

# **HOJA N° 413 (GELSA). NEOTECTONICA.**

**José Luis SIMON GOMEZ.**

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 definirlos, 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 aquellas 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 periodos. De hecho, si siguiéramos este criterio únicamente podríamos referirnos a las deformaciones cuaternarias, puesto que no existen en todo el territorio abarcado por la hoja materiales atribuidos con claridad al Mioceno superior y Plioceno.

Teniendo esto en cuenta, existen tres tipos fundamentales de deformaciones que afectan únicamente a los materiales de la serie miocena inferior-media, pero cuya edad puede razonablemente interpretarse que se extiende al Mioceno superior-Plioceno:

- (a) Fallas normales y fracturas de escala cartográfica.
- (b) Poblaciones de fallas normales a escala de afloramiento, a partir de las cuales han podido reconstruirse estados de paleoesfuerzos neógenos.
- (b) Sistemas de diaclasas de escala generalmente decimétrica a métrica, que afectan a los niveles competentes miocenos (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.

Aparte de las mencionadas estructuras neógenas estarían otras que afectan ya claramente a materiales cuaternarios y de las que no cabe, por tanto, ninguna duda acerca de su atribución a los procesos neotectónicos. A pesar del carácter puntual de estas últimas, su especial significado obliga a una descripción y análisis detenido de las mismas.

### **FALLAS NORMALES Y FRACTURAS DE ESCALA CARTOGRAFICA.**

En numerosos puntos de la hoja se han observado fallas normales afectando a los materiales miocenos. Algunas de ellas tienen expresión cartográfica a escala 1:50.000. Con trazo continuo se representan aquéllas que han podido seguirse en la fotografía aérea o, en algunos casos, han podido interpretarse a partir de observaciones de campo. Sus direcciones preferentes son SE a ESE en el sector centro-sur de la hoja y SSE en el ángulo suroeste de la misma. Son escasos, sin embargo, los puntos donde el desplazamiento de las fallas de escala cartográfica ha podido constatare y evaluarse, aunque parece que, en general, éste no debe de sobrepasar nunca la decena de metros.

La figura 1 ilustra el aspecto de campo de una de estas fallas. Se trata, concretamente, de la más oriental de las tres que se encuentran cartografiadas al N del paraje "Setenal", unos 3 Km. al S de Velilla de Ebro, y cuyo lugar de observación corresponde a una de las extensas canteras de yeso existentes en la zona. Presenta dirección N-S y un salto estimado de 6-8 m.

Cabe señalar también la presencia de un denso haz de lineamientos de dirección 120-130, perfectamente visibles en la fotografía aérea, que pueden interpretarse como líneas de fractura. Vienen marcados por valles rectilíneos, pudiendo en ocasiones reconocerse varios de ellos alineados a través de zonas de interfluvio. Se reparten prácticamente por toda la superficie de la hoja, apareciendo sólo muy difuminados en los llanos que ocupan las lagunas o *saladas* del cuadrante SE. No obstante, incluso aquí,

el alargamiento en dirección NW-SE de las depresiones que albergan dichas lagunas sugiere un control estructural identificable con ese mismo haz de fracturas (QUIRANTES, 1978).

Estos lineamientos se extienden asimismo por los sectores sur y suroeste de la vecina hoja de Castejón de Monegros, donde no existen argumentos que permitan encuadrarlos en el ámbito temporal de la neotectónica (parecen afectar sólo a los términos inferiores de la serie miocena) y donde, por otra parte, resulta muy difícil conocer su carácter exacto (SIMON GOMEZ, 1991). En el extremo norte de nuestra hoja se cuenta, sin embargo, con un buen afloramiento para la interpretación de estas estructuras. Se trata de unos taludes recientes situados en el Km. 377.5 de la carretera nacional II, donde se aprecia un número importante de fallas normales de salto decimétrico a métrico cuya dirección dominante ESE a SE coincide con la de los lineamientos de su entorno (ver figura 2 y rosa de direcciones correspondiente a la estación 2A en el anexo 1). Estos datos sugieren que el haz de lineamientos refleja un denso y sistemático campo de fallas, las cuales, al menos en su actividad más reciente, tendrían carácter normal.

## **SISTEMAS DE DIACLASAS.**

Todos los niveles competentes miocenos, con un especial desarrollo en las calizas y areniscas, muestran un diaclasado bastante intenso, con planos generalmente subverticales de escala decimétrica a métrica (figura 3). El espaciado entre los planos de una misma familia suele ser de orden decimétrico, y es función del propio espesor de las capas afectadas, de forma que suele aumentar al hacerlo éste.

Se han estudiado un total de 16 estaciones de diaclasas en materiales terciarios, en cada una de las cuales se ha tomado un número de medidas en torno a 40. En el anexo 1 se presentan los diagramas en rosa correspondientes a todas ellas, excepto en el caso de la estación 14, donde la existencia de un buen número de discontinuidades no verticales aconseja mejor una representación en proyección estereográfica. En el mapa 1:50.000 se hace una representación esquemática de las familias dominantes en cada estación.

Se observa cómo existe una mayoría de 11 afloramientos en los que aparece una familia principal de dirección NNW-SSE a N-S (estaciones 4, 6, 8-10, 14 y 17-21), en algún caso acompañada de una segunda familia menos importante perpendicular ó casi perpendicular a la anterior (figura 3). Las discontinuidades de esta segunda familia son, en casi todos los casos, mucho menos sistemáticas y planas que las N-S, y se interrumpen siempre contra estas últimas. Siguiendo la clasificación de HANCOCK (1985), serían *cross-joints* que darían un modelo de diaclasado en "H".

Este patrón de diaclasado es sistemático 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 nosotros para dicho campo de esfuerzos (SIMON GOMEZ, 1989) 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 *rifting* del Este peninsular). El resultado es un régimen de distensión tendente a multidireccional, con el eje  $\sigma_2$  situado en dirección N-S, es decir, coincidente con el eje  $\sigma_1$  del campo compresivo. Paralela a dicho eje se formaría una familia principal de fracturas tensionales. En el momento en que esto ocurre el esfuerzo  $\sigma_3$  extensivo experimenta una relajación que da lugar a su intercambio con el eje  $\sigma_2$ , 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 (SIMON et al., 1988).

Existen otros 5 afloramientos (1, 3, 5, 7 y 11) en los que domina, por el contrario, una dirección SE a ESE. Esta podría interpretarse como producto de una desviación de las trayectorias de esfuerzos por efecto de fallas mayores preexistentes. De acuerdo con los mismos modelos de SIMON et al. (1988), las trayectorias de  $\sigma_2$  y  $\sigma_3$  son desviadas por dichas fallas y tienden a hacerse paralelas o perpendiculares 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, la práctica totalidad de la hoja se encuentra surcada por un haz de fracturas de esa dirección al que hemos hecho referencia anteriormente, tal interpretación resulta bastante plausible.

