 31 (3-4), 241-247.
- Capote, R.; Díaz, M.; Gabaldón, V.; Gómez, J.J.; Sánchez de la Torre, L.; Ruiz, P.; Rosell, J.; Sopena, A., y Yebenes, A. (1982): Evolución sedimentológica y tectónica del Ciclo Alpino en el tercio noroccidental de la Rama Castellana de la Cordillera Ibérica. Temas Geológico-Mineros, IGME, Madrid, 290 pp.
- Casas Sainz, A. (1987): El estado de esfuerzos durante el Terciario en la Depresión de Arnedo (La Rioja). Acta Geol.Hisp. (en prensa).
- Etchecopar, A.; Vasseur, G. & Daignières, M. (1981): An inverse problem in microtectonics for the determination of stress tensors from fault population analysis. J. Struct. Geol., 3 (1), 51-65.
- Gracia Prieto, F.J. y Simón Gómez, J.L. (1986): El campo de fallas miocenas de la Bardena Negra (provs. de Navarra y Zaragoza). Bol. Geol. Min., 97(6), 693-703.

- Guimerà, J. (1984): Palaeogene evolution of deformation in the northeastern Iberian Peninsula. Geol. Mag., 121 (5), 413-420.
- Guiraud, M. (1983): Evolution tectono-sédimentaire du bassin Wealdien (Crétacé inférieur) en relais de décrochements de Logroño-Soria (NW Espagne). Thèse IIIème cycle. U.S.T.L. Montpellier. 172 pp. (Inédito).
- Guiraud, M. and Séguret, M. (1984): Releasing solitary overstep model for the late Jurassic-early Cretaceous (Wealdien) Soria strike-slip basin (North Spain). Strike-slip deformation, Basin Formation and Sedimentation. SEPM Research Symposium, AAPG Convention. San Antonio.
- Manera Bassa, A. (1982): Determinación de cuatro fases de deformación en el extremo suroccidental de la Sierra de Altomira. Estudios Geol., 37, 233-243.
- Salomon, J. (1982). Les formations continentales du Jurassique supérieur-Crétacé inférieur en Espagne du Nord (Chaîne Cantabrique et NW Ibérique). Mem. Géol. Univ. Dijon, 6. 228 pp.
- Simón Gómez, J.L. (1984): Compresión y distensión alpinas en la Cadena Ibérica oriental. Tesis Doctoral, Univ. Zaragoza. Publ. Instituto de Estudios Turolenses, Teruel, 269 pp.
- Simón Gómez, J.L. (1986): Analysis of a gradual change in stress regime (example from the eastern Iberian Chain, Spain). Tectonophysics, 124, 37-53.

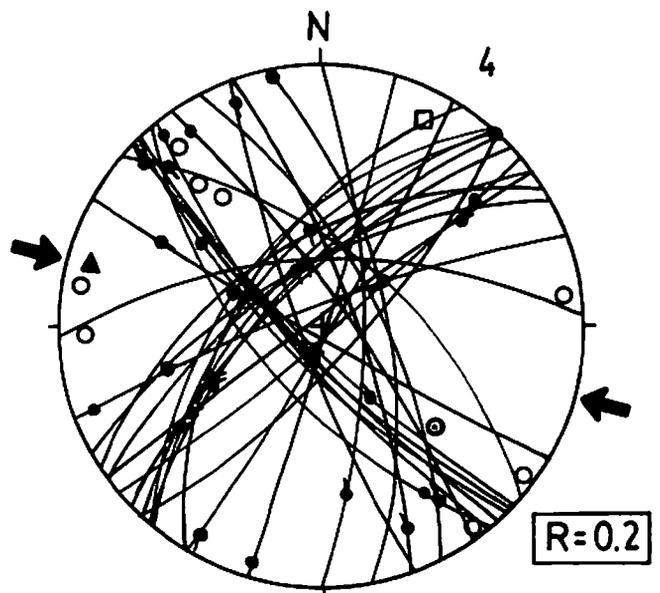
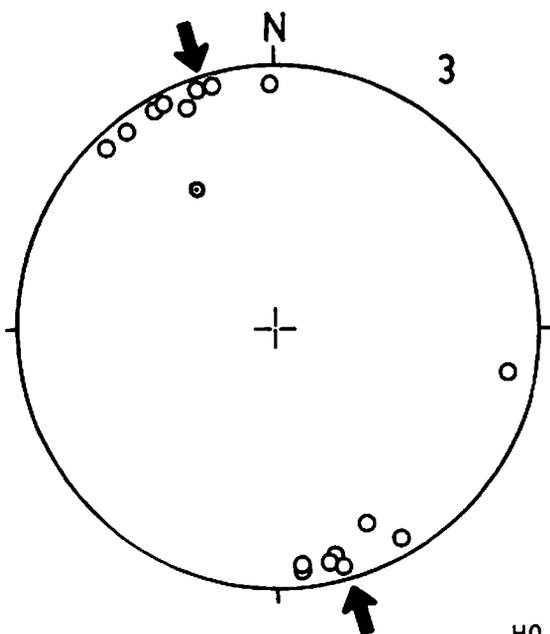
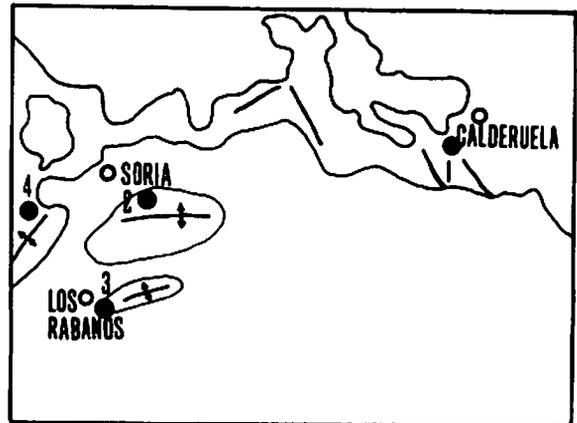


HOJA 350

Figura 1



- 1
- 2
- 3
- 4
- 5
- 6



PIES DE FIGURAS.

Figura 1. Cortes geológicos con orientación NNW-SSE realizados en el sector occidental de la hoja. Coordenadas U.T.M. de los extremos: A: 30TWM445250, A': 30TWM4465176. B:30TWM393254, B': 30TWM422141. Unidades: i: Cretácico inferior en facies Weald; u: Arenas de Utrillas; c, Cretácico superior calcáreo; t₁: Paleógeno; t₂: Neógeno; q: Cuaternario.

Figura 2. Representación estereográfica de los datos de microestructuras (fallas y estilolitos) tomados en las estaciones 1 a 4, y de los tensores de esfuerzos obtenidos a partir del análisis de los mismos: Estación 1 (Calderuela), coordenadas U.T.M. 30TWM645263. Estación 2 (Cerro de Santa Ana), 30TWM462235. Estación 3 (Embalse de Los Rábanos), 30TWM436179. Estación 4 (Sierra de San Marcos), 30TWM400215. Símbolos: 1: ciclográficas y estrias de falla; 2: polo de la estratificación; 3: eje O₁; 4: eje O₂; 5: eje O₃; 6: pico estilolítico. Las flechas indican las direcciones de compresión obtenidas a partir de las microestructuras.

