

HOJA N° 415 (MEQUINENZA)
NEOTECTONICA.

Carlos LIESA CARRERA y Luis ARLEGUI CRESPO

Departamento de Geología. Universidad de Zaragoza.

INTRODUCCION

Antes de pasar a describir e interpretar las estructuras neotectónicas que aparecen en el ámbito de la hoja estudiada conviene explicar cuáles son los límites cronológicos que se han establecido para definirlas, así como los criterios por los que pueden reconocerse e identificarse sus distintos tipos. En este trabajo se han considerado como estructuras pertenecientes al ámbito de la neotectónica aquéllas cuya edad, comprobada o interpretada, se sitúa en el Mioceno superior, Plioceno o Cuaternario. Hay que dejar claro que ello no implica que nuestro estudio deba limitarse estrictamente a las deformaciones que afectan a depósitos datados en estos períodos. De hecho, si siguiéramos este criterio, nuestro estudio se vería enormemente restringido (prácticamente debería limitarse a algunos casos de deformación observada en depósitos cuaternarios), ya que en la hoja no parecen existir depósitos pliocenos o del Mioceno superior.

Teniendo esto en cuenta, existen tres tipos fundamentales de deformaciones que afectan únicamente a los materiales de la serie oligocena, pero cuya edad puede interpretarse razonablemente como situada en el Mioceno superior-Plioceno:

(a) Basculamientos de la serie oligocena, que pueden correlacionarse con otros observados en hojas vecinas afectando a extensiones de bastantes kilómetros cuadrados, y que deben de haberse producido en etapas tardías o posteriores respecto a la sedimentación de la misma.

(b) Sistemas de diaclasas de escala generalmente decimétrica a métrica, que afectan a los niveles competentes oligocenos (calizas y areniscas, fundamentalmente), y siguen unos patrones geométricos bastante sistemáticos que, como ya veremos, permiten relacionarlas con las trayectorias regionales del campo de esfuerzos reciente. Estos sistemas de diaclasas son idénticos a los que aparecen en materiales miocenos en hojas vecinas, y han sido caracterizados por Hancock y Engelder (1989), Hancock (1991) y Arlegui y Hancock (1991) como neotectónicos.

(c) Sistemas de fallas normales de pequeño o nulo desplazamiento, a partir de cuyos planos y estrías pueden reconstruirse los estados de paleoesfuerzos bajo los que fueron activadas.

BASCULAMIENTOS DE LA SERIE OLIGOCENA.

En las unidades que ocupan la mitad oriental de la hoja, especialmente en la rivera del río Segre después de su unión con el Cinca, es posible observar localmente pequeñas ondulaciones, probablemente debidas al plegamiento desarrollado en régimen compresivo durante el Mioceno inferior, del cual existen registros en muchos puntos de la región.

En varios sectores de la hoja las capas aparecen levemente basculadas (unos 2° en promedio) hacia el W o el NW. Esta inclinación se aprecia tanto por la traza de las líneas de capa en el mapa topográfico como la observación panorámica *in situ* (figura 1 del apéndice). En el mapa a escala 1:50.000 se ha representado este basculamiento mediante la utilización del símbolo correspondiente. Quizá este hecho no mereciera una mayor atención de no ser porque una disposición análoga puede seguirse hacia el NW en todo el ámbito de las sierras de Sigüenza y Alcubierre y su entorno (hojas de Castejón de Monegros, Fraga, Lanaja, Leciñena, Zuera y Almudévar). Así pues, a pesar de que la magnitud de la inclinación es pequeña, nos encontramos ante una estructura de primer orden en el sector central de la Cuenca del Ebro. Quirantes (1978) conecta estos basculamientos en todo el área monegrina mediante un sistema de pliegues extraordinariamente laxos. En nuestra opinión no se trata tanto de estructuras de plegamiento como de basculamientos discretos posiblemente relacionados con bloques del sustrato individualizados por fracturas.

En el sector norte de la hoja, en uno de los cortes de la autopista se aprecia un posible basculamiento, hacia el W aproximadamente, de materiales cuaternarios. Si esto es así, la tectónica de bloques del sustrato habría tenido actividad hasta tiempos muy recientes.

SISTEMAS DE DIACLASAS.

Todos los niveles competentes oligocenos, con un especial desarrollo en las calizas y areniscas, muestran un diaclasado bastante intenso, con planos generalmente subverticales de escala decimétrica a métrica. El espaciado entre los planos de una misma familia es función del propio espesor de las capas afectadas, de forma que aumenta al hacerlo éste.

Hancock y Engelder (1989), en un estudio sobre diaclasas en el que presentan algunos ejemplos de la Depresión del Ebro, sugieren que, para un espesor dado de las capas, el espaciado de las diaclasas de una familia aumenta con la cota de la estación de medida. Sin embargo, a partir de las observaciones hechas por nosotros no se desprende tal relación.

Se trata de planos de traza rectilínea, en general, si bien algunos presentan cierta irregularidad, especialmente los que aparecen en litologías detríticas. Su continuidad oscila según de qué familia se trate: la familia NNE posee una continuidad de escala métrica a decamétrica, en tanto que la familia E-W la tiene centimétrica a decimétrica, dada su relación de corte con la anterior. Las superficies son lisas y sólo en algunos casos aparecen marcas de superficie predominando los escalonados, aunque también se han encontrado abundantes marcas plumosas (*hackle marks*).

Se han estudiado un total de 20 estaciones de diaclasas. En cada una se han tomado un número de medidas de direcciones que, según estudios de tipo metodológico realizados por uno de los autores del informe (L.A.), garantiza la representatividad de la muestra estadística. Anexos a esta memoria se presentan los histogramas "suavizados" correspondientes a todas ellas, mientras en el mapa 1:50.000 se hace una representación esquemática de las familias dominantes y sus relaciones de corte. Se observa cómo en la mayoría de las estaciones aparece una familia principal de dirección próxima a NNE (ligeramente desviada, en unos casos, hacia N y NNW) contra la que se corta una segunda familia perpendicular ó casi perpendicular a la anterior. Lo normal es que la familia NNE sea numéricamente la más importante debido a que presenta un espaciado menor, pero también existen muchos casos en los que ambas tienen un peso similar.

La familia NNE es la más sistemática de ambas, lo que se pone de manifiesto por una menor dispersión de las orientaciones en cada afloramiento (Ver histogramas anexos) su orientación oscila en el ámbito de la Hoja desde NNE (028, caso más extremo, estación 20) hasta NNW (170, el más inclinado al W, estación 5).

Si seguimos la clasificación realizada por Hancock (1985) para los estilos arquitectónicos, observamos que predomina el estilo en H, formado por una familia primaria sistemática contra la que se corta una secundaria que puede tener (como es nuestro caso) una menor sistematicidad. No obstante, en buen número de afloramientos se ha detectado el estilo en A, en el que los "brazos" de la A los constituyen diaclasas que forman sistemas conjugados continuos (joint-spectra de Hancock, 1987) cuya bisectriz es paralela aparentemente a las diaclasas NNE del esquema en H, y contra las que se cortan diaclasas pertenecientes a la familia E-W. Esta interpretación se ve apoyada por la presencia de escalonados (*stepping*) en algunos planos de la familia NNE. Tales escalonados se pueden interpretar como indicio de componente de cizalla en la formación de las diaclasas, siendo

entonces la orientación del escalonado un marcador del sentido de cizalla. En varias estaciones se pudo llevar a cabo un estudio detallado de este escalonado al que se le aplicó el método rápido del diedro mínimo para obtener la orientación del esfuerzo mayor horizontal σ_y . El resultado es que la orientación de este eje de esfuerzo no coincide rigurosamente con el pico de orientación obtenido en los histogramas suavizados, debido a que es frecuente que en cada estación predominen las diaclasas con un sentido u otro de cizalla, no estando compensadas unas con otras a escala de afloramiento. No obstante, nuestra impresión es que la compensación se realiza a una escala ligeramente mayor. De lo contrario se podría haber producido una deformación regional con cierta componente rotacional

El patrón de diaclasado descrito es constante en todo el sector central de la Cuenca del Ebro y Cordillera Ibérica, y afecta por igual a materiales de diversas edades a lo largo de todo el Neógeno y Cuaternario. Tales características regionales permiten explicarlo en el contexto del campo de esfuerzos reciente. El modelo propuesto por Simón Gómez (1989) para dicho campo de esfuerzos postula, en síntesis, la superposición de una compresión N-S (originada por el acercamiento entre las placas Africana, Ibérica y Europea, muy activa en las Béticas en ese tiempo y mitigada al desplazarnos hacia el Norte) y una distensión radial o multidireccional (causada por un proceso de *doming* cortical ligado al *ripping* del Este peninsular). El resultado es un régimen de distensión tendente a multidireccional, con el eje σ_2 situado en dirección N-S, es decir, coincidente con el eje σ_1 del campo compresivo. Paralela a dicho eje se formaría la familia principal N-S de fracturas tensionales. En el momento en que esto ocurre el esfuerzo σ_3 extensivo experimenta una relajación que da lugar a su intercambio con el eje σ_2 , lo que propicia la formación de nuevas fracturas perpendiculares a las primeras. Este tipo de intercambio de ejes, y las consecuencias que tiene sobre el esquema de fracturación, han sido demostrados recientemente mediante modelización de campos de extensión radial tanto desde el punto de vista matemático (utilizando el método de los elementos finitos) como experimental (Simón *et al.*, 1988).

SISTEMAS DE FALLAS NORMALES. PALEOESFUERZOS.

En puntos aislados de la hoja se han observado fallas normales con nulo ó pequeño desplazamiento, y raramente se han encontrado de salto mayor.

En la rivera oriental del Segre (coordenadas UTM 31TBF755843), en materiales oligocenos, se encontró una estructura que ha sido interpretada como falla lístrica (Ver anexo de fotografías). Se presenta como un sinclinal de bloque superior en las capas de caliza que choca contra los niveles

subhorizontales propios de la zona. En el bloque superior aparecen pequeñas fallas inversas (de salto centimétrico o milimétrico) como resultado de la acomodación.

En dos estaciones (10 y 13) se han medido poblaciones de ellas suficientemente numerosas (19 fallas en la primera y 36 en la segunda) para acometer su análisis e interpretar los elipsoides de esfuerzos neógenos, y en cuatro (estaciones 2, 6, 9 y 14) se han medido en un número muy pequeño. Los datos de planos y estrías han sido analizados mediante los métodos de los *Diedros Rectos* (Angelier y Mechler, 1977), del *Diagrama y-R* (Simón, 1986) y de *Etchecopar* (Etchecopar et al., 1981) como proponen Casas et al. (1990).

Si bien las direcciones de las fallas en la estación 10 presentan una orientación preferente en torno a ENE, no ocurre lo mismo en la estación 13 en la que las fallas están distribuidas, a grandes rasgos, en casi todas las direcciones. El análisis de estas fallas en esas estaciones (ver anexo) ha mostrado resultados bastante parecidos. En los dos casos, mediante el método de Etchecopar, se han obtenido regímenes de extensión tendente a radial o multidireccional (σ_1 vertical, y relación $Re=0.02$ y $Re=0.10$ en las estaciones 10 y 13 respectivamente) con una dirección de extensión principal máxima σ_3 próxima a SSE (N141 para la estación 10 y N146 para la estación 13). El método de los diedros rectos en la primera de ellas ha mostrado una dirección de extensión máxima N125, siendo este método bastante menos expresivo para la segunda estación donde esta varía entre N100 y N190. El método del diagrama y-R muestra resultados parecidos a los obtenidos por los métodos anteriores. Así, en la estación 10 se observan varios nudos ($\sigma_y=\sigma_2$ en 020-050, 095 y 120, siendo σ_3 perpendicular a estos) con una relación R de $Bott$ $R>10$ ($Re=1/R<0.10$) y en la estación 13, un nudo principal de dirección $\sigma_y=\sigma_2$ entre 030 y 060 y una R en torno a 10 ($Re=0.10$). Todo ello hace pensar en una extensión radial tendente a multidireccional con el eje de extensión máxima próximo a SSE (N140-145).

Como ya se ha mencionado antes, en esta hoja aparecen con cierta frecuencia microfallas aisladas de pequeño desplazamiento. Puesto que no permiten su estudio mediante el análisis poblacional de fallas, como se ha hecho para la estaciones arriba consideradas, y para no obviar su significado tectónico se ha procedido a agruparlas en un diagrama de rosa de direcciones. Así las 12 fallas encontradas en las estaciones 2 (3 fallas), 6 (1), 9 (3) y 14 (5) muestran una orientación preferente ENE y otras menores SSE y NNE. Esta rosa de fracturas parece ser intermedia a las obtenidas para las estaciones 10 y 13, con lo que podría ser interpretada en el mismo sentido que aquellas.

Si observamos en detalle las direcciones de fracturación encontradas vemos cómo para la estación 10, en la que hay desarrolladas una mayor variabilidad de ellas, existen unos máximos muy marcados en NE, SSE y otros menores en NNE y E. Estas direcciones principales de fracturación

podrían representar; por un lado, las fracturas generadas en el campo regional antes mencionado para las diaclasas (extensión multidireccional con el σ_2 próximo a N-S) sería el caso de los máximos NNE y E que son subparalelos a los obtenidos para las diaclasas; y, por otro lado, las fracturas formadas bajo la influencia del campo perturbado de esfuerzos (máximos NE y SSE) y que, en la mayoría de los casos, sólo ha afectado a las fallas. Ello no implica la existencia a la vez de dos campos tectónicos (uno regional y otro perturbado) pues este último es la modificación del primero por efecto de fracturas mayores. La importancia relativa de la perturbación frente a la intensidad del campo regional, si se satisfacen las condiciones de fractura, hará que se generen discontinuidades que dependan únicamente del campo regional o bien del campo modificado.