## **POBLACIONES DE FALLAS NORMALES A ESCALA DE AFLORAMIENTO. INTERPRETACION DE PALEOESFUERZOS.**

En cuatro afloramientos de la hoja (estaciones 2, 15, 16 y 22) se han observado sendas poblaciones de fallas normales con nulo o pequeño desplazamiento. En la estación 15 se han observado y medido bastantes fallas con desplazamiento apreciable (en varios casos decimétrico, como muestra el ejemplo de la figura 4), pero muy pocos de ellos con estriaciones visibles; por ello nos limitamos a incluir la representación estereográfica de los planos en el anexo 1. En las otras tres el número de planos estriados es suficiente para acometer un análisis dinámico encaminado a interpretar los elipsoides de esfuerzos neógenos. Los datos han sido analizados mediante el diagrama de *diedros rectos* (ANGELIER y MECHLER, 1977), el *diagrama y-R* (SIMON GOMEZ, 1986) y el método de Etchecopar (ETCHECOPAR *et al.*, 1981).

Los resultados del análisis de estas fallas (ver anexo 2) son coherentes con las características del campo de esfuerzos inferido de los sistemas de diaclasas, puesto que en las tres estaciones coinciden en indicar estados de paleoesfuerzos de extensión radial o multidireccional:  $\sigma_1$  vertical,  $\sigma_2$  y  $\sigma_3$  horizontales y de magnitudes próximas entre sí (relaciones de esfuerzos  $R = (\sigma_2 - \sigma_3) / (\sigma_1 - \sigma_3)$  próximas a 0).

En la estación 2 se han medido fallas de dirección dominante N-S. El resultado de su análisis es un tensor con  $\sigma_3$  según 182 y una relación de esfuerzos  $R = (\sigma_2 - \sigma_3) / (\sigma_1 - \sigma_3) = 0.03$ . El hecho de que el eje  $\sigma_3$  resulte ser aproximadamente paralelo a la dirección de las propias fallas resulta un tanto anómalo, pero puede explicarse como producto del mismo intercambio de los ejes  $\sigma_2$  y  $\sigma_3$  al que hacíamos referencia anteriormente: la génesis de las fallas N-S se produciría bajo el campo primario y, tras el intercambio de ejes,

el movimiento de las mismas produciría las estriaciones medidas (SIMON GOMEZ, 1989).

En las estaciones 16 y 22, aun cuando las fallas medidas se orientan de forma distinta (N-S en la primera y E-W en la segunda), se obtienen unas orientaciones de los ejes principales de esfuerzos similares entre sí y, a la vez, distintas de las de la estación 2. También nos encontramos ante una distensión radial ( $R = 0.07$  y  $0.02$ , respectivamente), pero en este caso las correspondientes direcciones de  $\sigma_3$  son NW-SE (146 y 136). A la luz del modelo de SIMON et al. (1988) y SIMON (1989), cabría interpretarlas como resultado de perturbaciones del campo primario análogas a las invocadas para explicar las fallas y diaclasas NW-SE.

De este modo resulta que ninguno de los elipsoides de paleoesfuerzos en las tres estaciones analizadas refleja directamente el campo regional primario, sino perturbaciones del mismo de diverso signo.

## **DEFORMACIONES CUATERNARIAS.**

Los depósitos cuaternarios se han observado afectados por deformaciones únicamente en unos pocos lugares. En dos afloramientos localizados en sendas graveras (estaciones 12 y 13) se han observado sistemas de fracturas tanto verticales como inclinadas, aunque sin desplazamiento visible (ver diagramas en rosa en el anexo 1).

En la estación 12 las discontinuidades afectan a la secuencia del glacis pleistoceno inferior que aparece en retazos discontinuos sobre las plataformas situadas inmediatamente al sur de Quinto de Ebro (coordenadas UTM: 30TYL091883). Se observan en mayor número en la costra cementada de constitución limo-yesífera que corona la secuencia, pero también en las gravas infrayacentes. Sus direcciones son bastante variadas, si bien dominan las próximas a N-S y E-W.

La estación 13 se sitúa en la terraza del Pleistoceno medio s.l. que se extiende justo al norte de Velilla de Ebro, a unos 25-30 m. sobre el cauce del río (coordenadas UTM: 30TYL147846). Las fracturas afectan aquí, por un lado, al nivel encostrado de techo y a gravas directamente situadas por

debajo (sector A en el esquema de la figura 5) y, por otro, a un par de lentejones arenosos incluidos en tramos más bajos de la secuencia (sectores B y C). En el primer sector las fracturas son más verticales, algunas de ellas con ligero relleno de carbonato, y presentan dirección dominante SSE. En los segundos las fracturas son inclinadas y de escala muy pequeña (decimétrica a centimétrica), todas ellas orientadas en torno a E-W.

Otro pequeño afloramiento en el que aparece deformada la misma terraza de 25-30 m. se sitúa cerca de la salida del Barranco del Mas, 1 Km al norte de Velilla (punto A en el mapa 1:50.000). La estratificación de las gravas aparece aquí basculada más de 20° hacia el NNW, al tiempo que se observa alguna fractura vertical aislada con relleno de carbonato y dirección NW-SE (figura 6). Resulta difícil interpretar el significado tectónico de estas deformaciones dentro del estrecho marco del afloramiento. Aunque éste se sitúa en un ámbito de posibles fallas normales N-S, el sentido de inclinación del depósito no parece coherente con un basculamiento provocado por las mismas. Quizá sea más probable que se trate de una deformación de origen diapírico (en la que se vería únicamente un flanco de la estructura), de las que existen numerosos ejemplos en el Cuaternario de todo el sector central de la Cuenca del Ebro, inducidas tanto por los yesos como por las margas neógenas (SIMON Y SORIANO, 1986; BENITO Y CASAS, 1987).

## **ANOMALIAS DE LA RED DE DRENAJE.**

En el cuadrante SW de la hoja confluyen tres rasgos morfológicos del Ebro y su entorno que constituyen anomalías dignas de ser analizadas ante la posibilidad de que guarden cierta relación con procesos neotectónicos:

(1) En primer lugar, llama la atención un meandro abandonado y colgado unos 70 m. sobre el cauce del río que se observa en el paraje de Setenal, al SE de Velilla. El lugar donde aparece coincide aproximadamente con el límite en el que termina la amplia llanura aluvial del tramo medio del Ebro y comienza el sector de meandros encajados que se proseguirá ya hasta cruzar las Catalánides. El abandono del meandro se habría producido, por tanto, en el contexto del levantamiento relativo de la región respecto al nivel de base del Ebro que tuvo lugar probablemente durante el Neógeno superior, lo que supone una circunstancia un tanto anómala.