ANEXOS

NOTA

A LOS ANEXOS DE RESULTADOS DEL ANALISIS DE FALLAS.

En los anexos que siguen se recogen los principales resultados que ha arrojado el análisis de fallas en aquellas estaciones en que han podido medirse planos estriados. Los documentos que se incluyen, para cada estación, son los siguientes:

(1) Proyección estereográfica equiangular de ciclográficas y estrias de falla, junto con proyección de polos y diagrama en rosa de las direcciones preferentes.

(2) Extracto de resultados del método de ETCHECOPAR et al. (1981). Se incluyen:

(a) Listado de fallas.

(b) Resultados numéricos de la orientación de los ejes y la relación de esfuerzos $R = (\sigma_2 - \sigma_3) / (\sigma_1 - \sigma_3)$ del tensor/es solución, junto con el valor de la función minimizada y el ángulo medio de dispersión entre estrias teóricas y reales para la solución hallada. Llamando R_B a la relación de esfuerzos que se emplea en la ecuación de Bott y en el diagrama y-R, y R_E a la utilizada por el método de Etchecopar, la relación existente entre ellas es la siguiente:

- Si $\sigma_2 = \sigma_1$ (régimen de distensión): $R_B = 1 / R_E$.

- Si $\sigma_2 = \sigma_3$ (régimen compresivo de desgarre): $R_B = R_E$.

- Si $\sigma_2 = \sigma_3$ (régimen de compresión triaxial): $R_B = R_E / (R_E - 1)$.

(c) Representación de Mohr de los planos de falla en relación a los ejes de esfuerzo obtenidos.

(d) Histograma de desviaciones angulares (en radianes) entre estrias teóricas y reales, donde se sitúan todas las fallas de acuerdo con su numeración en el listado inicial.

(e) Representación estereográfica equiareal de los ejes de esfuerzo, con indicación gráfica del margen de dispersión con el que se han calculado.

(3) Diagrama y-R (SIMON GOMEZ, 1986) de la población de fallas. Los tensores solución vienen definidos en el mismo por las coordenadas (y,R) que corresponden a los "nudos" de máxima densidad de intersecciones de curvas. R representa aquí la relación de esfuerzos $(\sigma_z - \sigma_x) / (\sigma_y - \sigma_x)$ que aparece en la ecuación de BOTT (1959):

$$\operatorname{tg} \theta = (n/lm) [m^2 - (1-n^2)(\sigma_z - \sigma_x) / (\sigma_y - \sigma_x)]$$

donde θ es el cabeceo de la estria potencial o teórica sobre el plano de falla; l, m y n son los cosenos directores de dicho plano; σ_z es el eje de esfuerzo vertical, y $\sigma_y > \sigma_x$ son los ejes horizontales. El valor de y representa el acimut del eje σ_y .

ANEXO 1.

ESTACION 1 (CALDERUELA)

RESULTADOS DEL ANALISIS DE FALLAS.