En resumen, los tensores de esfuerzos obtenidos a partir del análisis de fallas pueden interpretarse como producto de una desviación de las trayectorias de esfuerzos por efecto de fallas mayores preexistentes en el sustrato. Así, de acuerdo con los modelos de Simón *et al.* (1988), las trayectorias de σ_2 y σ_3 son desviadas por dichas fallas y tienden a hacerse perpendiculares o paralelas a las mismas. Si tenemos en cuenta que la existencia de una fracturación mayor ESE a SE parece algo consustancial a la estructuración de la Cuenca del Ebro y que, de hecho, en partes de las hojas vecinas de Castejón de Monegros, Peñalba, Gelsa y Bujaraloz se extiende un haz de fracturas en esa dirección, parece lógico pensar en el fenómeno de perturbación de los esfuerzos antes mencionado.

FRACTURAS CUATERNARIAS

En la mayor parte de los afloramientos estudiados en materiales cuaternarios éstos se hallan indeformados. Da la impresión de que una de las causas de esta ausencia de fracturas esté en el carácter completamente suelto de estas gravas, que les facilita la posibilidad de absorber cierto grado de deformación sin llegar a romperse. La prueba está en que muchas de las fracturas medidas en otros puntos lo han sido precisamente en niveles encostrados de esas mismas gravas o bien en lentejones de limos o arenas más cohesionadas.

En uno de ellos se han observado sistemas de fracturas, si bien carentes de desplazamiento. Los planos en su mayoría son subverticales. Las fracturas de esa estación se han representado en proyección estereográfica, en la que se observa que predominan las direcciones NE y N. Por otra parte, resulta difícil encontrar localidades donde el número de fracturas permita realizar un análisis riguroso, por lo que a partir de datos aislados de fracturación en materiales cuaternarios obtenidos en diferentes áreas se ha realizado un diagrama de rosa de orientaciones sintético. El resultado es la presencia de dos familias de fracturas, bien definidas, que se corresponden a la perfección con aquellas encontradas en los materiales terciarios (aproximadamente N y E). Acompañando a este

sistema, encontramos una familia de fracturas de orientación NE, similar al encontrado en la estación antes mencionada.

Cabe destacar la fractura de los cantes observada en los depósitos de una terraza alta del río Segre en la estación 13 en la que se habían medido fallas y diaclasas. Esta rotura de los cantes se relaciona con una falla normal de orientación 066, 53 S presente en los materiales carbonatados Oligocenos subyacentes, la falla al penetrar en los materiales cuaternarios se verticaliza y se abre. Allí, también aparece una fractura orientada 115, 80 N rellena de carbonatos.

Se puede atribuir al campo regional mencionado anteriormente aquellas fracturas de orientación subparalela al patrón de diaclasas en los materiales terciarios, esto es, las de dirección N. Esto corrobora que el estado de esfuerzos que generó ese patrón de diaclasas se ha mantenido hasta tiempos muy recientes, tal y como mencionábamos en el apartado de diaclasas. Del mismo modo que las microfallas fueron interpretadas como producto del campo perturbado, podemos pensar que las fracturas NE corresponden al mismo.

ANOMALIAS DE LA RED DE DRENAJE.

Aun cuando no representan signos evidentes de actividad neotectónica en el marco concreto de la hoja de Mequinenza, creemos conveniente hacer referencia a ciertos rasgos anómalos de la red de drenaje que sí parecen, en cambio, guardar relación con movimientos verticales recientes de alcance regional. Estos rasgos se localizan en el ámbito de la superficie estructural que ocupa la parte noroccidental de la hoja. Sobre su superficie aparece encajada una red de vales de fondo plano con relleno cuaternario uniformemente orientadas según la dirección E-W, que se conectan con el Ebro, que en este sector se presenta profundamente encajado, mediante bruscos giros en su trazado.

Este probable cambio de trazado de las vales de la plana durante el Cuaternario se habría producido como consecuencia de un basculamiento reciente del sector hacia el NW. Tal proceso pudo empezar con anterioridad, para prolongarse y culminar en el Cuaternario produciendo la anomalía morfológica descrita. El basculamiento sistemático hacia el NW observado en los materiales terciarios del mismo sector es coherente con tal hipótesis, y su causa última habría que buscarla en el movimiento de alguna falla o fallas normales subyacentes al Terciario (de dirección NE-SW, o quizás más próxima a E-W), a través de las cuales se produciría la articulación de la plana.

El reflejo deformacional de este proceso en los propios depósitos cuaternarios hay que reconocer, no obstante, que no es muy importante.

CONCLUSIONES.

Hacia el Mioceno superior-cuaternario se produjo en la región una tectónica de tipo distensivo que produjo un diaclasado bastante homogéneo, y débiles pero extensos basculamientos probablemente controlados por grandes fallas del subsuelo. El campo de esfuerzos sería una distensión tendente a radial con σ_3 próximo a E-W, lo que hace que se forme una familia principal de diaclasas en torno a N-S. El intercambio de σ_2 y σ_3 en la horizontal tras producirse dichas fracturas daría lugar a una familia secundaria en dirección E-W.

Las microfallas analizadas denotan la presencia de un campo perturbado probablemente por la actividad de las mismas fallas de sustrato que controlaron los basculamientos y los cambios de trazado de la red de drenaje, dando una dirección de extensión máxima en torno a SE a SSE.

Durante el cuaternario siguen produciéndose fracturas N-S y E-W, y también NE y SE, que muestran una coherencia bastante aceptable con el campo de esfuerzos reciente inferido de la fracturación que afecta al oligoceno.

AGRADECIMIENTOS

Queremos expresar nuestra gratitud al Dr. Simón Gómez por la ayuda prestada en la orientación general de este trabajo y en la discusión de las interpretaciones realizadas.

BIBLIOGRAFIA.

- ANGELIER, J. y MECHLER, P. (1977): Sur une méthode graphique de recherche de contraintes principales également utilisable en tectonique et en séismologie: la méthode des dièdres droits. *Bull. Soc. Geol. France*, **19** (6): 1309-1318.
- ARLEGUI, L.E., and HANCOCK, P.L. (1991): Interpreting joint systems from their architecture: examples from the Ebro Basin, Spain. *22nd Annual Meeting of the Tectonic Studies Group*. 16th-18th December, 1991. Edinburgh.
- CASAS SAINZ, A. M.; GIL PEÑA, I. y SIMON GOMEZ, J. L. (1990): Los métodos de análisis de paleoesfuerzos a partir del análisis de poblaciones de fallas: sistemática y técnicas de aplicación. *Estudios Geol.*, **42**: 27-136.
- ETCHECOPAR, A.; VASSEUR, G. y DAIGNIERES, M. (1981): An inverse problem in microtectonics for the determination of stress tensors from fault population analysis. *Journal of Structural Geology*, **3** (1): 51-65.
- HANCOCK, P. L. (1985): Brittle microtectonics: principles and practice. *Journ. Struct. Geol.*, **7** (3/4), pp. 437-457.
- HANCOCK, P.L. (1987): Joint sets and spectra as stress indicators in Paleostress and fault systems. *Prog. & Abstracts, Congr. Swansea*, 1987.
- HANCOCK, P.L. (1991) Determining contemporary stress directions from neotectonic joint systems. *Phil. Trans. Roy. Soc. London, A*, **337**: 29-40.
- HANCOCK, P. L., y ENGELDER, T. (1989): Neotectonic Joints. *Geological Society of America Bulletin*, **101**: 1197-1208.

- QUIRANTES PUERTAS, J. (1.978): *Estudio sedimentológico y estratigráfico del Terciario Continental de los Monegros*. Tesis Doct. Publicación 681 de la Institución Fernando el Católico (CSIC) de la Diputación de Zaragoza. 207 pp.
- SIMON GOMEZ, J.L. (1986): Analysis of a gradual change in stress regime (example from the eastern Iberian Chain, Spain). *Tectonophysics*, **124**: 37-53.
- SIMON GOMEZ J.L. (1989): Late Cenozoic stress field and fracturing in the Iberian Chain and Ebro Basin. *Journal of Structural Geology*., **11** (3): 285-294.
- SIMON, J.L.; SERON, F.J. y CASAS, A.M. (1988): Stress deviation and fracture development under multidirectional extension regime. Mathematical and experimental approach with field examples. *Annales Tectonicae*, **2** (1): 21-32.
- WISE, D.U. y MCCRORY, T.A.; (1982). A new method of fracture analysis: Azimuth versus traverse distance plots. *Geological Society of America Bulletin*, **93**: 889-897.

ANEXO

METODOLOGIA Y RESULTADOS DEL ANALISIS DE ESTRUCTURAS FRAGILES A ESCALA DE AFLORAMIENTO.

1. Histogramas de las poblaciones de diaclasas medidas en las estaciones estudiadas en materiales cuaternarios y oligocenos:

Para cada cada histograma se han empleado los datos suficientes para garantizar que la muestra es representativa desde el punto de vista estadístico. El elegir este proceso de elaboración de los mismos responde a dos circunstancias:

(1) El número de datos tratados garantiza que el uso de una metodología estadística va a proporcionar resultados significativos.

(2) El proceso de suavizamiento, descrito a continuación, tiene como objeto el eliminar el "ruido" introducido por la toma de datos y por el carácter parcialmente estocástico de la fracturación natural.

Este procedimiento consiste en:

(i) División de las posibles orientaciones (000-179) en clases (en nuestro caso hemos tomado clases de 2° de amplitud).

(ii) Conteo del número de mediciones asignables a cada clase, siguiendo el criterio de asignar a cada clase las medidas que se situaban en una ventana de 14° en torno al centro de la misma. Este paso es lo que se suele denominar como "primer suavizamiento". La repetición del proceso es aconsejable (WISE & MCCRORY, 1982), por lo que se decidió llevarla a cabo de nuevo con una ventana de 14°.

(iii) Aplicación de la fórmula de corrección. Esta fórmula permite comparar los resultados obtenidos en estaciones de las que se tuvieran diferente número de medidas. La mencionada fórmula es:

$$F = \frac{180 \times N}{T \times 14}$$

donde:

N es el número de medidas leidas en cada ventana de conteo

T es el número de medidas en esa estación

(iv) Representar cada clase con su F correspondiente.

2. Resultados del análisis de paleoesfuerzos a partir de poblaciones de fallas (estaciones 11, 33 y 34):

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

(b) Diagrama de diedros rectos (Angelier y Mechler, 1977). Los números que aparecen en el estereograma, multiplicados por 10, indican el porcentaje del total de fallas compatible con un eje de extensión según cada dirección del especio. El máximo indica la posición más probable del eje s_3 y el mínimo la de s_1 .

(c) Diagrama y-R (Simón Gómez, 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):

$$\tan \theta = (n/lm) [m^2 - (1-n^2)(\sigma_z - \sigma_x)/(\sigma_y - \sigma_x)]$$

donde θ es el cabeceo de la estría 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 σ_y σ_x son los ejes horizontales. El valor de y representa el acimut del eje σ_y .

(d) Extracto de resultados del método de Etchecopar *et al.* (1981). Se incluyen:

* Listado de fallas.

* 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 estrías 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 $\sigma_z = \sigma_1$ (régimen de distensión): $R_B = 1 / R_E$.

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

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

* Representación de Mohr de los planos de falla en relación a los ejes de esfuerzo obtenidos.

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

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



1. Basculamiento de la serie oligocena hacia el NW en las proximidades de Mequinenza (Coordenadas UTM 31TBF740838). Sección WNW-ESE.



2. Basculamiento de la serie oligocena y de una terraza del Cinca (¿?) al W de Torrente de Cinca (Coordenadas UTM 31TBF733943). Basculado hacia el NW.



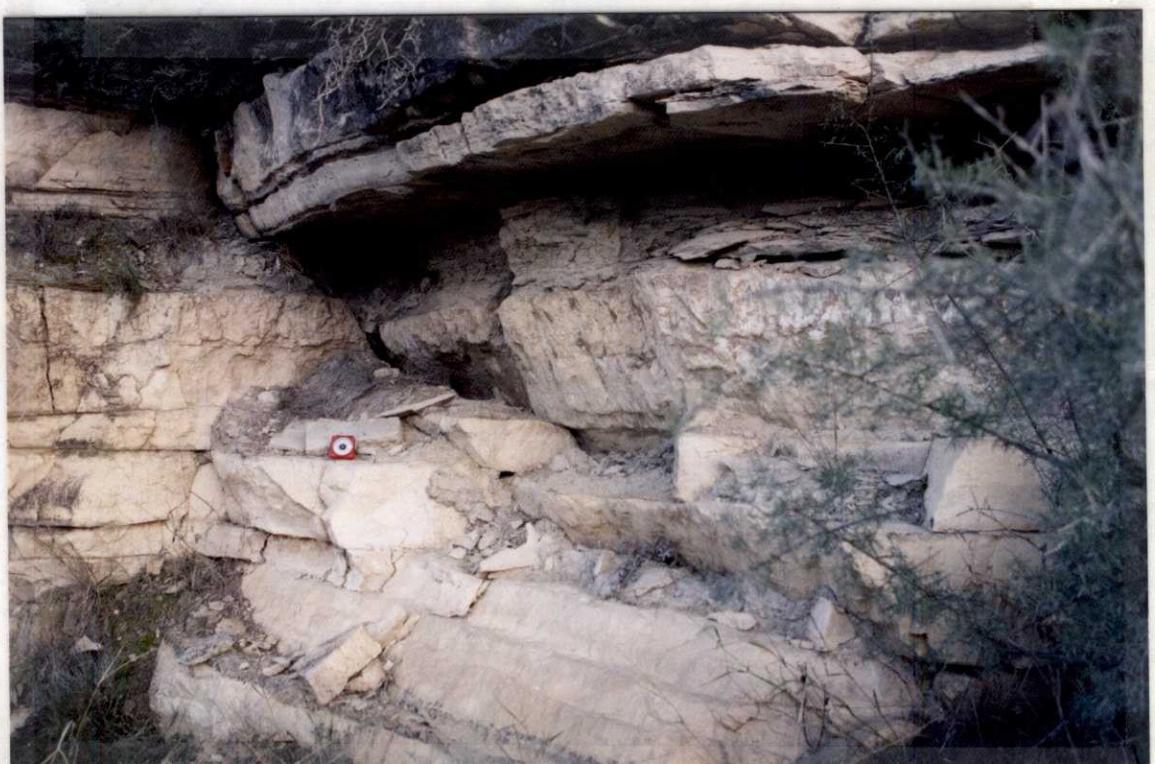
3. Diaclasas sistemáticas en modelo arquitectónico en "H" de la estación Mequinenza-4. (UTM: 31TBF698810).