(2) El río Ebro presenta aquí un trazado que, si bien no llega a ser realmente rectilíneo, sí tiene un grado de sinuosidad muy inferior al de los tramos anterior y posterior. La dirección SSE es, por otra parte, sensiblemente paralela a la de las fallas normales que han sido cartografiadas en ambas márgenes.

(3) Se han realizado sendos perfiles longitudinales del cauce del río Ebro y de la superficie de la llanura aluvial ( $T_0$ ) en el entorno de la hoja de Gelsa (figura 7). El primero abarca desde la localidad de Alagón hasta la desembocadura del río Matarraña (hoja de Fabara, nº 443); en él las distancias en la horizontal han sido medidas a lo largo del trazado meandriforme del río. El segundo alcanza sólo hasta la localidad de Sástago, puesto que más hacia el Este la llanura aluvial desaparece; en él las distancias se han tomado siguiendo el valle fluvial. El primero de los perfiles muestra un diseño general bastante rectilíneo y con ciertas convexidades hacia arriba, lo que sugiere un todavía incompleto equilibrio tras la adaptación al descenso reciente del nivel de base. El segundo muestra un escalón bastante pronunciado cuya base coincide exactamente con el tramo anómalo de Gelsa-Velilla. Desde el punto de vista litológico e hidrológico no existen factores (materiales terciarios especialmente resistentes a la erosión o aportes de afluentes) que pudiesen justificar esa pendiente anómala del perfil.

Todo ello mueve a plantear la hipótesis de que un proceso tectónico ha podido propiciar el hundimiento del sector del Ebro comprendido entre Gelsa y Velilla. La reactivación o prolongación del movimiento de las fallas NNW-SSE existentes en esta área durante el Cuaternario podría explicar todos los hechos descritos: el encajamiento brusco del río y el abandono del tramo del meandro, el trazado rectilíneo del mismo y la ruptura del perfil longitudinal de  $T_0$ .

## **CONCLUSIONES.**

Durante el Neógeno se produjo en la región una tectónica de tipo distensivo que se manifiesta por fallas normales de escala cartográfica y sistemas de diaclasas bastante homogéneos. El hecho de que tales



estructuras afecten regionalmente por igual a toda la serie miocena, junto con los datos cronológicos de que se dispone especialmente en el ámbito de la Cordillera Ibérica (SIMON GOMEZ, 1989), hacen pensar que dicho proceso tuvo lugar fundamentalmente durante el Mioceno superior-Plioceno. El campo de esfuerzos tectónicos puede caracterizarse como una distensión tendente a radial con  $\sigma_2$  y  $\sigma_3$  orientados, respectivamente, N a NNW y E a ENE.

Existen dos direcciones dominantes de diaclasas y fallas, una N a NNW y otra NW-SE. La primera representaría la fracturación desarrollada como respuesta directa al campo distensivo primario. El intercambio de  $\sigma_2$  y  $\sigma_3$  en la horizontal tras producirse dichas fracturas daría lugar en muchos casos a una familia secundaria en dirección E a ENE. Las fallas NW-SE que se expresan como fotolineamientos a lo largo de toda la extensión de la hoja deben de ser el reflejo de una fracturación preexistente que fue reactivada con movimiento normal en el curso de la distensión. Las diaclasas de esa misma dirección reflejarían las perturbaciones del campo de distensión radial por efecto de dichas fallas mayores preexistentes, al igual que los elipsoides de esfuerzos locales inferidos en dos de las estaciones de microfallas analizadas.

Durante el Cuaternario siguen produciéndose, en puntos localizados, fracturas SSE y E-W que muestran, por tanto, una coherencia total con el campo de esfuerzos reciente inferido de la fracturación que afecta al Mioceno. Ciertos rasgos anómalos del perfil y del trazado del río Ebro entre Gelsa y Velilla sugieren que durante este periodo pudo incluso prolongarse la actividad de fallas mayores SE a SSE, las cuales habrían producido el hundimiento relativo de dicho tramo. Por último, existe también la posibilidad de que a los movimientos tectónicos s.s. se hayan sumado a lo largo del Cuaternario procesos diapíricos a pequeña escala promovidos por materiales yesíferos o margosos miocenos sobre los depósitos de glaciares y terrazas.

## 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.
- BENITO, G. y CASAS, A.M. (1987). Small-scale deformations in Quaternary deposits in the northeastern Iberian península. *Géol. Médit.*, 14 (4), 223-243.
- ETCHECOPAR, A.; VASSEUR, G. y DAIGNIERES, M. (1981). An inverse problem in microtectonics for the determination of stress tensors from fault population analysis. *J. Struct. Geol.*, 3 (1), 51-65.
- HANCOCK, P.L. (1985). Brittle microtectonics: principles and practice. *J. Struct. Geol.* 7 (3/4): 437-457.
- QUIRANTES, J. (1978). *Estudio sedimentológico y estratigráfico del Terciario continental de los Monegros*. Inst. Fernando el Católico, Zaragoza, 200 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. *J. Struct. Geol.*, 11 (3), 285-294.
- SIMON GOMEZ, J.L. (1991). Neotectónica. En: ITGE (Ed.). *Mapa Geológico de España 1:50.000, hoja nº 385 (Castejón de Monegros)* (en prensa).

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.

SIMON, J.L. y SORIANO, A.; (1986). Diapiric deformations in the Quaternary deposits of the central Ebro Basin, Spain. *Geol. Mag.*, 123 (1), 45-57.