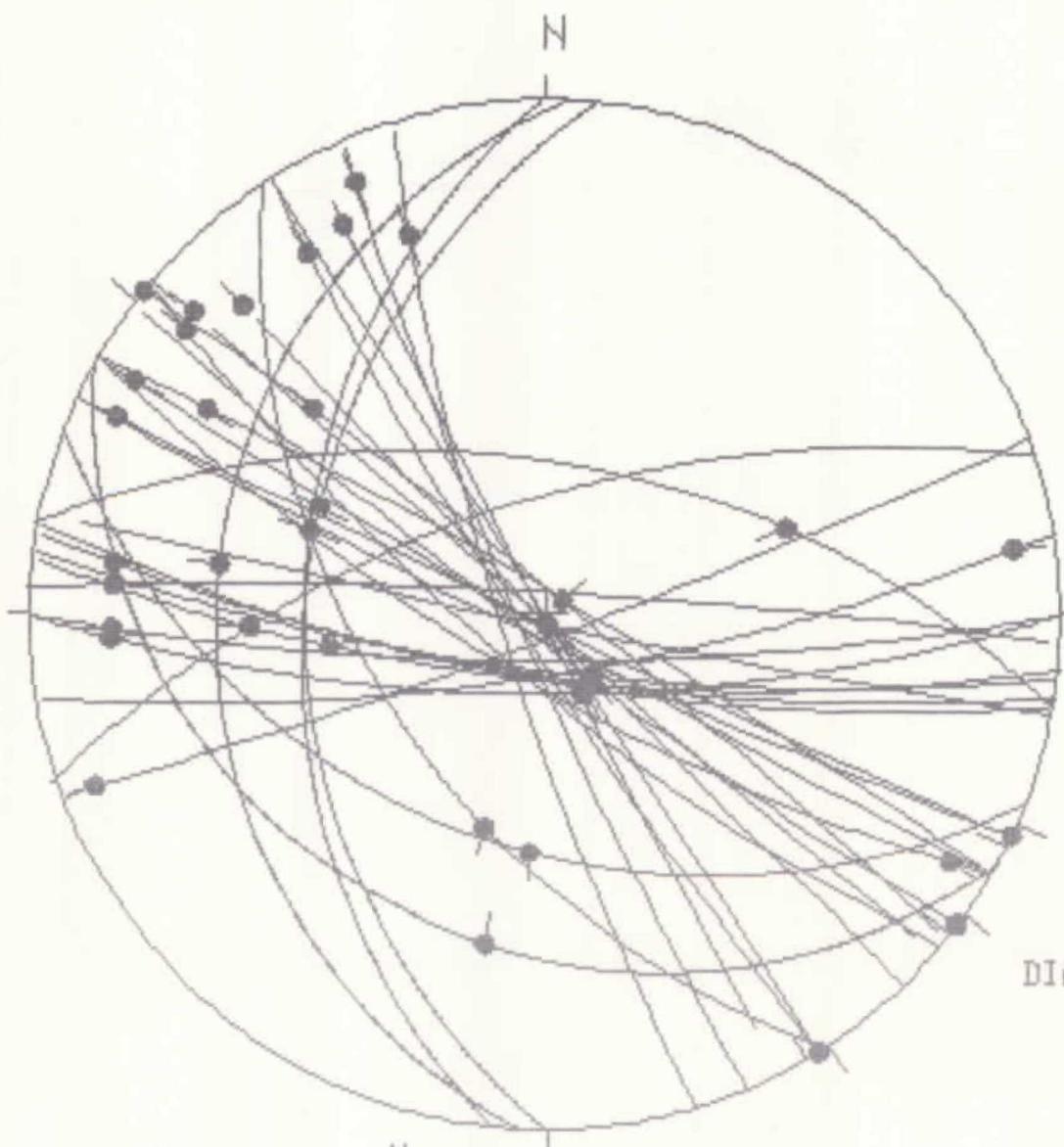


Centro de Cálculo de la Universidad de Zaragoza



CALDERUELA

90	73	S	10	S	10
90	73	S	9	S	10
81	77	S	4	S	10
100	57	N	4	S	10
111	42	S	1	S	10
101	28	S	1	S	10
100	76	S	1	S	10
99	77	S	1	S	10
147	52	M	1	S	10
96	76	S	1	S	10
131	89	S	1	S	10
97	78	S	1	S	10
9	25	S	1	S	10
0	40	M	1	S	10
0	40	M	1	S	10
115	85	S	0	S	10
130	87	S	0	S	10
130	87	S	0	S	10
120	85	N	1	S	10
136	89	S	1	S	10
6	40	M	1	S	10
6	40	M	1	S	10
129	85	N	2	S	10
129	85	N	0	S	10
129	85	N	0	S	10
70	85	S	4	S	10
119	25	S	7	S	10
90	80	S	1	S	10
72	45	N	1	S	10
127	85	S	0	S	10
148	84	S	1	S	10
115	85	S	0	S	10
148	90	S	0	S	10
163	80	M	1	S	10
163	80	M	1	S	10
153	89	M	9	S	10
157	84	M	5	S	10
157	84	M	5	S	10
130	77	S	7	S	10
115	88	S	5	S	10
93	85	S	1	S	10
120	76	S	0	S	10
450	0	S	0	S	10



HOJA No. : 350

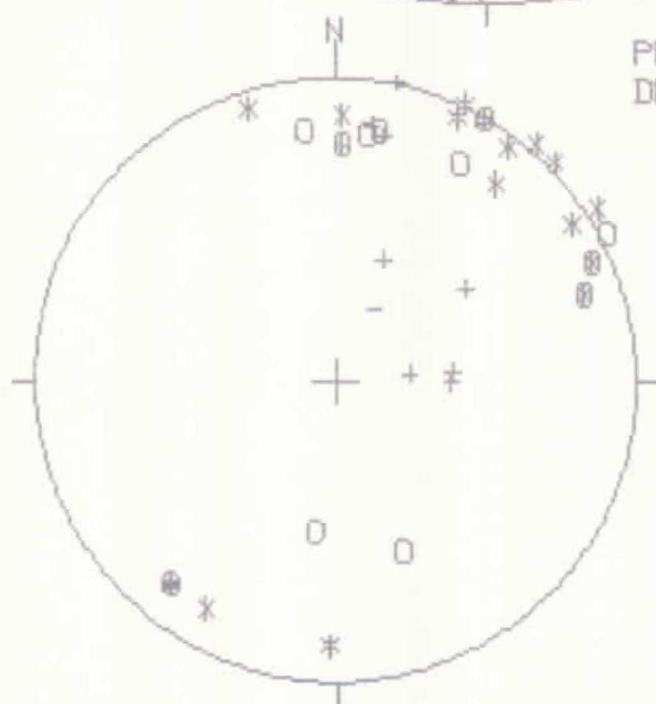
COORDENADAS UTM:
30TWM645263

So: 048; 78

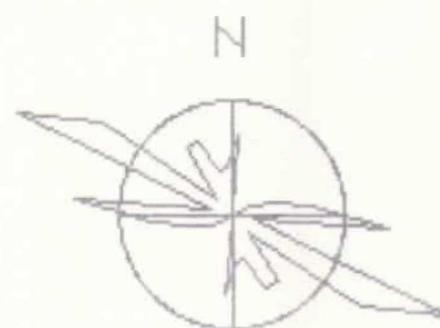
EDAD/FACIES JURAS

NUMERO DE DATOS:42

DIAGRAMA EN ROSA DE LOS VIENTOS
DE DIRECCIONES DE FALLA



PROYECCION
DE POLOS



O POLOS DE FALLAS SINISTRALES

+ POLOS DE FALLAS NORMALES

* POLOS DE FALLAS DEXTRALES

- POLOS DE FALLAS INVERSAS

RADIO DE LA CIRCUNFERENCIA=10%

METODO DE ETCHECOPAR ET AL. (1981).

LA FONCTION A MINIM EST EGALE A 0.1406 POUR LES 21 PREMIERES DONNEES TRIEES PAR
ET A 123.0735 POUR L ENSEMBLE DU PAQUET

***** FIN DE L ETAPE NO 2

*****DEBUT DE LA TROISIEME ETAPE

REGRESSION MOINDRE CARR SUR LES 21 PLUS PETITES ECARTS

ECART MOYEN EN DEGRES 5.21269

COMP NO 1 ERR SUR DIREC 5.3 ERR SUR FEND 15.8
COMP NO 2 ERR SUR DIREC 209.1 ERR SUR FEND 11.7
COMP NO 3 ERR SUR DIREC 5.3 ERR SUR FEND 7.0

ERREUR SUR R 0.165+00

CALDERUELA

Universidad de Zaragoza

NO	TENSEUR EN X Y Z	DANS LES AXES PRINCIPAUX *****			
SIGMA(1)=	0.36730	DIRECTION	14.3	PENDAGE	3.1
SIGMA(2)=	0.26540	DIRECTION	159.9	PENDAGE	86.2
SIGMA(3)=	-0.63270	DIRECTION	284.2	PENDAGE	3.1

RAPPORT R = 0.90

LA FONCTION A MINIM EST EGALE A 0.1406 POUR LES 21 PREMIERES DONNEES TRIEES PAR LE
ET A 122.6576 POUR L ENSEMBLE DU PAQUET

REPRESENTATION DES RESULTATS

Centro de Cálculo de la Universidad de Zaragoza

LE CARACTERE A CORRESPOND AUX DONNEES	8
LE CARACTERE B CORRESPOND AUX DONNEES	9
LE CARACTERE C CORRESPOND AUX DONNEES	27
LE CARACTERE D CORRESPOND AUX DONNEES	32 16 40
LE CARACTERE E CORRESPOND AUX DONNEES	17
LE CARACTERE F CORRESPOND AUX DONNEES	31
LE CARACTERE G CORRESPOND AUX DONNEES	11
LE CARACTERE H CORRESPOND AUX DONNEES	21
LE CARACTERE I CORRESPOND AUX DONNEES	33
LE CARACTERE J CORRESPOND AUX DONNEES	35
LE CARACTERE K CORRESPOND AUX DONNEES	30
LE CARACTERE L CORRESPOND AUX DONNEES	7
LE CARACTERE M CORRESPOND AUX DONNEES	37
LE CARACTERE N CORRESPOND AUX DONNEES	13
LE CARACTERE O CORRESPOND AUX DONNEES	1
LE CARACTERE P CORRESPOND AUX DONNEES	20
LE CARACTERE Q CORRESPOND AUX DONNEES	12
LE CARACTERE R CORRESPOND AUX DONNEES	19

CALDERUELA

GAMME		NBRE	LIEUX DES VALEURS DANS CETTE GAMME																
1	0 0 0 1	17	4	8	22	22	18	14	30	17	31	11	21	33	35	30	3	37	15
2	0 1 0 2	21	1	20	13	19													
3	0 2 0 3	21																	
4	0 3 0 4	22																	
5	0 4 0 5	22																	
6	0 5 0 6	22																	
7	0 6 0 7	22	10																
8	0 7 0 8	23																	
9	0 8 0 9	23																	
10	0 9 1 0	24	37																
11	1 0 1 2	24																	
12	1 2 1 4	24																	
13	1 4 1 6	26	12	2	6	25													
14	1 6 1 8	30	3	7															
15	1 8 2 0	30																	
16	2 0 2 2	30																	
17	2 2 2 4	30																	
18	2 4 2 6	31																	
19	2 6 2 8	32																	
20	2 8 3 0	33																	
21	3 0 3 2	42	38	42	14	28	24	25	14	22	18								

Universidad de Zaragoza

PROJECTION DE LA DISTRIBUCION DE LA PARTIE DES AXES DES TENSEURS CORRESPONDANT A CHAQUE STRIE

CALDERUELA

Centro de Estudios de la Universidad de Zaragoza

1
111
1
11

ANEXO 2.