4. Diaclasa con escalonado sinestral de la estación Mequinenza-13. (UTM: 31TBF836919). Foto de José Luis Simón.



5. Diaclasa con escalonado sinestral de la estación Mequinenza-15. (UTM: 31TBF742943).



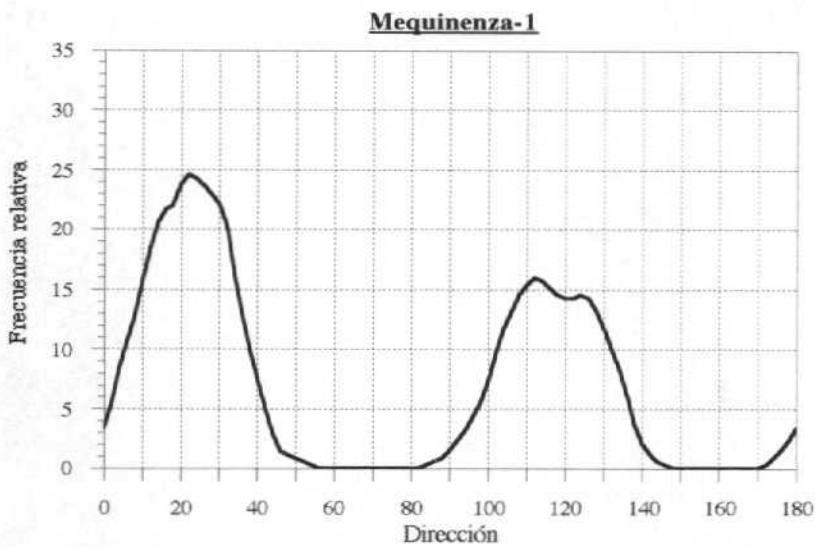
6. Fallas normales de la estación Mequinenza-13. (UTM: 31TBF836919).



7. Falla de escala decamétrica en las proximidades de Mequinenza (UTM: 31TBF755843).



8. Complicaciones en el núcleo del anticinal a modo de fallas inversas por efecto de acomodación debida a la falla mayor mostrada en la foto 7.

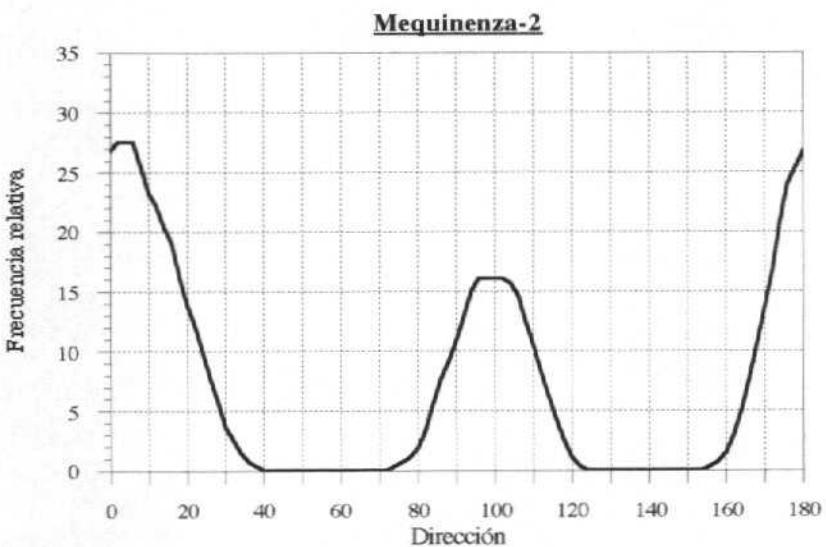


Estación Mequinenza-1.

Localizada en el punto de coordenadas 31TBF782909. La litología es caliza. Las relaciones de corte indican que la familia de dirección media 115 es posterior a la otra. En el campo se observó la presencia de diaclasas con escalonados de carácter dextral (020, 032) que sugieren que estas diaclasas dependen más del campo perturbado que del regional. Dado que no se encontraron diaclasas con escalonados sinestrales, no se puede saber la dirección de esfuerzo máximo horizontal que generó esta familia.

También se observaron planos con marcas plumosas de tipo *herringbone* de eje horizontal (015, 016, 017, 022).

Las curvas de las dos familias presentes en este afloramiento son de baja sistematicidad, no presentando un pico claro.



Estación Mequinenza-2.

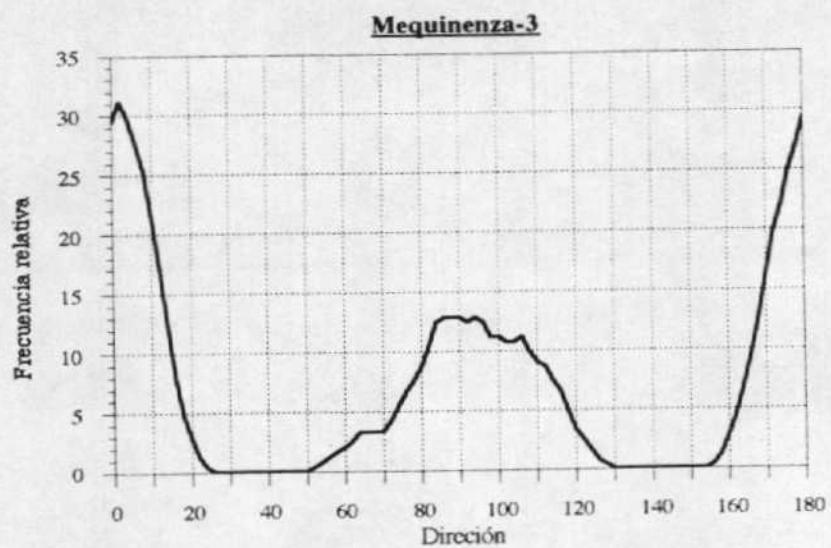
Localizada en el punto de coordenadas UTM 31TBF738833. En esta estación la serie está basculada 8° al NW. Se detectó la presencia de Joint-spectra cuyo eje de simetría se sitúa en dirección magnética 006. La familia de dirección N es anterior a la de dirección aproximada E, dadas las relaciones de corte. No se observaron características de superficie en las diaclasas.

Se encontraron tres fallas normales:

060/62S/83W

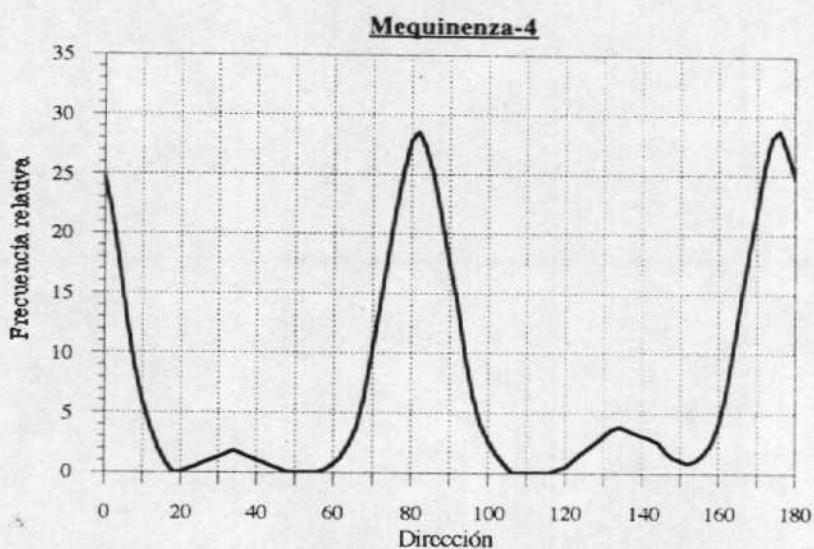
078/52N/85W

031/72W/73S



Estación Mequinenza-3.

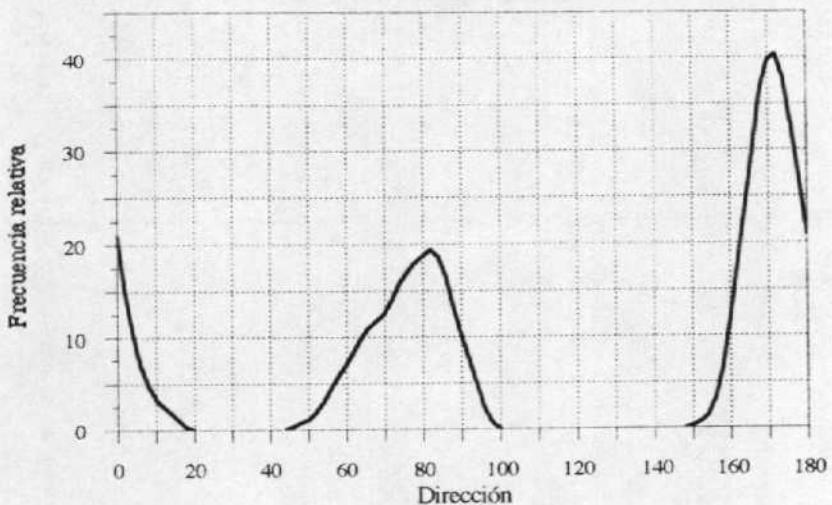
Localizada en el punto de coordenadas UTM 31TBF655799. Se observa la presencia de dos familias diaclasas, una centrada en la dirección 002 y la otra subperpendicular, pero de muy baja sistematicidad. La de dirección N es anterior a la E.



Estación Mequinenza-4.

Localizada en el punto de coordenadas UTM 31TBF698810. Aparecen dos familias de diaclasas de alta sistematicidad, una en dirección 175, que es la familia primaria y otra en dirección 083, que es secundaria. Ver foto.

Mequinenza-5

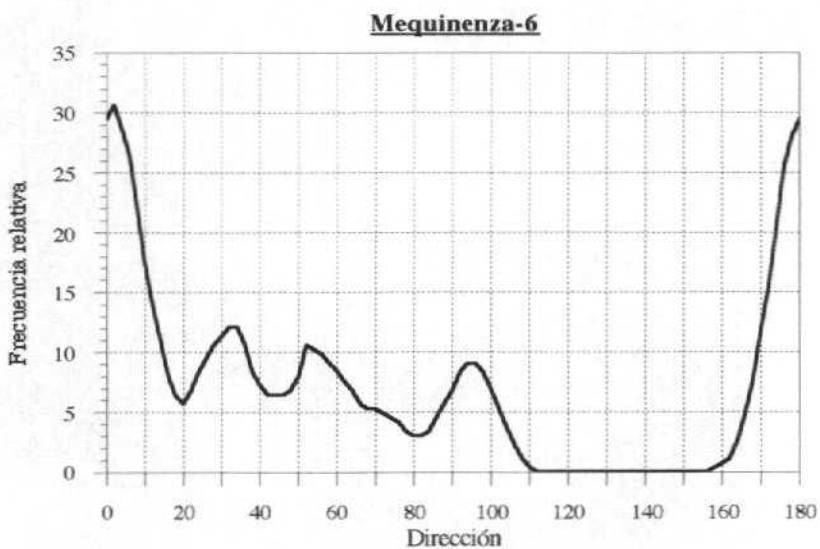


Estación Mequinenza-5.

Localizada en el punto de coordenadas UTM 31TBF767866. En esta zona hay un pequeño anticlinal en cuyo flanco N la estratificación es 139/32NE y en el sur es 152/31SW.

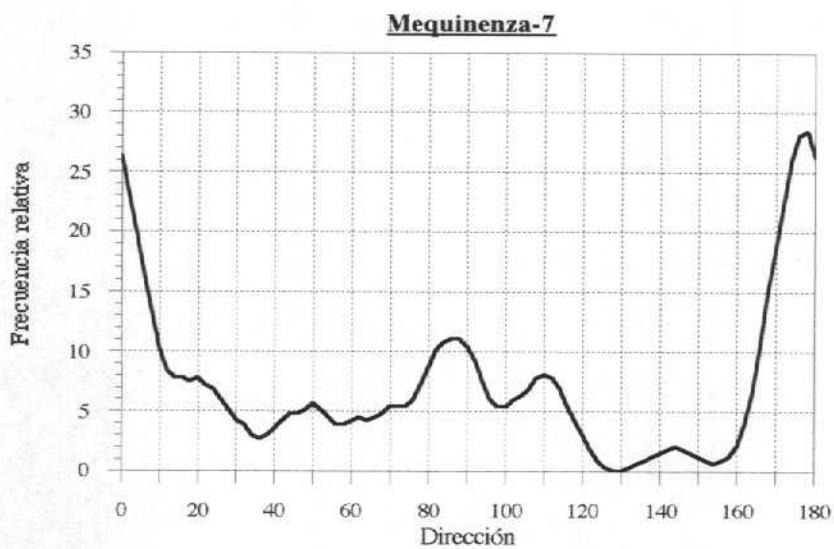
Aparecen dos familias, una de alta sistematicidad centrada en la dirección 168 y otra de baja sistematicidad (*cross-joints*)

Las diaclasas de la familia N son anteriores a las otras según se deduce de las relaciones de corte.