GELSA 2A

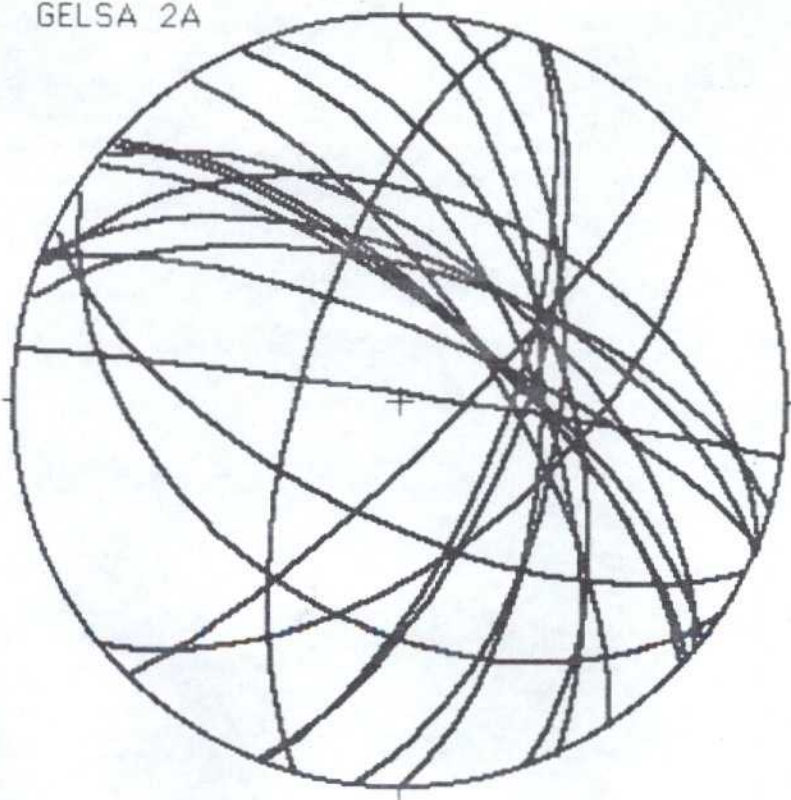


FIGURA 2. Fallas normales en materiales miocenos (estación 2A, Km. 377.5 de la carretera nacional II).





FIGURA 3. Diaclasas ortogonales en la estación 9. La dirección dominante (NNW-SSE) es paralela al sentido en que está tomada la fotografía. Coordenadas UTM: 30TYL110863.



FIGURA 4. Falla normal de salto decimétrico en la estación 15. Coordenadas UTM: 30TYL211802.

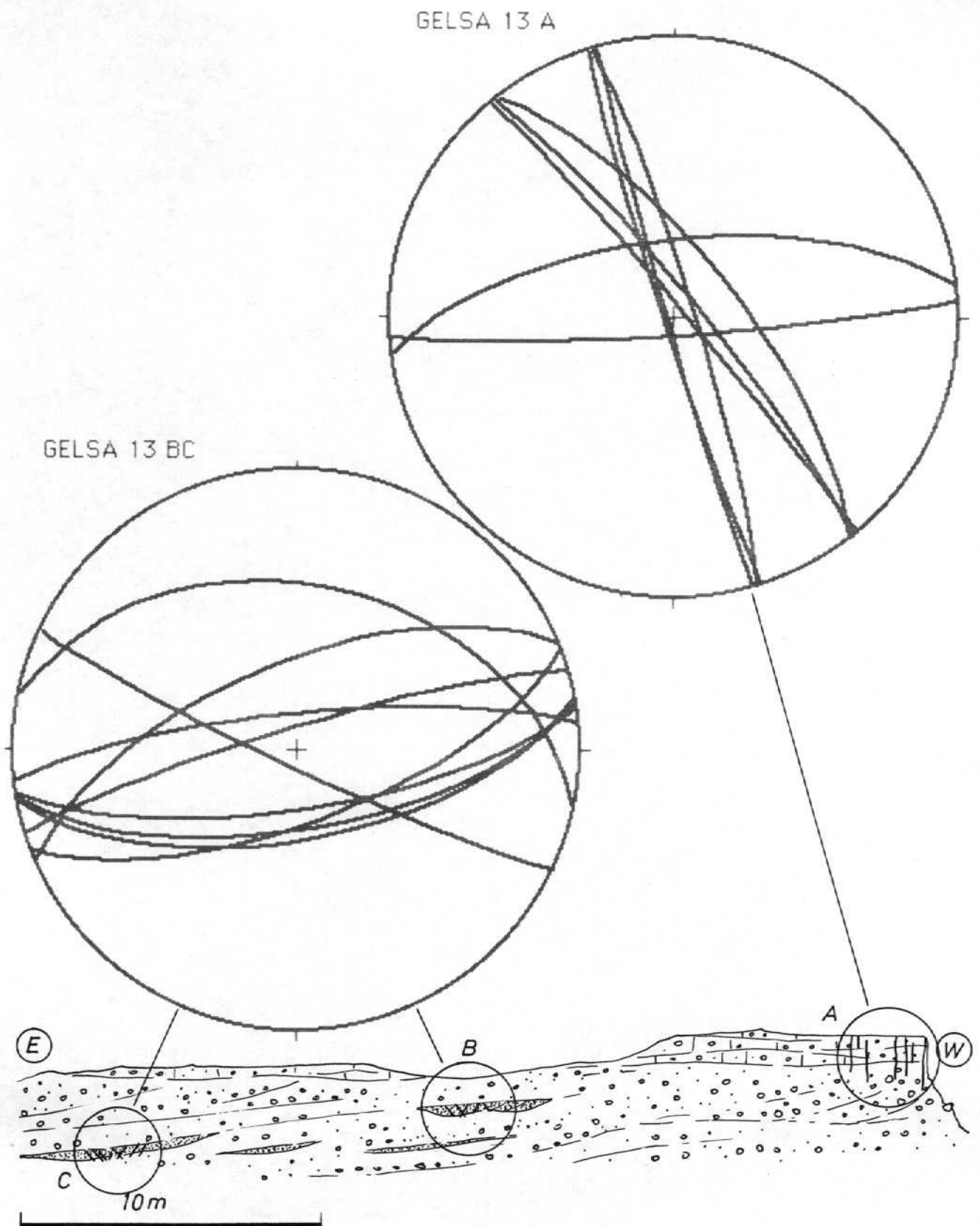


FIGURA 5. Fracturas observadas en la terraza cuaternaria al N de Velilla de Ebro (estación 13, coordenadas UTM: 30TYL147846).