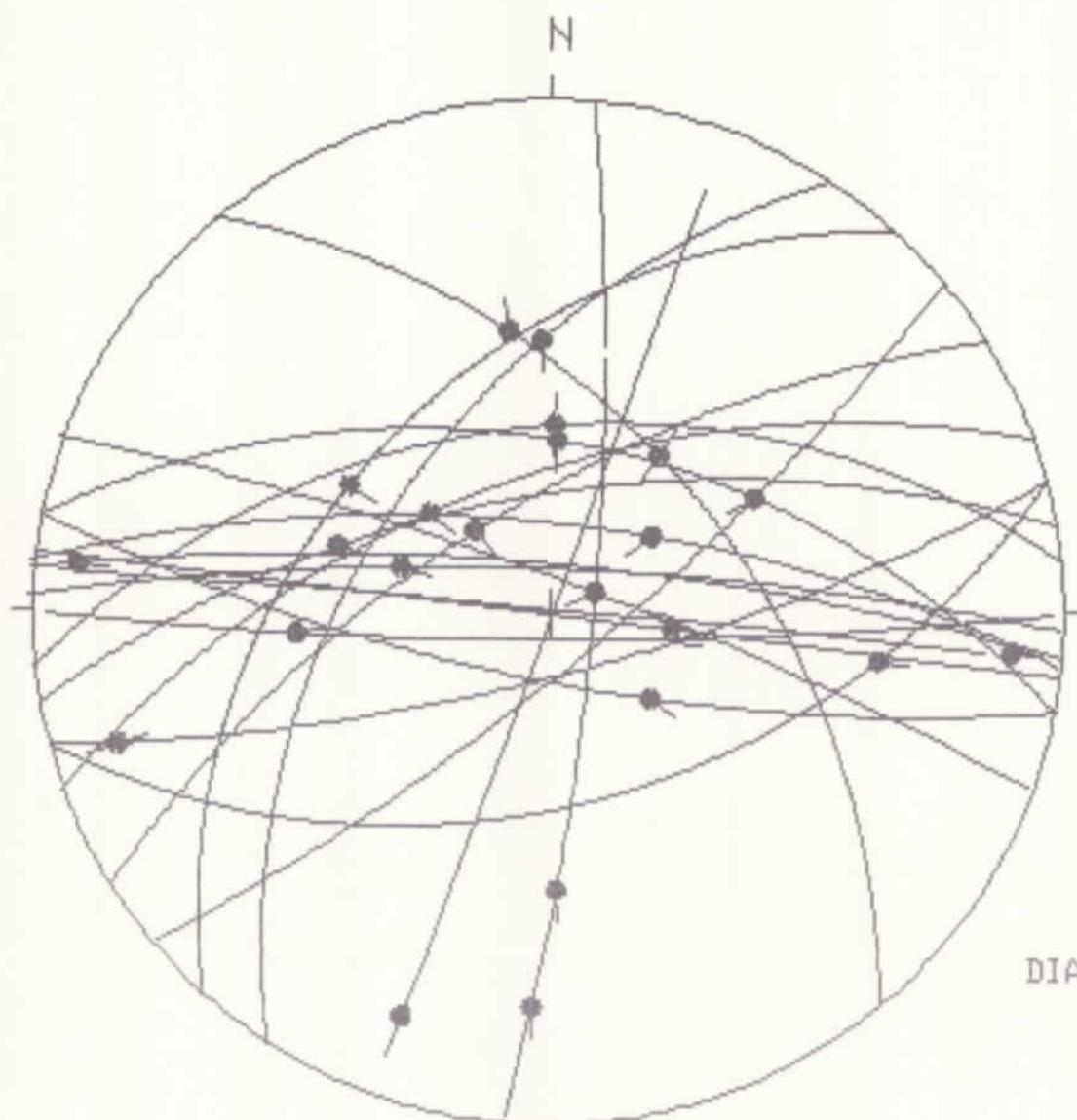
ESTACION 2 (CERRO DE SANTA ANA)
RESULTADOS DEL ANALISIS DE FALLAS

CANSANT_ANA

90	84	S	38		0	0	1
50	78	S	47	0	0	0	2
75	76	S	8	0	0	0	3
75	76	S	8	0	0	0	4
52	80	N	30	0	0	0	5
84	50	N	83	0	0	0	6
84	50	N	83	0	0	0	7
95	79	N	5	0	0	0	8
95	89	N	6	0	0	0	9
5	80	E	34	0	0	0	10
5	80	E	35	0	0	0	11
101	75	S	25	0	0	0	12
101	53	N	25	0	0	0	13
70	80	N	74	0	0	0	14
42	41	N	88	0	0	0	15
38	66	N	85	0	0	0	16
110	82	N	57	0	0	0	17
33	50	N	27	0	0	0	18
140	80	E	80	0	0	0	19
140	80	E	80	0	0	0	20
140	80	E	44	0	0	0	21
97	90	S	63	0	0	0	22
80	64	N	50	0	0	0	23
96	70	N	70	0	0	0	24
75	49	S	33	0	0	0	25
20	89	E	10	0	0	0	26
450	0		0	0	0	0	0