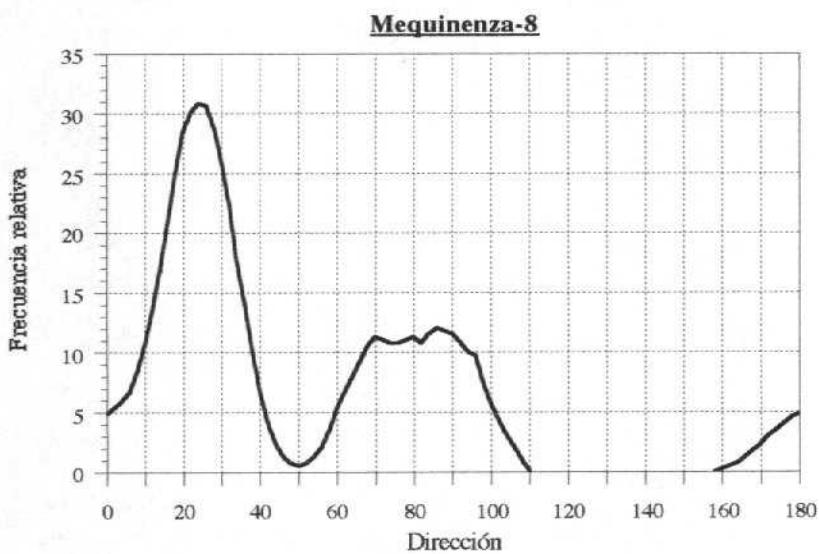
Estación Mequinenza-6.

Localizada en el punto de coordenadas UTM 31TBF809813. En el histograma aparecen cuatro familias de diaclasas, de las que solo una tiene alta sistematicidad, la de dirección media 003. En esta estación se observó también una falla normal de orientación 150/47W/89W que parece ser posterior a las diaclasas. Algunos planos exhiben marcas plumosas (003, 007)



Estación Mequinenza-7.

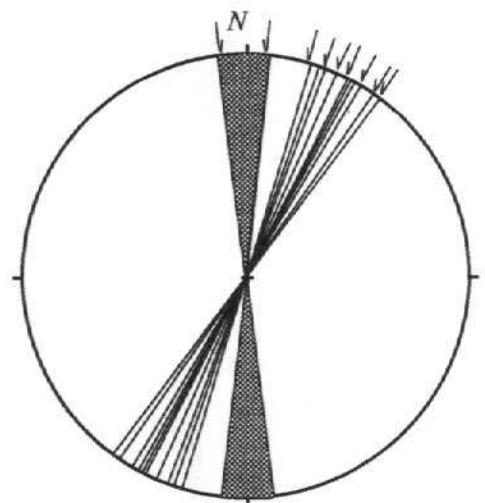
Localizada en el punto de coordenadas UTM 31TBF756859. Se aprecia una familia de alta sistematicidad centrada en la dirección 175, que a menudo presenta planos adornados por marcas plumosas de tipo *herringbone* de eje horizontal.(000, 004, 016, 021, 024, 169, 176, 178, 179). Esta familia resulta ser anterior a la de diaclasas de baja sistematicidad, aproximadamente perpendicular a ella.



Estación Mequinenza-8.

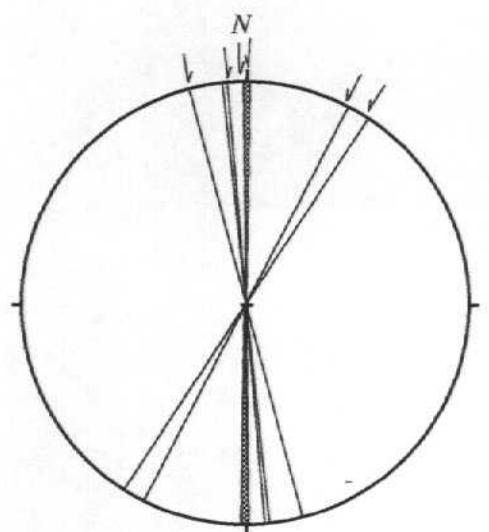
Localizada en el punto de coordenadas UTM 31TBF871961. Presenta una familia de diaclasas de orientación media 025. Se trata de diaclasas híbridas de cizalla según se desprende de la presencia de escalonados en numerosos representantes de la misma. El eje de esfuerzos deducido de los mismos no coincide con el pico de orientación, estando centrado en el norte, entre 173 y 006, como se puede apreciar en el estereograma. La familia de diaclasas perpendiculares es de baja sistematicidad y posterior a las NNE.

Estación Mq.-8

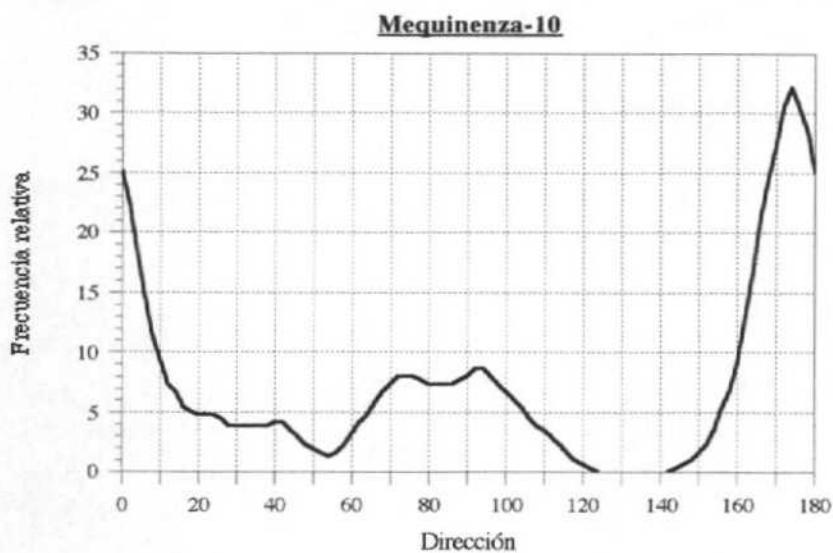


Aplicación del criterio del diedro mínimo a diaclasas con escalonado de la estación Mq.-8. El área punteada es el diedro solución para el esfuerzo máximo horizontal.

Estación Mq.-9

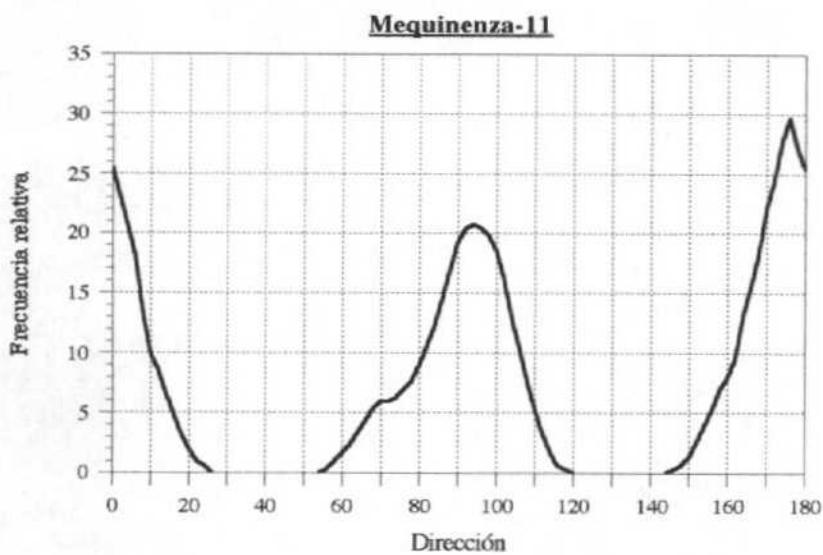


Aplicación del criterio del diedro mínimo a diaclasas con escalonado de la estación Mq.-9. El área punteada es el diedro solución para el esfuerzo máximo horizontal.



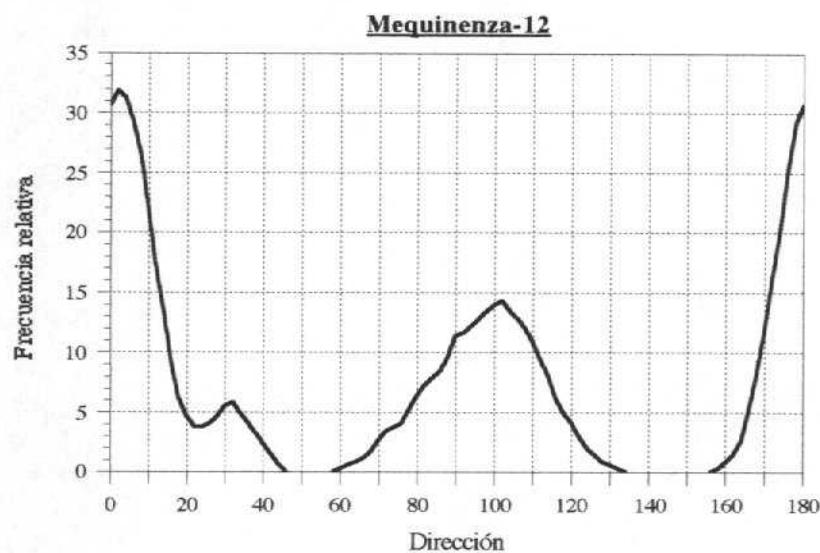
Estación Mequinenza-10.

Localizada en el punto de coordenadas UTM 31TBF877857, en una capa de microconglomerado o arenisca gruesa. La familia NNW (175 como media) se presenta con una gran sistematicidad, al contrario que las diaclasas E-W. También se midieron 18 microfallas normales que fueron analizadas tal y como se describe en el correspondiente apartado.



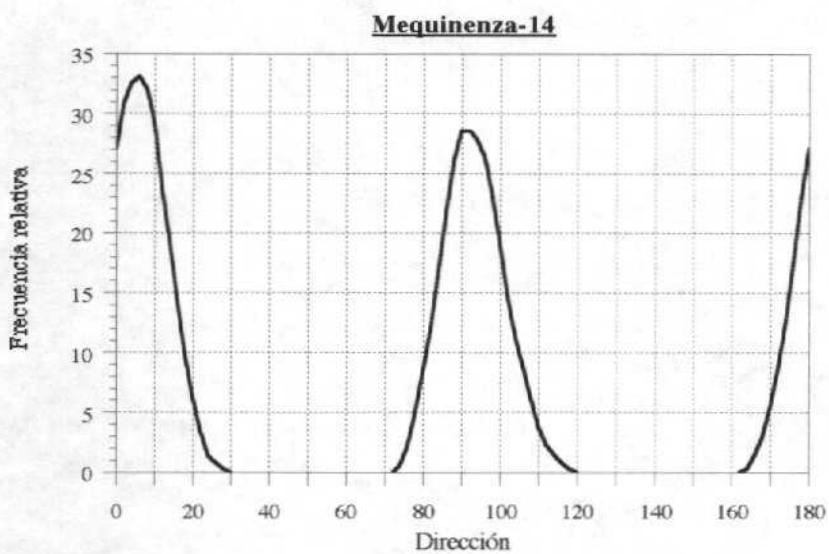
Estación Mequinenza-11.

Localizada en el punto de coordenadas UTM 31TBF855845. Las dos familias de diaclasas presentes en este afloramiento poseen una sistematicidad considerable, siendo mayor la de la familia NNW (175 como dirección media), que es la primera que se formó.



Estación Mequinenza-12.

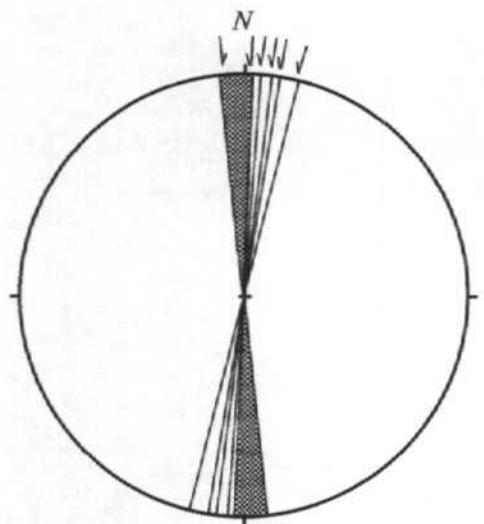
Localizada en el punto de coordenadas UTM 31TBF848924. La familia N-S (002 como dirección media) posee una sistematicidad muy alta. La familia E-W también presenta, siguiendo la tónica general, menor sistematicidad y es posterior a la N-S.



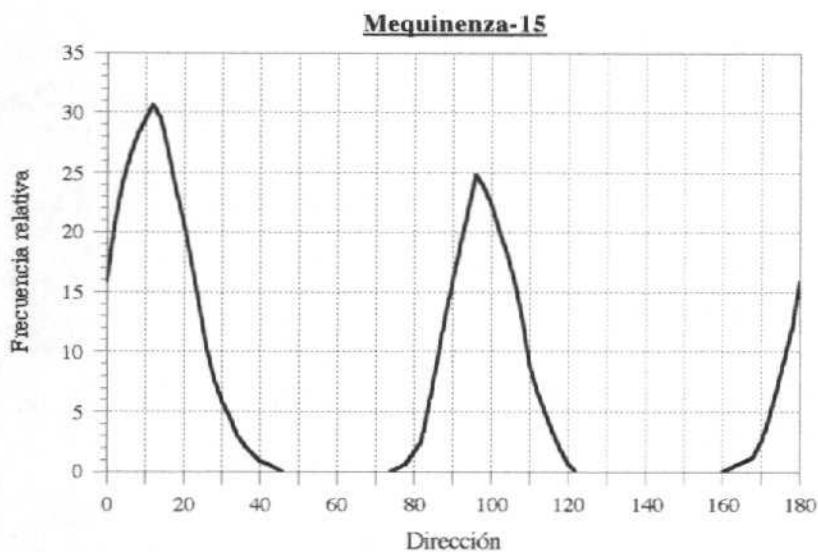
Estación Mequinenza-14.