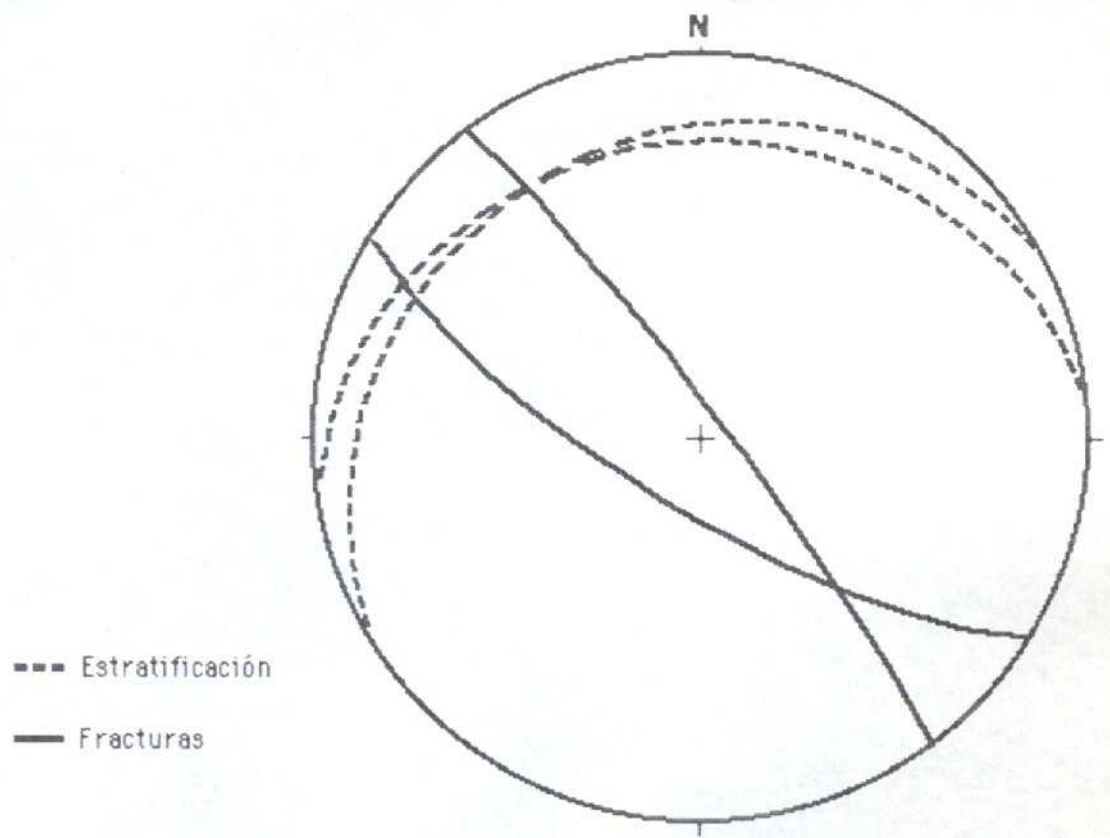


FIGURA 6. Deformaciones en la terraza cuaternaria al N de Velilla de Ebro (Barranco del Mas, coordenadas UTM: 30TYL142851). El estereograma muestra la orientación de la estratificación basculada de acuerdo con la imagen de fotografía inferior y la de dos fracturas con relleno de carbonato.



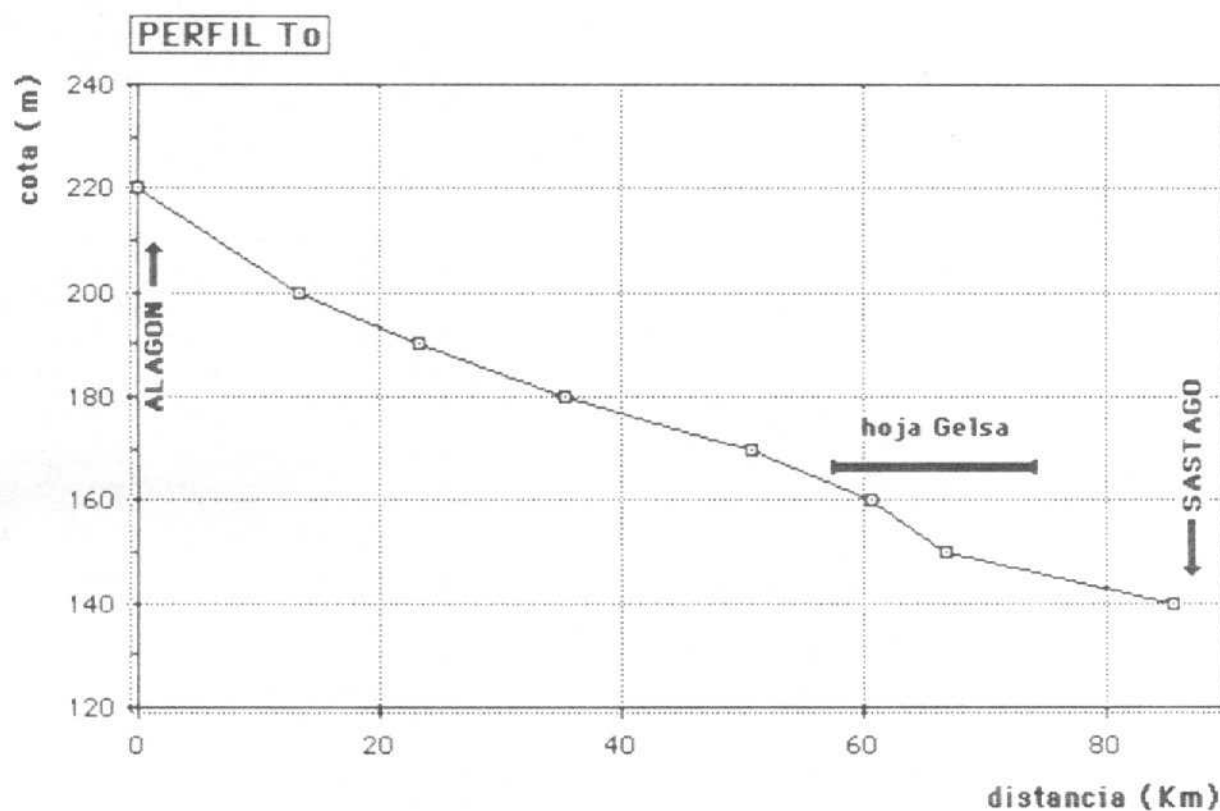
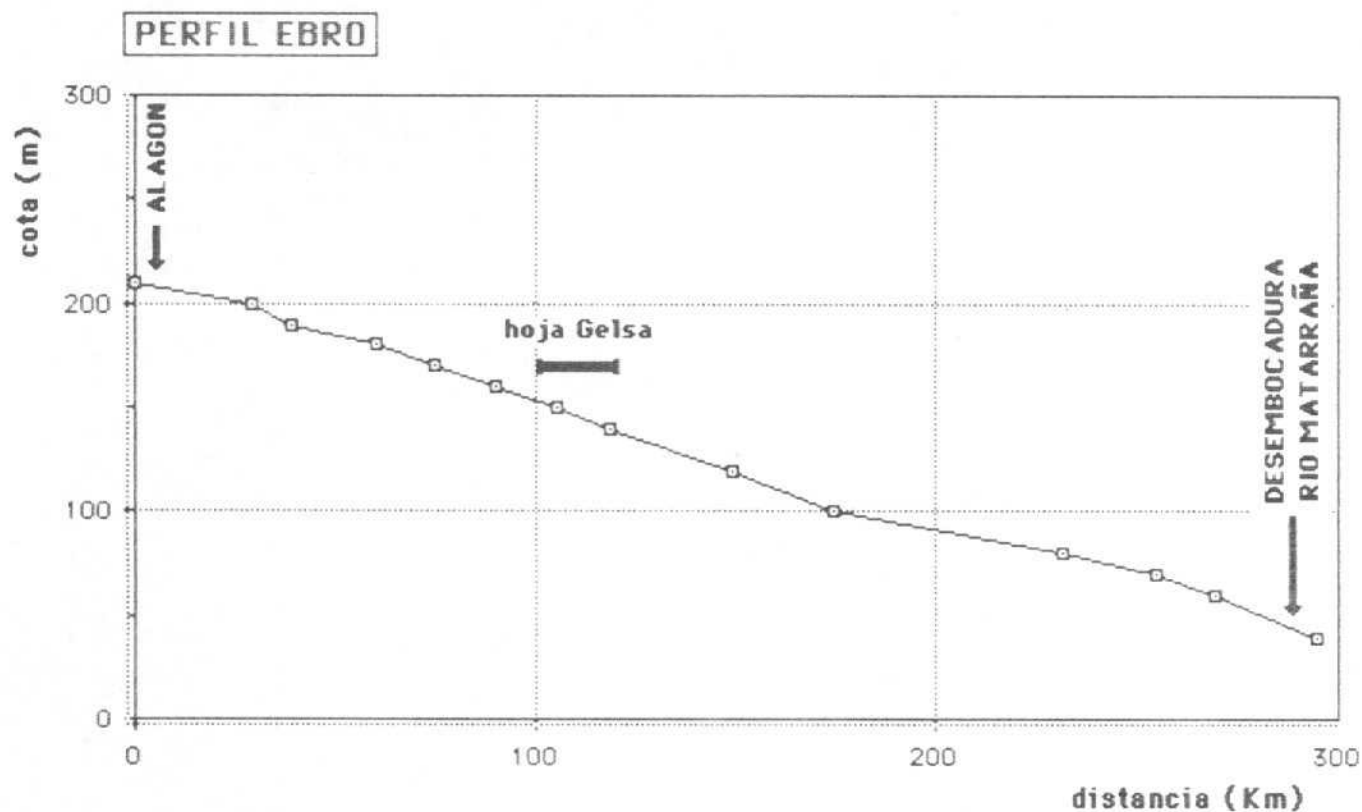