Centro de Cálculo de la Universidad de Chile





HOJA No. : 350

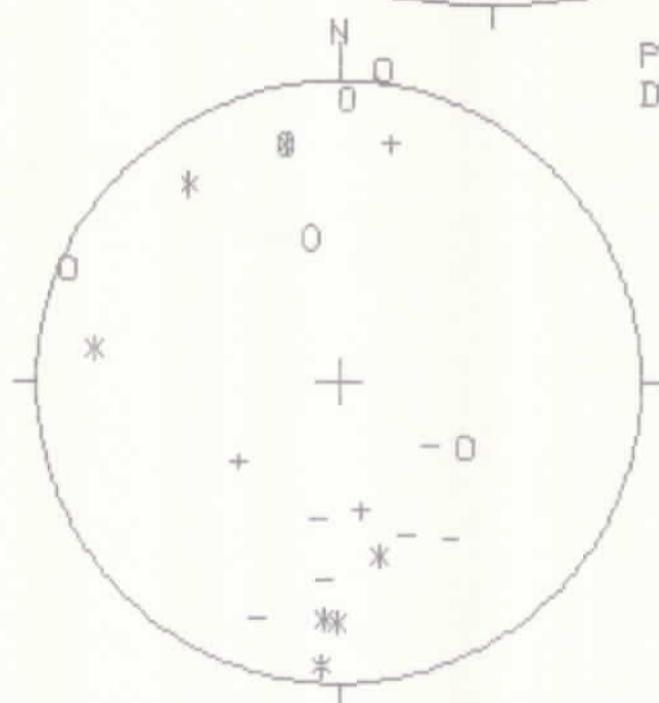
COORDENADAS UTM:
30TWM462235

So: 095: 45

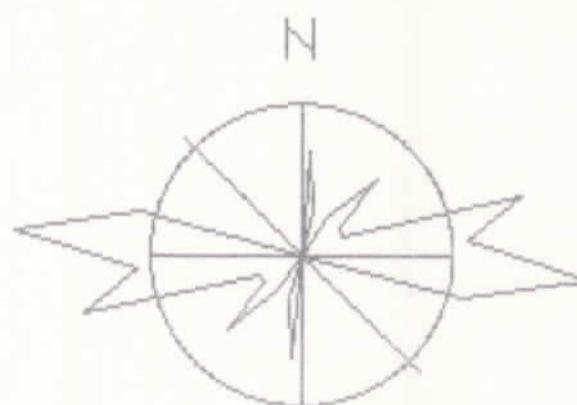
EDAD/FACIES CRET.

NUMERO DE DATOS:26

DIAGRAMA EN ROSA DE LOS VIENTOS
DE DIRECCIONES DE FALLA



PROYECCION
DE POLOS



○ POLOS DE FALLAS SINISTRALES

+ POLOS DE FALLAS NORMALES

* POLOS DE FALLAS DEXTRALES

- POLOS DE FALLAS INVERSAS

RADIO DE LA CIRCUNFERENCIA=10%



METODO DE ETCHECOPAR ET AL. (1981)

SIGMA(2)= -0.03033 DIRECTION 59.5 PENDAGE 35.0
 SIGMA(3)= -0.46223

RAPPORT R = 0.45

LA FONCTION A MINIM EST EGALE A 0.0401 POUR LES 9 PREMIERES DONNEES TRIEES PAR LE
 ET A 79.7416 POUR L'ENSEMBLE DU PAQUET

***** FIN DE L'ETAPE NO 2

*****DEBUT DE LA TROISIEME ETAPE.

REGRESSION MOINDRE CARR SUR LES 9 PLUS FAIBLES ECARTS

ECART MOYEN EN DEGRES 5.13122

COMP NO 1	ERR SUR DIREC	3.3	ERP SUR PEND	3.7
COMP NO 2	ERR SUR DIREC	6.4	ERP SUR PEND	6.0
COMP NO 3	ERR SUR DIREC	2.6	ERP SUR PEND	4.2

ERREUR SUR R 0.58E-01

CANSANT_ANA

NO TENSEUR EN X Y Z (DANS LES AXES PRINCIPAUX *****)

SIGMA(1)=	0.51818	DIRECTION	304.0	PENDAGE	31.4
SIGMA(2)=	-0.03637	DIRECTION	184.1	PENDAGE	39.3
SIGMA(3)=	-0.46182	DIRECTION	59.2	PENDAGE	34.9

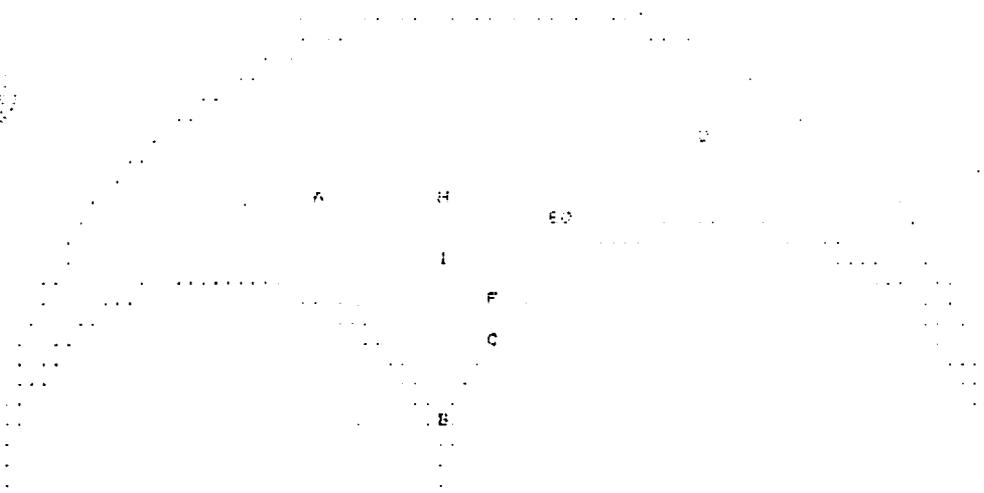
TENSOR DE ESFUERZOS 1

RAPPORT R = 0.45

LA FONCTION A MINIM EST EGALE A: 0.0401 POUR LES 9 PREMIERES DONNEES TRIEES PAR LE
 ET A 79.8609 POUR L'ENSEMBLE DU PAQUET

REPRESENTATION SUR CERCLE DE MOHR

de Cálculo de la Universidad de Zaragoza



LE CARACTERE A	CORRESPOND AUX DONNEES	13
LE CARACTERE B	CORRESPOND AUX DONNEES	7
LE CARACTERE C	CORRESPOND AUX DONNEES	23
LE CARACTERE D	CORRESPOND AUX DONNEES	3
LE CARACTERE E	CORRESPOND AUX DONNEES	16
LE CARACTERE F	CORRESPOND AUX DONNEES	14
LE CARACTERE G	CORRESPOND AUX DONNEES	21
LE CARACTERE H	CORRESPOND AUX DONNEES	9
LE CARACTERE I	CORRESPOND AUX DONNEES	8