Localizada en el punto de coordenadas UTM 31TBF768967. Aparecen dos familias de alta sistematicidad, de las que la de orientación NNE (008 de media) es anterior. Esta familia exhibe varios planos con escalonados, que han permitido su análisis por el método del diedro mínimo, dando una dirección de compresión entre 176 y 002. De nuevo, no coincide con el máximo de orientación de esta familia de diaclasas.

Tambien se observaron seis fallas normales de pequeño desplazamiento, aparentemente posteriores a las diaclasas.



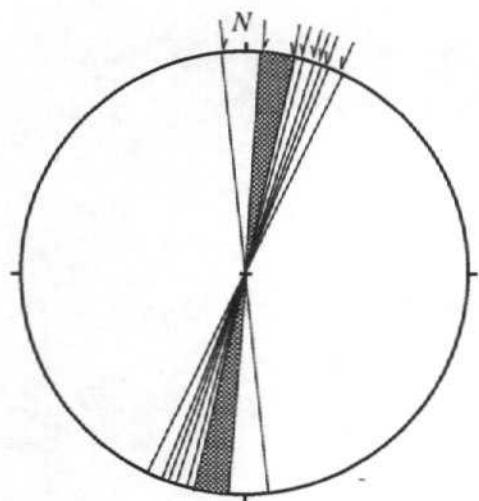
Aplicación del criterio del diedro mínimo a diaclasas con escalonado de la estación Mq.-14. El área punteada es el diedro solución para el esfuerzo máximo horizontal.



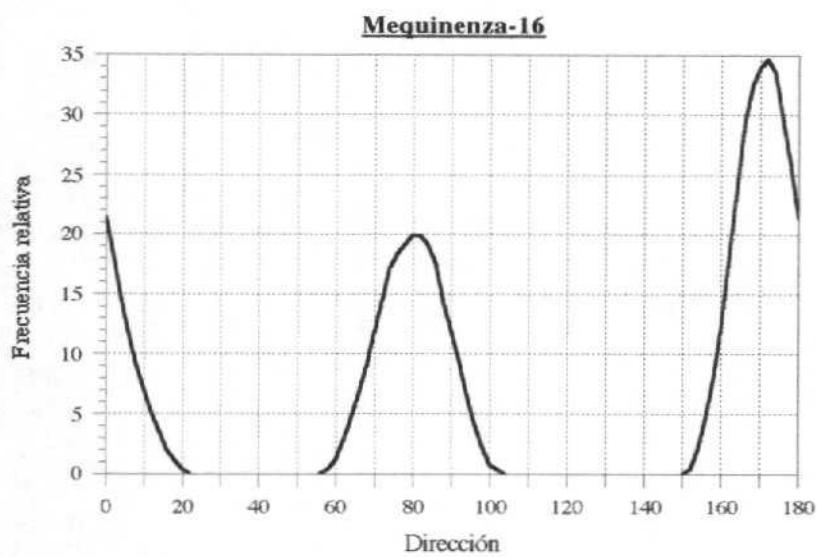
Estación Mequinenza-15.

Localizada en el punto de coordenadas UTM 31TBF742943. Aparecen dos familias de alta sistematicidad, de las que la de orientación NNE (012 de media) es anterior. Esta familia exhibe varios planos con escalonados, que han permitido su análisis por el método del diedro mínimo, dando una dirección de compresión entre 004 y 013. De nuevo, no coincide con el máximo de orientación de esta familia de diaclasas. También se observó una marca plumosa de tipo *herringbone* de eje horizontal.

Estación Mq-15

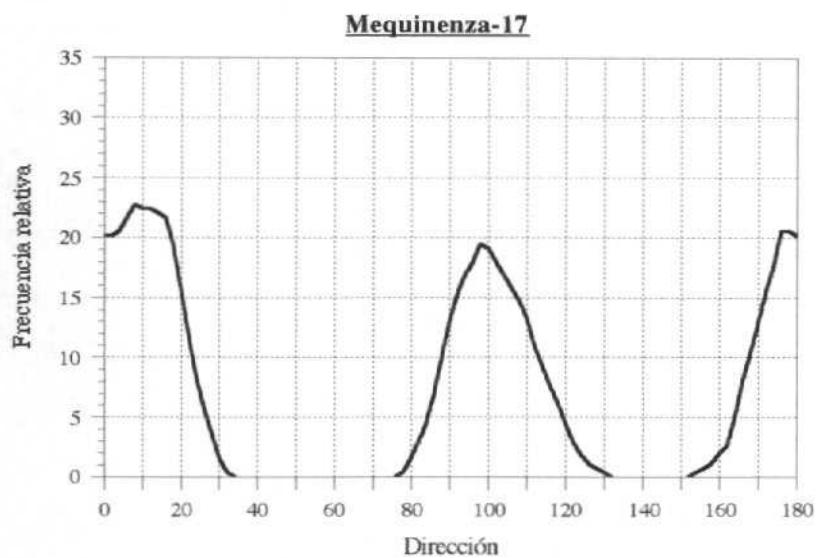


Aplicación del criterio del diedro mínimo a diaclasas con escalonados de la estación Mq.-15. El área punteada es el diedro solución para el esfuerzo máximo horizontal.



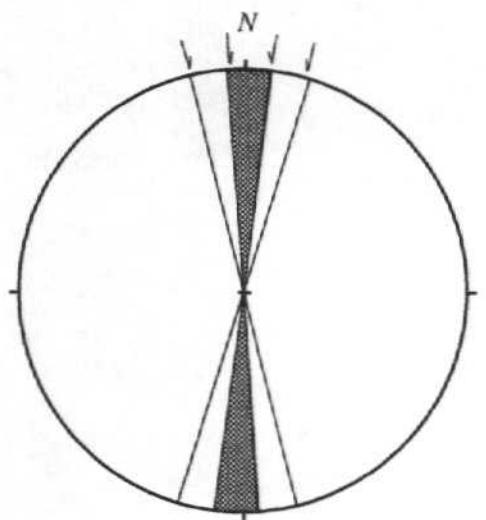
Estación Mequinenza-16.

Localizada en el punto de coordenadas UTM 31TBF671964. Aparecen dos familias de alta sistematicidad de las que la de orientación media 172 es anterior a la 080.

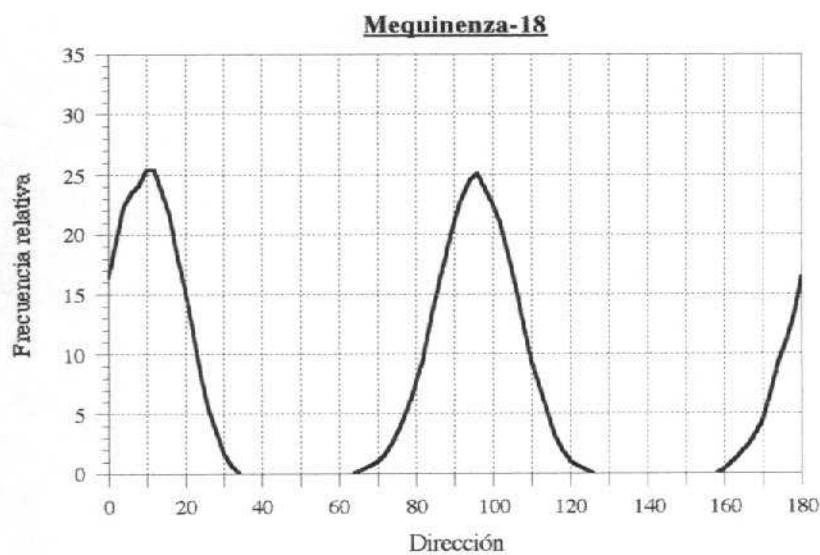


Estación Mequinenza-17.

Localizada en el punto de coordenadas UTM 31TBF668926. Las dos familias presentes son de sistematicidad media. La primaria, de dirección media 008, presenta dos picos de orientación. También exhibe planos con escalonados que nos dan una dirección de compresión entre 176 y 007, quizás correspondiendo a los picos mencionados. La familia secundaria está centrada en la dirección 097.

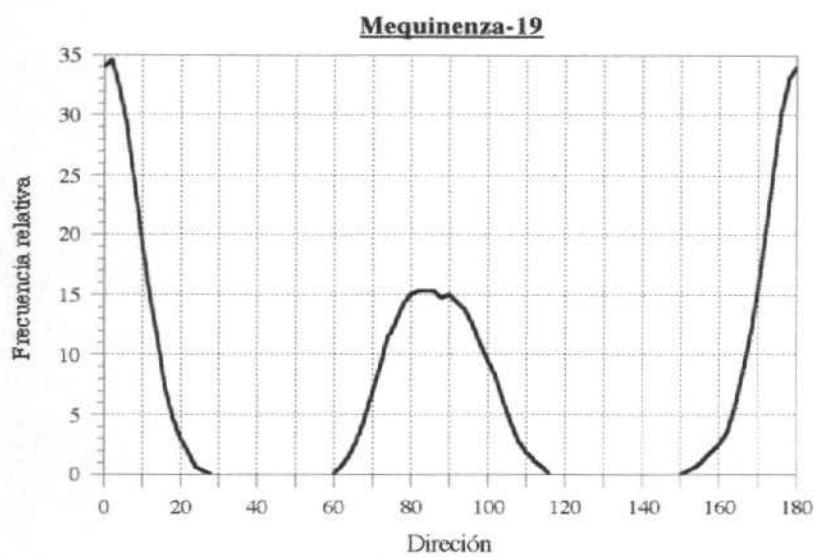


Aplicación del criterio del diedro mínimo a diaclasas con alonado de la estación Mq.-14. El área punteada es el diedro solución para el esfuerzo máximo horizontal.



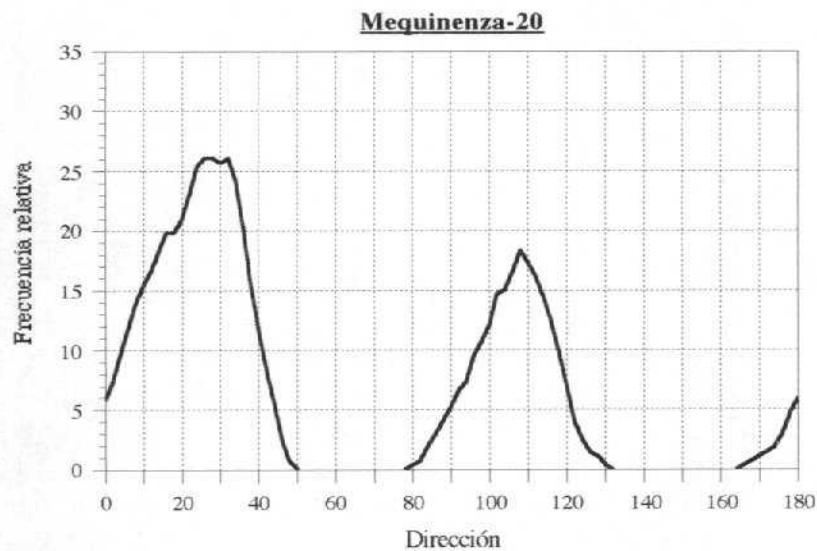
Estación Mequinenza-18.

Localizada en el punto de coordenadas UTM 31TBF618853. En este afloramiento las dos familias de diaclasas presentan una sistematicidad muy similar, si bien la de dirección media 095 es posterior a la situada en torno a 010.



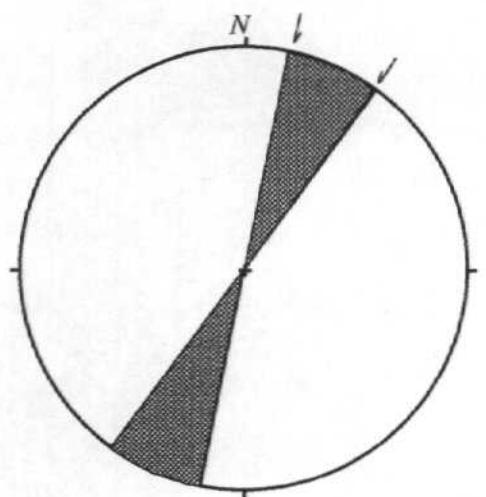
Estación Mequinenza-19.

Localizada en el punto de coordenadas UTM 31TBF652818. La familia de diaclasas situadas en torno a la dirección 002 presenta una sistematicidad muy alta y es previa a la centrada en la dirección 087.