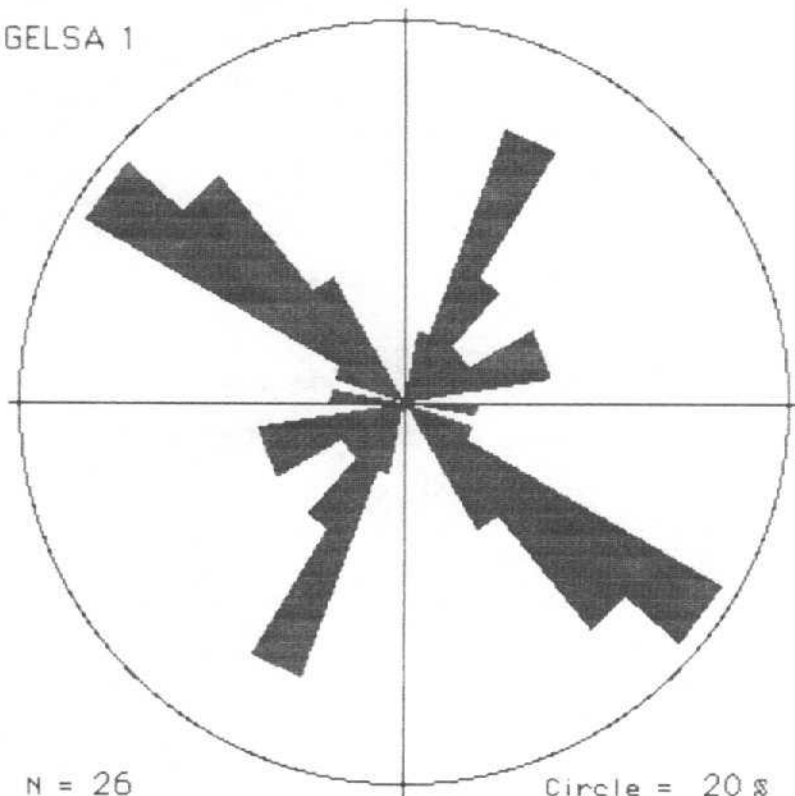
FIGURA 7. Perfiles longitudinales del cauce del río Ebro (arriba) y de la llanura aluvial ( $T_0$ ) en el entorno geográfico de la hoja de Gelsa.

## **ANEXO 1.**

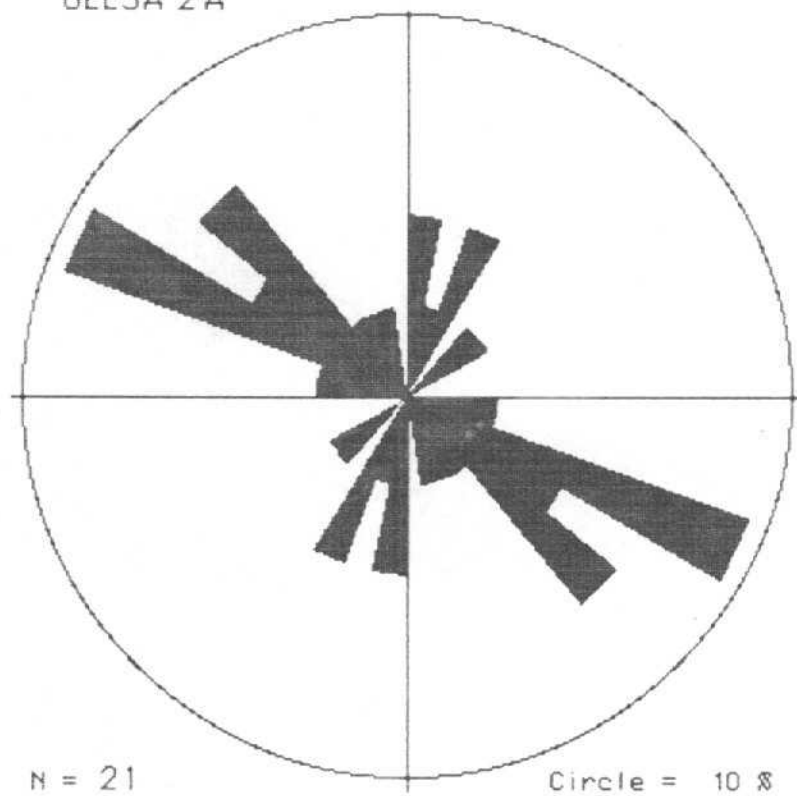
### **Diagramas en rosa de las poblaciones de diaclasas medidas en las distintas estaciones estudiadas.**

Cada diagrama representa un número de datos (N) que viene consignado en la parte inferior. El diámetro del círculo equivale a un determinado % de fracturas para clases de  $10^\circ$ , que también se especifica en cada caso.