***** FIN DE L'ETAPR NO 3

CANSANT_ANA

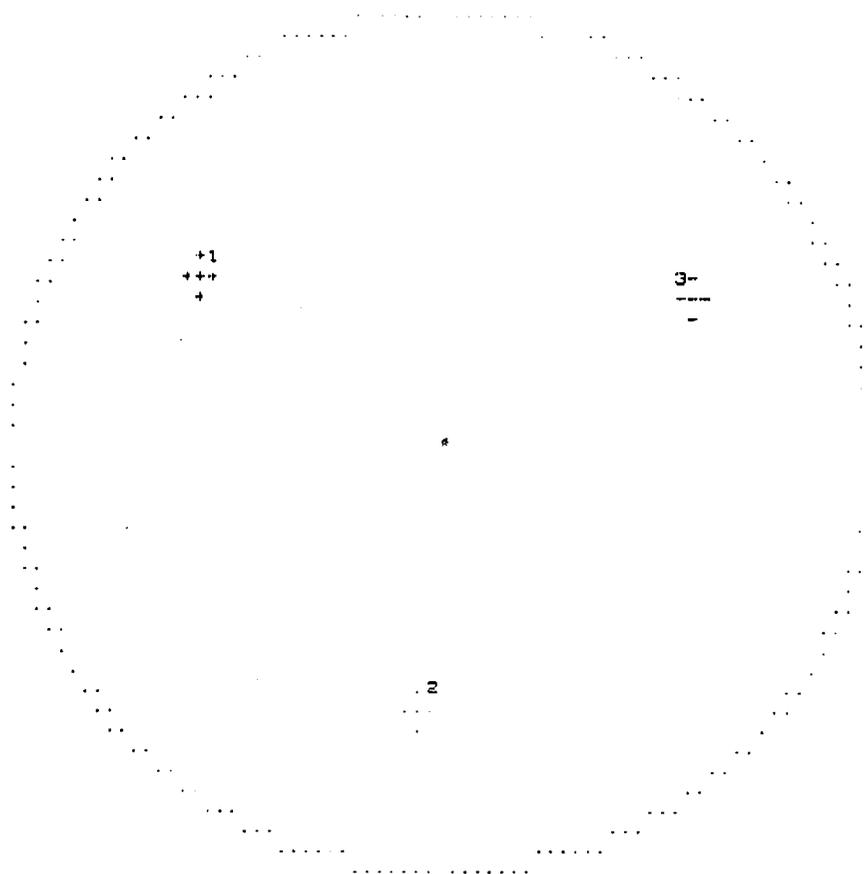
GAMME			NDRE	INDICE DES VALEURS DANS CETTE GAMME							
1	0.0	0.1	8	18	7	23	3	16	14	21	9
2	0.1	0.2	9	8							
3	0.2	0.3	9								
4	0.3	0.4	9								
5	0.4	0.5	9								
6	0.5	0.6	9								
7	0.6	0.7	9								
8	0.7	0.8	10	19							
9	0.8	0.9	10								
10	0.9	1.0	11	5							
11	1.0	1.2	12	15	26						
12	1.2	1.4	13								
13	1.4	1.6	13								
14	1.6	1.8	15	10	2						
15	1.8	2.0	15								
16	2.0	2.2	19	24	11	12	22				
17	2.2	2.4	20	17							
18	2.4	2.6	22	20	1						
19	2.6	2.8	23	25							
20	2.8	3.0	24	13							
21	3.0	3.2	26	4	6						

la Universidad de Zaragoza

Centro de Cálculo de la Universidad de Zaragoza

PROJECTION SUR DIAGRAMME DE SCHMITT DES AXES DES TENSEURS CORRESPONDANT A CHAQUE ETRIE

CANSANT_ANA



*****FIN FINALE

Centro de Cálculo de la Universidad

SIGMA(1)= 0.66581 DIRECTION 22.0 PENDAGE 8.6
SIGMA(2)= -0.33161 DIRECTION 115.2 PENDAGE 20.4
SIGMA(3)= -0.33419 DIRECTION 270.4 PENDAGE 67.7

RAPPORT R = 0.00

LA FONCTION A MINIM EST EGALE A: 0.1328 POUR LES 8 PREMIERES DONNEES TRIEES PAR LE P
ET A 37.0903 POUR L ENSEMBLE DU PAGUET

***** FIN DE L ETAPE NO 2

*****DEBUT DE LA TROISIEME ETAPE

REGRESSION MOINDRE CARR SUR LES 8 PLUS FAIBLES ECARTS

ECART MOYEN EN DEGRES 10.44446

COMP NO 1 ERR SUR DIREC 8.4 ERR SUR PEND 5.9
COMP NO 2 ERR SUR DIREC 74.2 ERR SUR PEND 444.6
COMP NO 3 ERR SUR DIREC 473.6 ERR SUR PEND 411.3

ERREUR SUR R 0.57E-01

SANTANACANTERAABATIDO

NO TENSEUR EN X Y Z DANS LES AXES PRINCIPAUX *****

SIGMA(1)= 0.66581 DIRECTION 22.0 PENDAGE 8.6

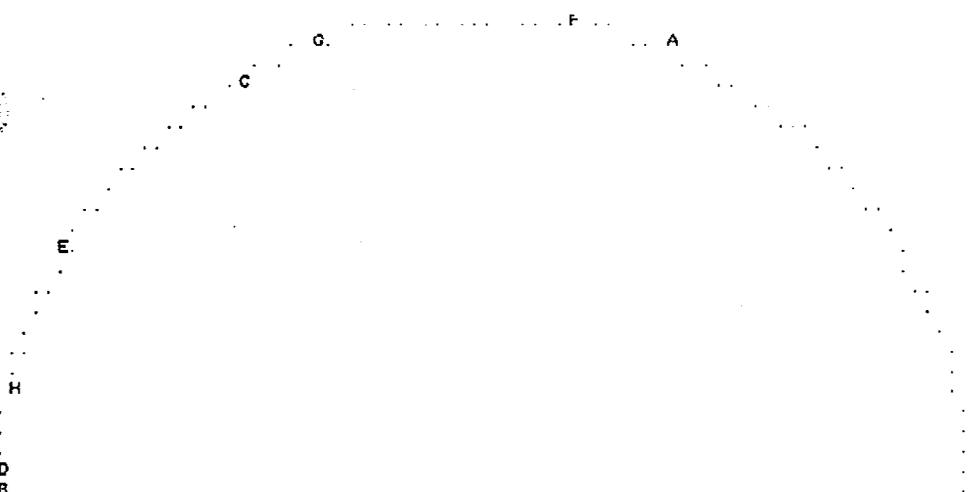
TENSOR DE ESFUERZOS 2

SIGMA(2)= -0.33161 DIRECTION 115.2 PENDAGE 20.4
SIGMA(3)= -0.33419 DIRECTION 270.4 PENDAGE 67.7

RAPPORT R = 0.00

LA FONCTION A MINIM EST EGALE A: 0.1328 POUR LES 8 PREMIERES DONNEES TRIEES PAR LE P
ET A 37.0903 POUR L ENSEMBLE DU PAGUET

REPRESENTATION SUR CERCLE DE MOHR



o de Cálculo de la Universidad de Zaragoza

LE CARACTERE A CORRESPOND AUX DONNEES 25
LE CARACTERE B CORRESPOND AUX DONNEES 13
LE CARACTERE C CORRESPOND AUX DONNEES 17
LE CARACTERE D CORRESPOND AUX DONNEES 19
LE CARACTERE E CORRESPOND AUX DONNEES 24
LE CARACTERE F CORRESPOND AUX DONNEES 12
LE CARACTERE G CORRESPOND AUX DONNEES 22
LE CARACTERE H CORRESPOND AUX DONNEES 6