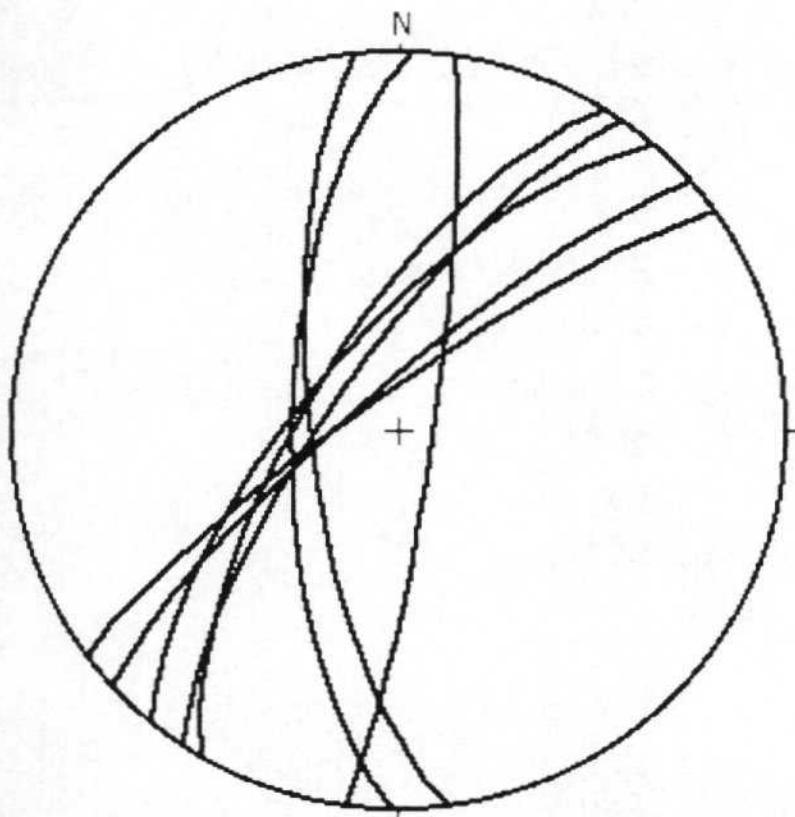
Estación Mequinenza-20.

Localizada en el punto de coordenadas UTM 31TBF755908. La familia primaria se sitúa en esta estación en torno a la dirección 030, presenta escalonados en algunos de sus planos, que dan una dirección de compresión entre 011 y 036. La familia E-W se encuentra centrada en 108.



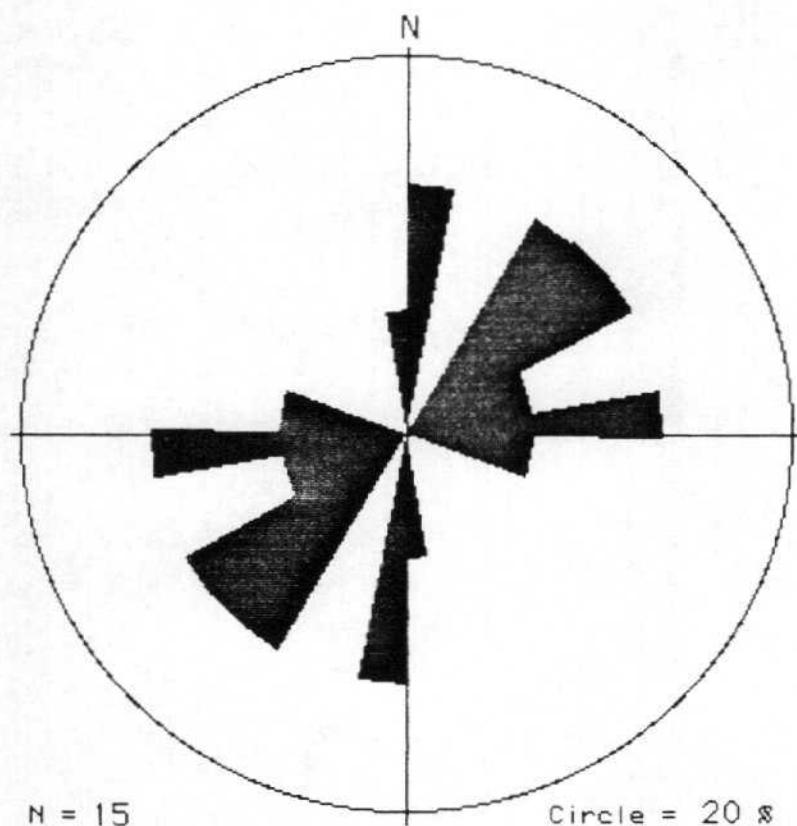
Aplicación del criterio del diedro mínimo a diaclasas con calonado de la estación Mq.-20. El área punteada es el diedro solución para el esfuerzo máximo horizontal.

ESTACION MEQUINENZA B



Proyección estereográfica de las fracturas desarrolladas sobre materiales cuaternarios de la estación Mequinenza B (coordenadas UTM: 31TBF821901).

MEQUINENZA A+B+Meq-13+C

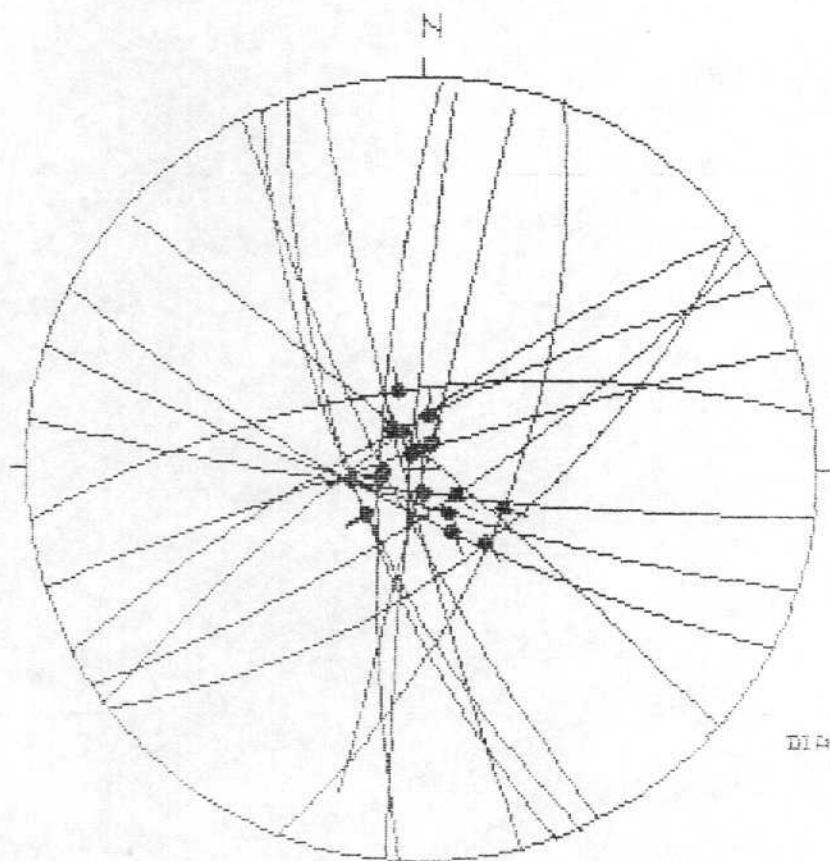


Rosa de fracturas desarrolladas en materiales cuaternarios en la Hoja de Mequinenza (415). Se consideran aquellas fracturas observadas en los puntos A (coordenadas UTM: 31EBF784896), B (ver estación Mequinenza B), en la estación Mequinenza 13, y dos medidas tomadas en las proximidades de la estación Mequinenza 12 (C).

N, representa el número de fracturas medidas.
El círculo representa el 20%.