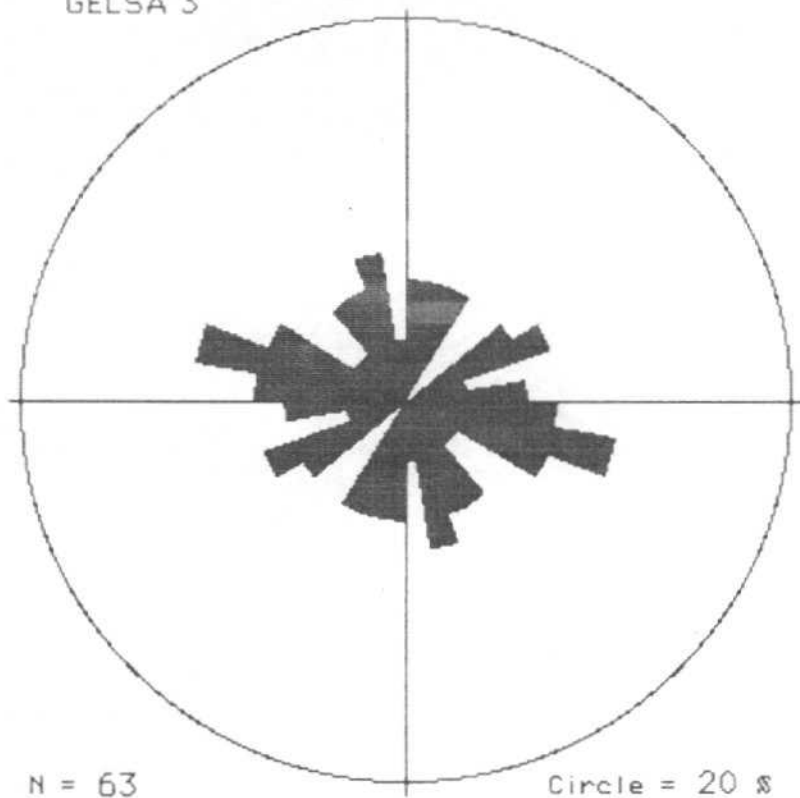
GELSA 1



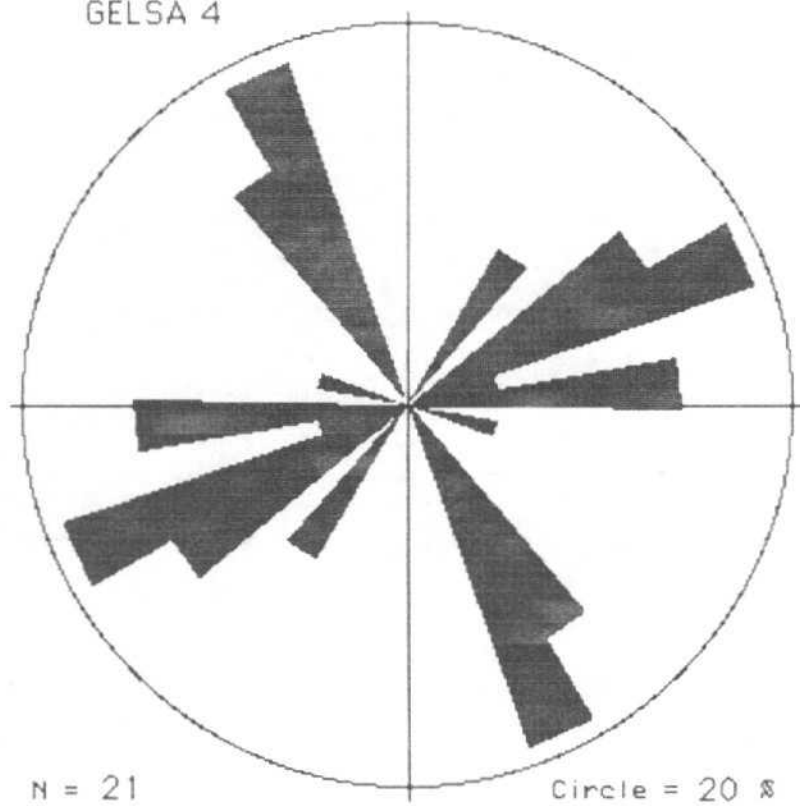
GELSA 2 A



GELSA 3

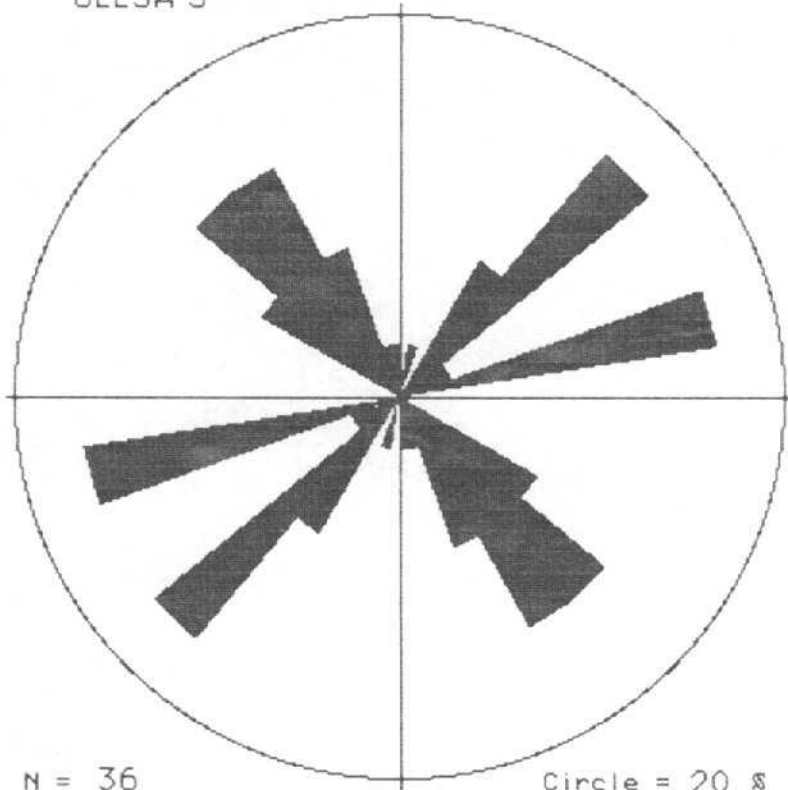


GELSA 4





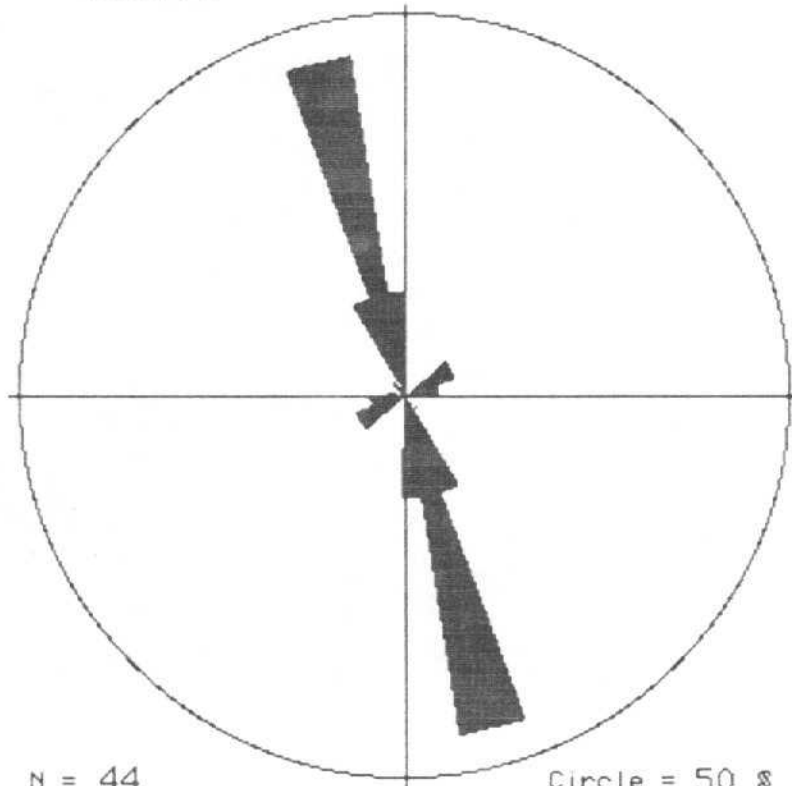