***** FIN DE L ETAPR NO 3

10/10/1974

SANTANACANTERAABATIDO

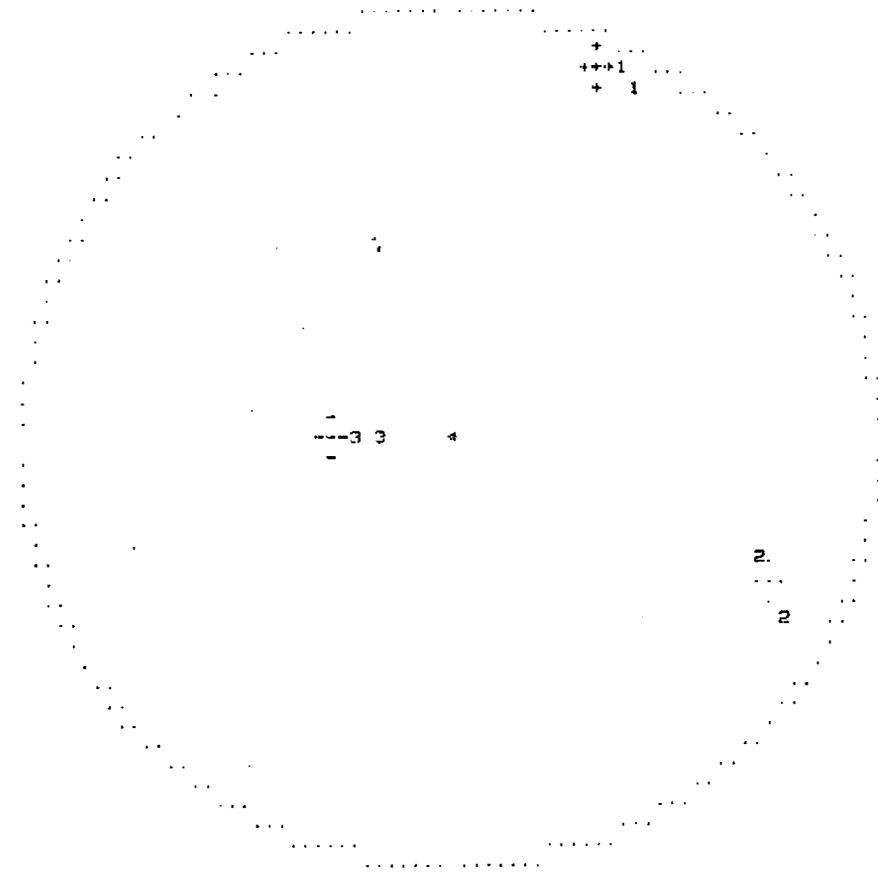
GAMME	NBRE	INDICE DES VALEURS DANS CETTE GAMME							
		25	13	17	19	24	12		
1	0.0	0.1	6	25	13	17	19	24	12
2	0.1	0.2	7	22					
3	0.2	0.3	7						
4	0.3	0.4	8	6					
5	0.4	0.5	8						
6	0.5	0.6	8						
7	0.6	0.7	8						
8	0.7	0.8	8						
9	0.8	0.9	8						
10	0.9	1.0	9	5					
11	1.0	1.2	10	4					
12	1.2	1.4	11	11					
13	1.4	1.6	12	10					
14	1.6	1.8	12						
15	1.8	2.0	13	1					
16	2.0	2.2	14	26					
17	2.2	2.4	15	15					
18	2.4	2.6	15						
19	2.6	2.8	15						
20	2.8	3.0	15						
21	3.0	3.2	17	2	20				

Universidad de Zaragoza

PROJECTION SUR DIAGRAMME DE SCHMITT DES AXES DES TENSEURS CORRESPONDANT A CHAQUE STRIE

SANTANACANTERAABATIDO

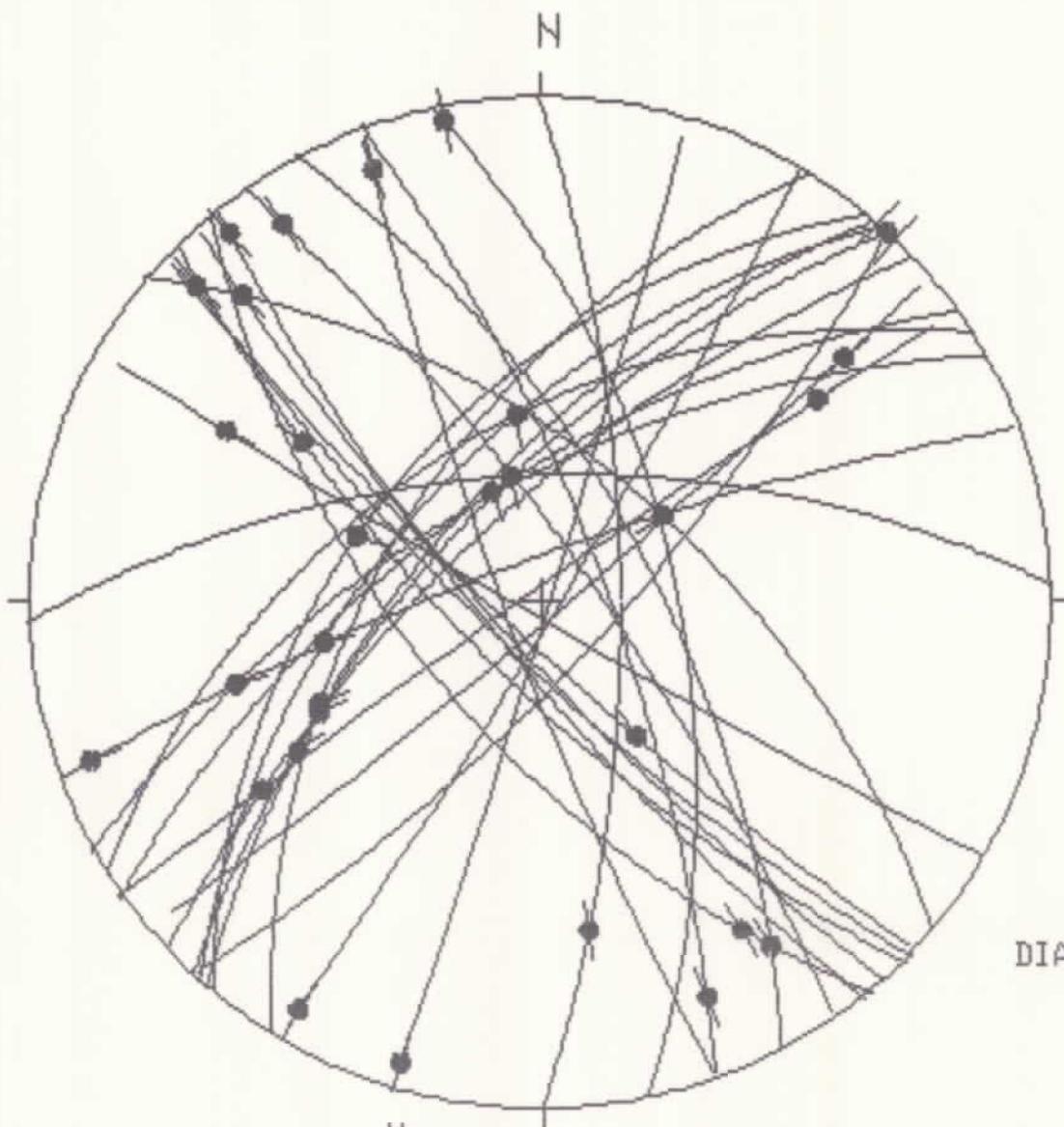
Centro de Cálculo de la Universidad de Zaragoza



*****FIN FINALE

ANEXO 3.