Geología Estructural
Univ. de Zaragoza

ESTACION: MEQUINENZA 10



HOJA No.: 415

COORDENADAS UTM:
31TBF677657

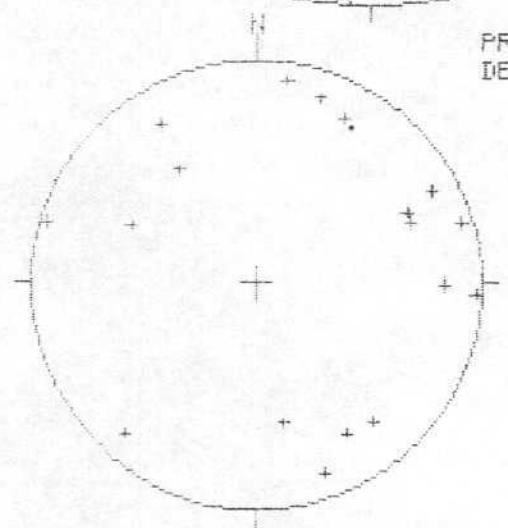
Sol: HORIZONT

EDAD/FACIES OLIG

NÚMERO DE DATOS: 19

DIAGRAMA EN ROSA DE LOS VIENTOS
DE DIRECCIONES DE FALLA

PROYECCION
DE POLOS

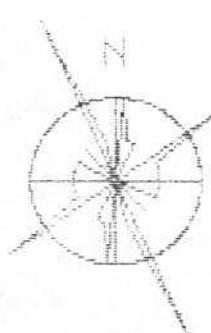


• POLOS DE FALLAS SINISTRALES

• POLOS DE FALLAS HORALES

• POLOS DE FALLAS DEXTRAS

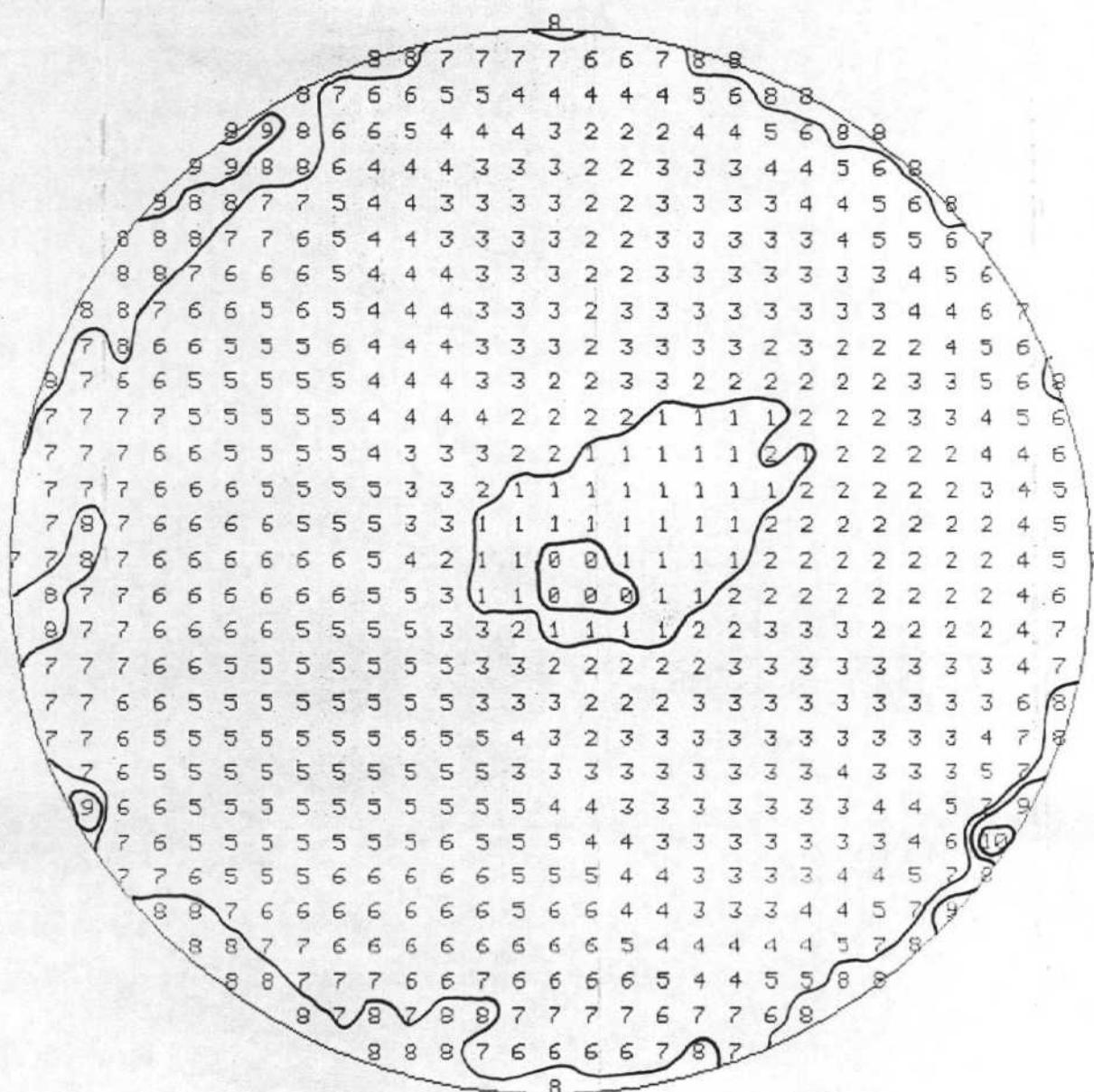
• POLOS DE FALLAS INVERSALES



RADIO DE LA CIRCUNFERENCIA: 185

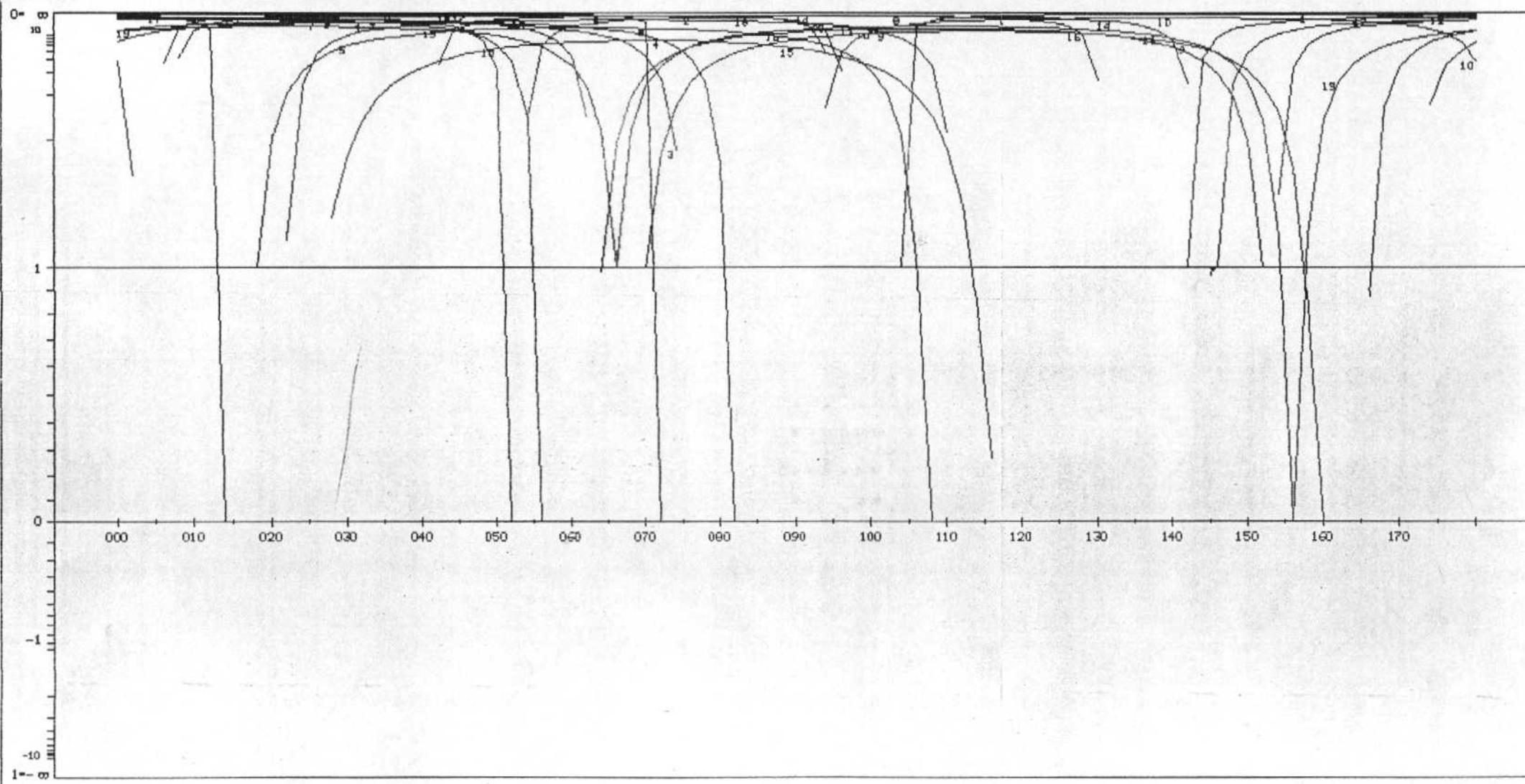
METODO DE LOS DIEDROS RECTOS

ESTACION : MEQUINENZA 10



MÉTODO DE LOS DIAGRAMAS YR

ESTACION: MEQUINENZA 10/ SIN ABATIR
GEOLOGIA ESTRUCTURAL. Universidad de Zaragoza



MEQUINENZA 10

14	89	E	82	N	0	N	101
5	87	W	86	N	0	N	102
165	85	W	77	N	0	N	103
82	67	N	87	W	0	N	104
108	80	S	79	E	0	N	105
153	80	S	86	N	0	N	106
56	78	S	86	N	0	N	107
131	86	N	86	N	0	N	108
160	70	W	83	S	0	N	109
3	78	W	87	S	0	N	110
156	70	S	85	E	0	N	111
52	62	S	89	N	0	N	112
21	64	E	88	S	0	N	113
53	78	N	88	N	0	N	114
117	77	S	74	E	0	N	115
62	77	N	81	E	0	N	116
72	85	N	89	W	0	N	117
97	83	S	88	E	0	N	118
156	70	W	85	W	0	N	119
450	0		0		0		0

*****DERUT DE LA TROISIEME ETAP

REGRESSION MOINDRE CARR SUR LES 17PLUS FAIBLES ECARTS

ECART MOYEN EN DEGRES 5.54943

COMP NO 1 ERR SUR DIREC 139.3 ERR SUR PEND 7.4
 COMP NO 2 ERR SUR DIREC 43.6 ERR SUR PEND 6.9
 COMP NO 3 ERR SUR DIREC 43.4 ERR SUR PEND 6.4

ERREUR SUR R 0.41E-01

MEQUINENZA 10

NO	TENSEUR EN X Y Z	DANS LES AXES PRINCIPAUX	*****
SIGMA(1)=	0.65978	DIRECTION 88.5	PENDAGE 87.5
SIGMA(2)=	-0.31956	DIRECTION 231.2	PENDAGE 2.0
SIGMA(3)=	-0.34022	DIRECTION 321.2	PENDAGE 1.5

RAPPORT R = 0.02

LA FONCTION A MINIM EST EGALE A: 0.1218 POUR LES 17 PREMIERES D
 ET A 8.4660 POUR L ENSEMBLE DU PAGUET

REPRESENTATION SUR CERCLE DE MOHR

D.

E.

F.

MK.

A.

G

EL.

J.

B.

C

LE CARACTERE A CORRESPOND AUX DONNEES 114
LE CARACTERE B CORRESPOND AUX DONNEES 117 102
LE CARACTERE C CORRESPOND AUX DONNEES 108
LE CARACTERE D CORRESPOND AUX DONNEES 112
LE CARACTERE E CORRESPOND AUX DONNEES 107
LE CARACTERE F CORRESPOND AUX DONNEES 113
LE CARACTERE G CORRESPOND AUX DONNEES 106
LE CARACTERE H CORRESPOND AUX DONNEES 104
LE CARACTERE I CORRESPOND AUX DONNEES 111 119 109
LE CARACTERE J CORRESPOND AUX DONNEES 118 103
LE CARACTERE K CORRESPOND AUX DONNEES 110
E CARACTERE L CORRESPOND AUX DONNEES 105
E CARACTERE M CORRESPOND AUX DONNEES 116

***** FIN DE L ETAPR NO 3

MEQUINENZA 10

GAMME	NBRE	INDICE DES VALEURS DANS CETTE GAMME
1 0.0 0.1	14	114 117 108 112 107 113 102 106 104 111 118 119 110 105
2 0.1 0.2	17	109 116 103
3 0.2 0.3	18	115
4 0.3 0.4	18	
5 0.4 0.5	18	
6 0.5 0.6	18	
7 0.6 0.7	18	
8 0.7 0.8	18	
9 0.8 0.9	18	
10 0.9 1.0	18	
11 1.0 1.2	18	
12 1.2 1.4	18	
13 1.4 1.6	18	
14 1.6 1.8	18	
15 1.8 2.0	18	
16 2.0 2.2	18	
17 2.2 2.4	18	
18 2.4 2.6	18	
19 2.6 2.8	18	
20 2.8 3.0	19	101

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

MEQUINENZA 10

-3

2.

1
+

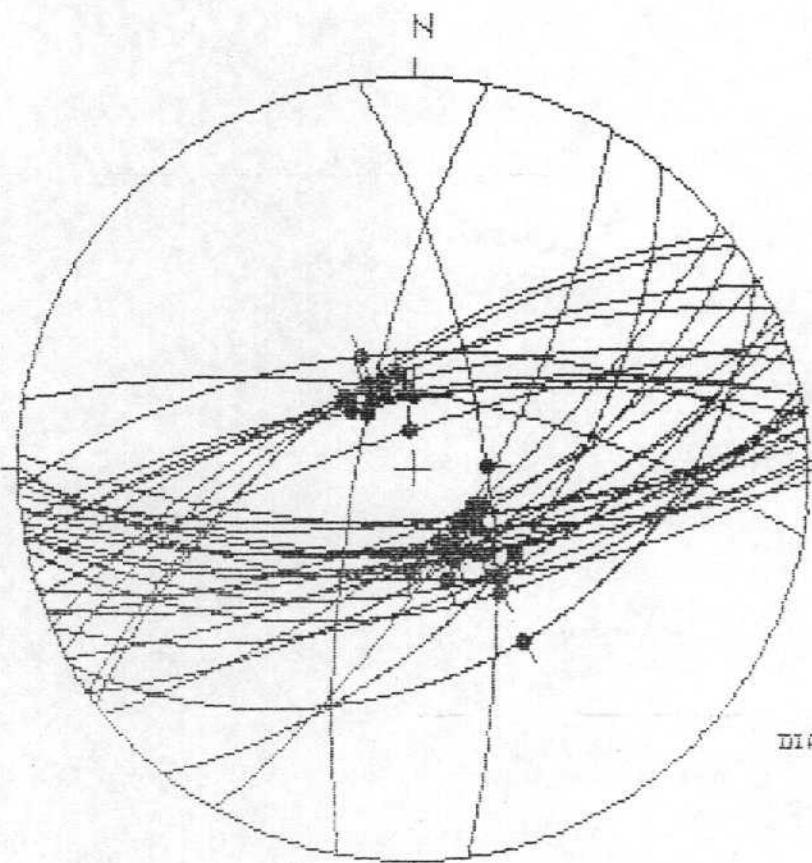
11+

2

33.

Geología Estructural
Univ. de Zaragoza

ESTACION: MEQUINENZA 13



HOJA Nro.: 415

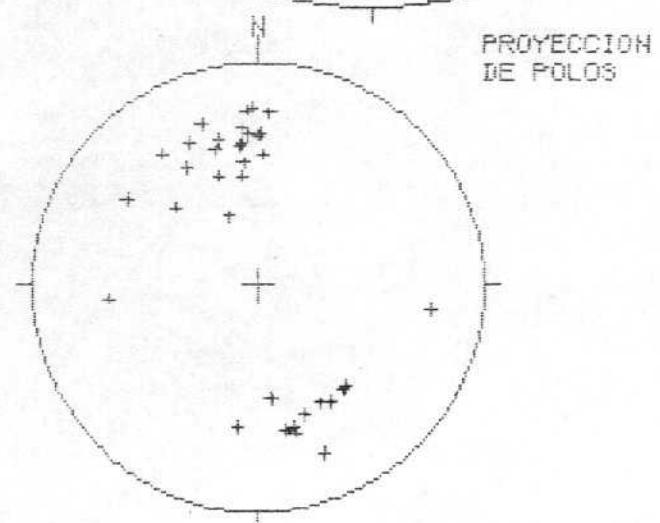
COORDENADAS UTM:

31TBF837919

Sol: HORIZONTAL

EDAD/FACIES: CALIZ

NÚMERO DE DATOS: 36

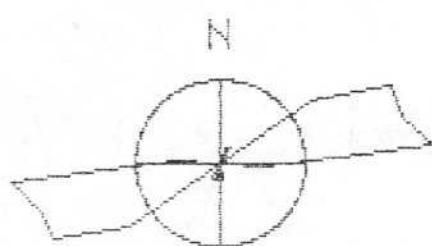


•: POLOS DE FALLAS SINESTRALES

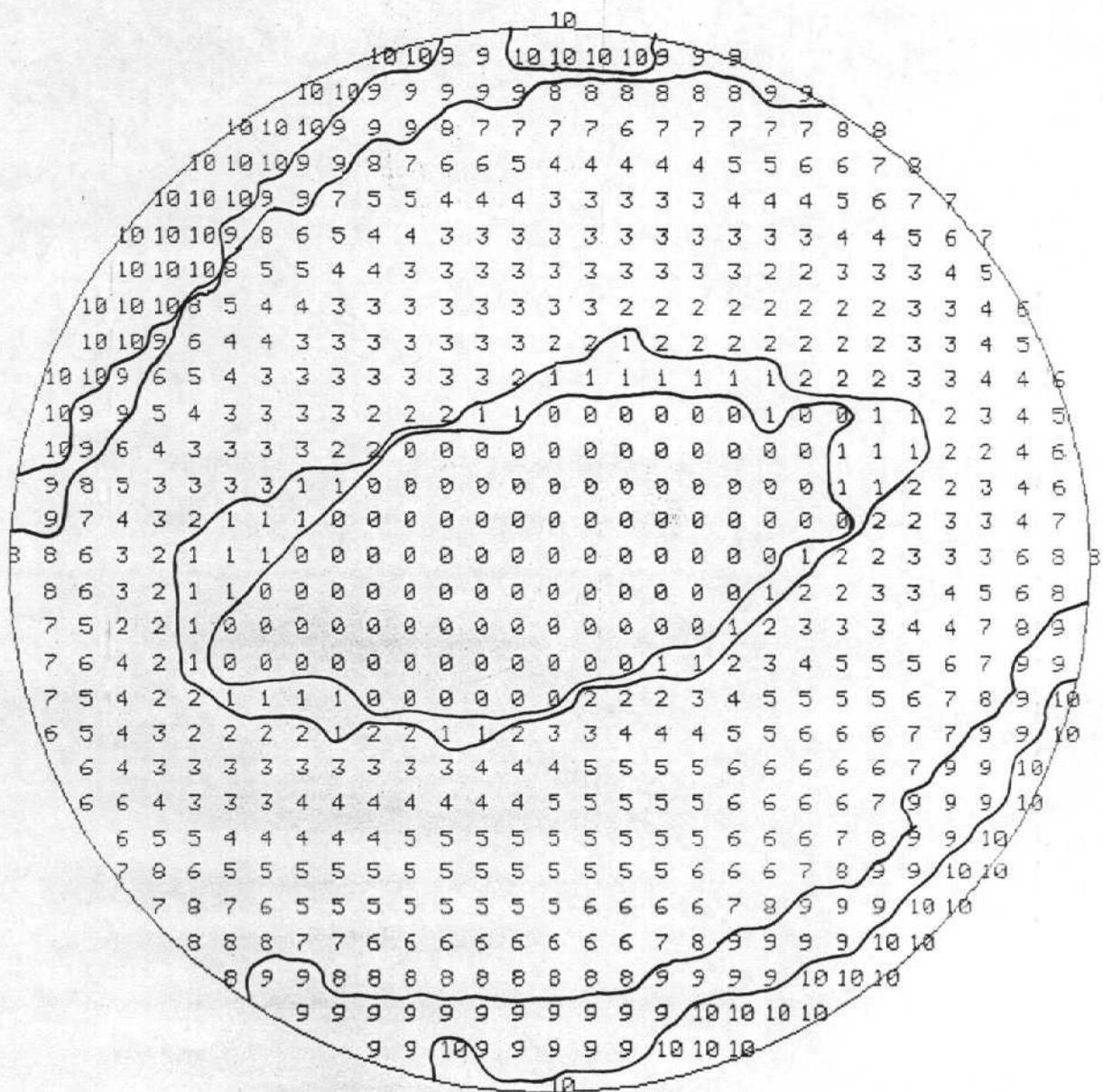
+: POLOS DE FALLAS NORRALES

*: POLOS DE FALLAS DEXTRALES

-: POLOS DE FALLAS INVERSALES

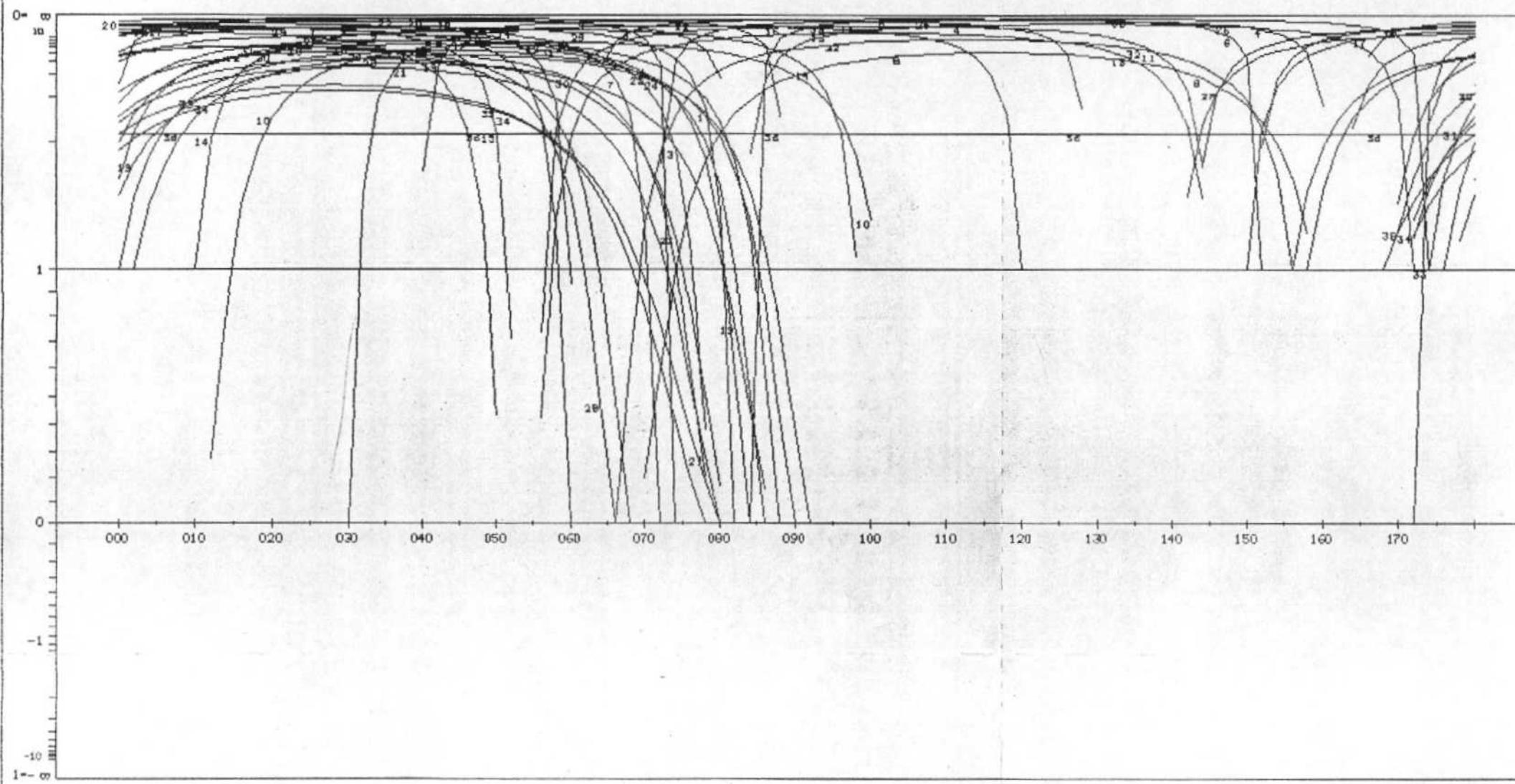


METODO DE LOS DIEDROS RECTOS
ESTACION : MEQUINENZA 13



METODO DE LOS DIAGRAMAS YR

ESTACION: MEQUINENZA 13/ SIN ABATIR
GEOLOGIA ESTRUCTURAL. Universidad de Zaragoza



MEQUINENZA 13

92	73	S	72	E	0	N	101
68	73	S	76	E	0	N	102
79	68	N	83	W	0	N	103
82	67	N	87	E	0	N	104
61	69	S	87	E	0	N	105
62	64	N	89	E	0	N	106
72	66	S	86	E	0	N	107
69	63	S	79	W	0	N	108
39	53	E	39	W	0	N	109
11	74	W	77	N	0	N	110
55	63	N	87	E	0	N	111
88	65	S	82	E	0	N	112
55	62	S	85	W	0	N	113
100	68	N	85	W	0	N	114
53	62	N	87	W	0	N	115
30	70	E	86	W	0	N	116
60	35	S	88	E	0	N	117
172	69	E	88	S	0	N	118
87	57	N	78	W	0	N	119
74	65	N	89	W	0	N	120
80	62	S	75	E	0	N	121
89	66	S	89	E	0	N	122
81	63	S	77	E	0	N	123
90	58	S	81	E	0	N	124
86	75	S	75	E	0	N	125
71	79	N	87	E	0	N	126
51	71	S	83	E	0	N	127
66	53	S	83	E	0	N	128
82	68	S	86	E	0	N	129
79	70	N	76	W	0	N	130
84	74	S	78	E	0	N	131
66	63	N	83	E	0	N	132
84	66	S	89	W	0	N	133
80	55	S	72	E	0	N	134
78	50	S	75	E	0	N	135
61	69	S	82	E	0	N	136
450	0		0		0		0

*****DERUT DE LA TROISIEME ETAPE

REGRESSION MOINDRE CARR SUR LES 36PLUS FAIBLES ECARTS

ECART MOYEN EN DEGRES 6.67968

COMP NO 1	ERR SUR DIREC	255.0	ERR SUR PEND	8.0
COMP NO 2	ERR SUR DIREC	38.2	ERR SUR PEND	8.9
COMP NO 3	ERR SUR DIREC	38.0	ERR SUR PEND	12.5

ERREUR SUR R 0.15E+00

MEQUINENZA 13

NO	TENSEUR EN X Y Z	DANS LES AXES PRINCIPAUX	*****
SIGMA(1)=	0.63167	DIRECTION 63.8	PENDAGE 87.2
SIGMA(2)=	-0.26334	DIRECTION 236.5	PENDAGE 2.8
SIGMA(3)=	-0.36833	DIRECTION 326.5	PENDAGE 0.4

RAPPORT R = 0.10

LA FONCTION A MINIM EST EGALE A: 0.4345 POUR LES 36 PREMIERES DONNEES
ET A 0.4345 POUR L ENSEMBLE DU PAQUET

REPRÉSENTATION SUR CERCLE DE MOHR

L 1 E3 F M
UX D
AWR
CYG B
OP H K
TJS
VD I O
N

LE CARACTERE	A CORRESPOND	AUX	DONNEES	111	132	108
LE CARACTERE B	CORRESPOND	AUX	DONNEES	120	107	
LE CARACTERE C	CORRESPOND	AUX	DONNEES	106	133	
LE CARACTERE D	CORRESPOND	AUX	DONNEES	131		
LE CARACTERE E	CORRESPOND	AUX	DONNEES	109		
LE CARACTERE F	CORRESPOND	AUX	DONNEES	124		
LE CARACTERE G	CORRESPOND	AUX	DONNEES	112		
LE CARACTERE H	CORRESPOND	AUX	DONNEES	105	136	104
LE CARACTERE I	CORRESPOND	AUX	DONNEES	110		
LE CARACTERE J	CORRESPOND	AUX	DONNEES	116	130	
LE CARACTERE K	CORRESPOND	AUX	DONNEES	114		
LE CARACTERE L	CORRESPOND	AUX	DONNEES	128		
LE CARACTERE M	CORRESPOND	AUX	DONNEES	117		
LE CARACTERE N	CORRESPOND	AUX	DONNEES	125		
LE CARACTERE O	CORRESPOND	AUX	DONNEES	103		
LE CARACTERE P	CORRESPOND	AUX	DONNEES	129		
LE CARACTERE Q	CORRESPOND	AUX	DONNEES	118		
LE CARACTERE R	CORRESPOND	AUX	DONNEES	123		
LE CARACTERE S	CORRESPOND	AUX	DONNEES	101		
LE CARACTERE T	CORRESPOND	AUX	DONNEES	127		
LE CARACTERE U	CORRESPOND	AUX	DONNEES	115		
LE CARACTERE V	CORRESPOND	AUX	DONNEES	102		
LE CARACTERE W	CORRESPOND	AUX	DONNEES	113		
LE CARACTERE X	CORRESPOND	AUX	DONNEES	121		
LE CARACTERE Y	CORRESPOND	AUX	DONNEES	122		
LE CARACTERE Z	CORRESPOND	AUX	DONNEES	126		
LE CARACTERE 1	CORRESPOND	AUX	DONNEES	135		
LE CARACTERE 2	CORRESPOND	AUX	DONNEES	119		
LE CARACTERE 3	CORRESPOND	AUX	DONNEES	134		

***** FIN DE LA ETAPA NO 3

***** DEBUT DE L'ETAPE NO 4

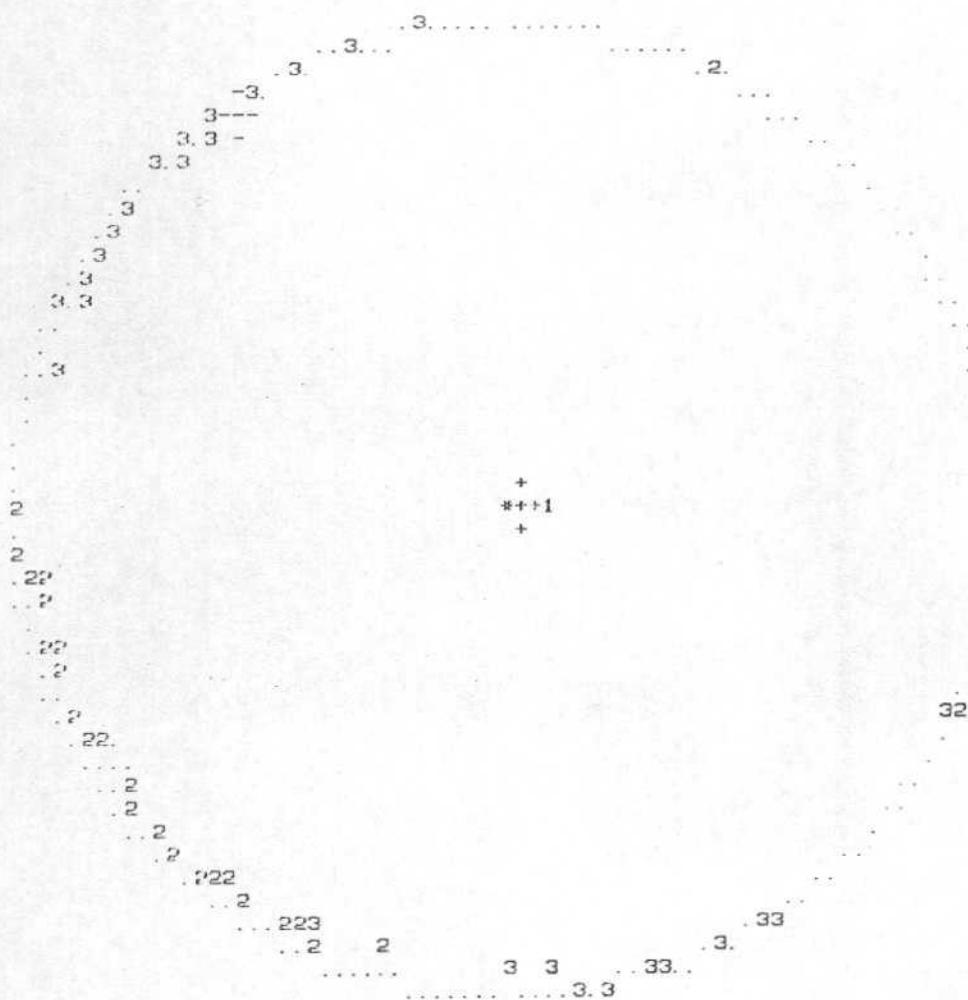
0. 871850E+02 0. 279198E+01 0. 359459E+00 0. 638335E+02 0. 236486E+03 0. 326503E+03

GAMME NOMBRE INDICE DES VALEURS DANS CETTE GAMME

1 0 0 0.1	20	111 120 106 131 109 124 112 105 110 116 114 128 107 117 125 103 136 129 118 123
2 0.1 0.2	35	101 127 132 115 104 102 113 121 122 126 135 133 119 130 134
3 0.2 0.3	36	108

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

MEQUINENZA 13



***** IN FINALE