ESTACION 4 (SIERRA DE SAN MARCOS)
RESULTADOS DEL ANALISIS DE FALLAS.



HOJA No. : 350

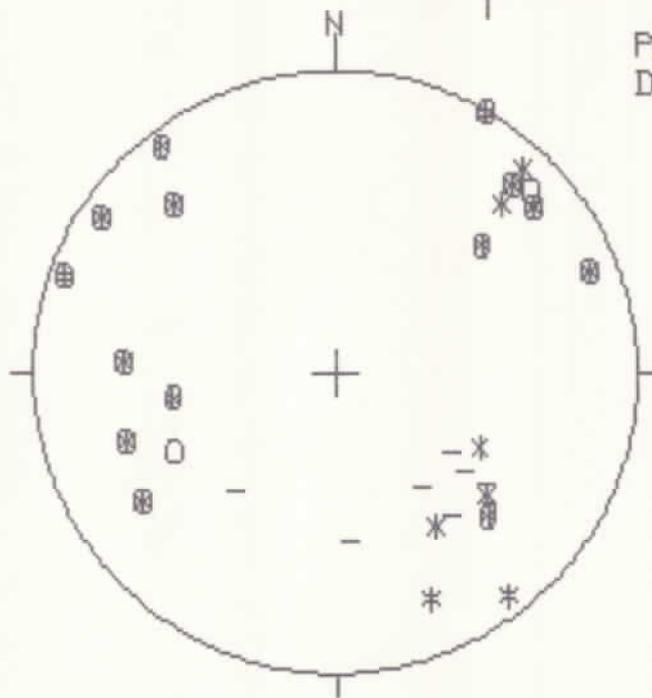
COORDENADAS UTM:
30TWM400215

So: 055,52 N

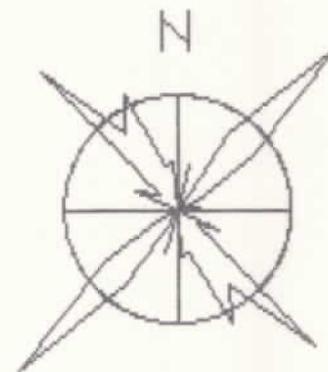
EDAD/FACIES CRET.

NUMERO DE DATOS:45

DIAGRAMA EN ROSA DE LOS VIENTOS
DE DIRECCIONES DE FALLA



PROYECCION
DE POLOS



O: POLOS DE FALLAS SINISTRALES

+ : POLOS DE FALLAS NORMALES

* : POLOS DE FALLAS DEXTRALES

- : POLOS DE FALLAS INVERSAS

RADIO DE LA CIRCUNFERENCIA=10%

METODO DE ETCHECOPAR ET AL. (1981)

Centro de Cálculo de la Universidad de Zaragoza

***** FIN DE L'ETAPPE *****

*****DEBUT DE LA REPRESENTATION*****

REGRESSION MOINDRE CARS SUR LES DONNEES TRIEES PAR LE

ECART MOYEN EN DEGREES

COMP NO 1 ERR SUR 11000 2.4
 COMP NO 2 ERR SUR 11000 17.0
 COMP NO 3 ERR SUR 11000 17.0

ERREUR SUR R 0.12000

SANMARCOSC

NO TENSEUR EN X Y Z DIRECTION DES AXES PRINCIPAUX *****

SIGMA(1)= 0.60105 DIRECTION 100.0 PENDAGE 0.0
 SIGMA(2)= -0.20215 DIRECTION 100.0 PENDAGE 74.4
 SIGMA(3)= -0.39892 DIRECTION 100.0 PENDAGE 15.6

RAPPORT R = 0.20

LA FONCTION A MINIM EST EGALE A 0.20000 POUR LES 19 PREMIERES DONNEES TRIEES PAR LE
 ET A 143.65000 POUR L'ENSEMBLE DU PAQUET

REPRESENTATION DES AXES PRINCIPAUX

Centro de Cálculo de la Universidad de Zaragoza

- LE CARACTERE A CORRESPOND AUX DONNEES 01
- LE CARACTERE B CORRESPOND AUX DONNEES 02
- LE CARACTERE C CORRESPOND AUX DONNEES 03
- LE CARACTERE D CORRESPOND AUX DONNEES 04
- LE CARACTERE E CORRESPOND AUX DONNEES 05
- LE CARACTERE F CORRESPOND AUX DONNEES 06
- LE CARACTERE G CORRESPOND AUX DONNEES 07
- LE CARACTERE H CORRESPOND AUX DONNEES 08
- LE CARACTERE I CORRESPOND AUX DONNEES 09
- LE CARACTERE J CORRESPOND AUX DONNEES 10
- LE CARACTERE K CORRESPOND AUX DONNEES 11
- LE CARACTERE L CORRESPOND AUX DONNEES 12
- LE CARACTERE M CORRESPOND AUX DONNEES 13
- LE CARACTERE N CORRESPOND AUX DONNEES 14
- LE CARACTERE O CORRESPOND AUX DONNEES 15
- LE CARACTERE P CORRESPOND AUX DONNEES 16
- LE CARACTERE Q CORRESPOND AUX DONNEES 17
- LE CARACTERE R CORRESPOND AUX DONNEES 18

***** FIN DE L'ETAPPE *****

SANMARCOSC

GAMME			NBRE	INDICE DES MALECOA DANS CETTE GAMME													
1	0.0	0.1	14	29	4	37	36	11	5	6	26	102	23	7	20	17	12
2	0.1	0.2	17	11	16	30											
3	0.2	0.3	19	29	33												
4	0.3	0.4	19														
5	0.4	0.5	23	35	41	34	38										
6	0.5	0.6	25	31	2												
7	0.6	0.7	25														
8	0.7	0.8	25														
9	0.8	0.9	25														
10	0.9	1.0	25														
11	1.0	1.2	26	45													
12	1.2	1.4	27	43													
13	1.4	1.6	28	40													
14	1.6	1.8	27	43													
15	1.8	2.0	27														
16	2.0	2.2	30	4													
17	2.2	2.4	30														
18	2.4	2.6	30														
19	2.6	2.8	35	1	32	37	42	47									
20	2.8	3.0	35														
21	3.0	3.2	45	15	13	12	19	8	24	21	27	10	3				

Universidad de Zaragoza

PROJECTION SUR COORDONNEES POLAIRES DES MALECOA CORRESPONDANT A CHAQUE STRIE

SANMARCOSC

Centro de Cálculo de la Universidad de Zaragoza