GELSA 5



N = 36

Circle = 20 %

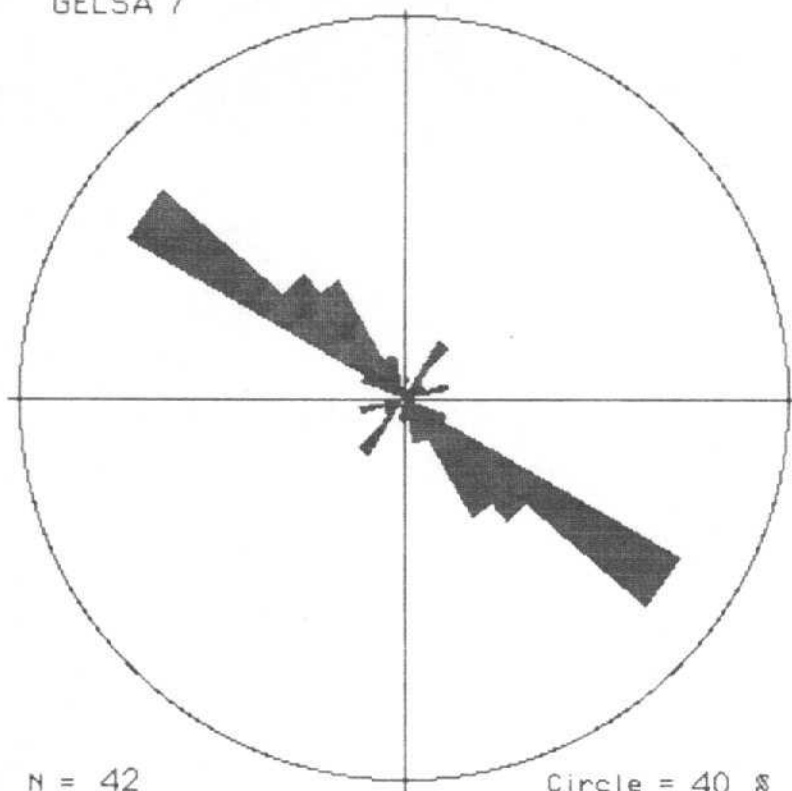
GELSA 6



N = 44

Circle = 50 %

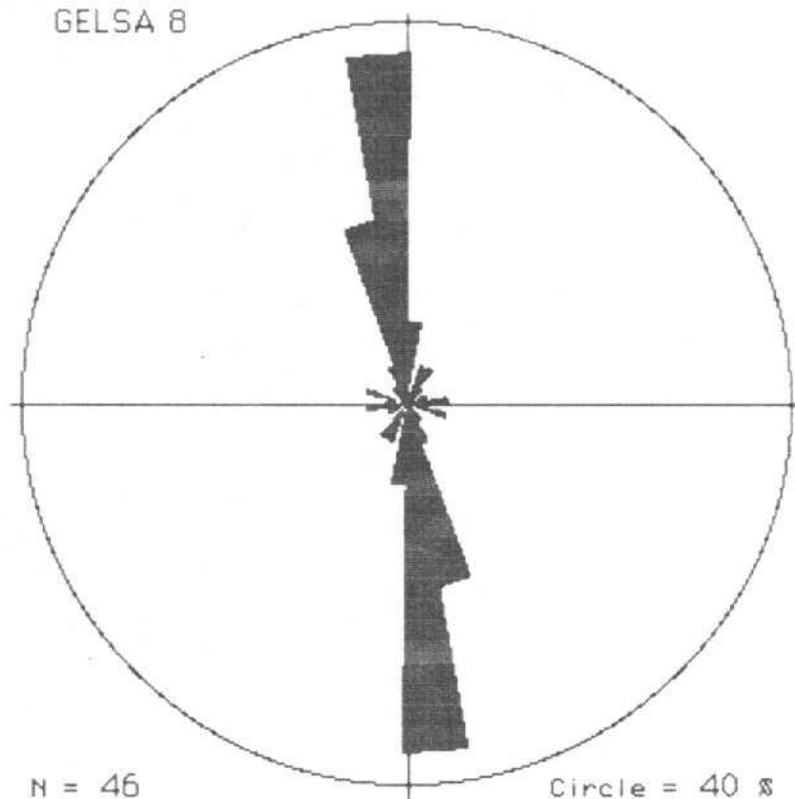
GELSA 7



N = 42

Circle = 40 %

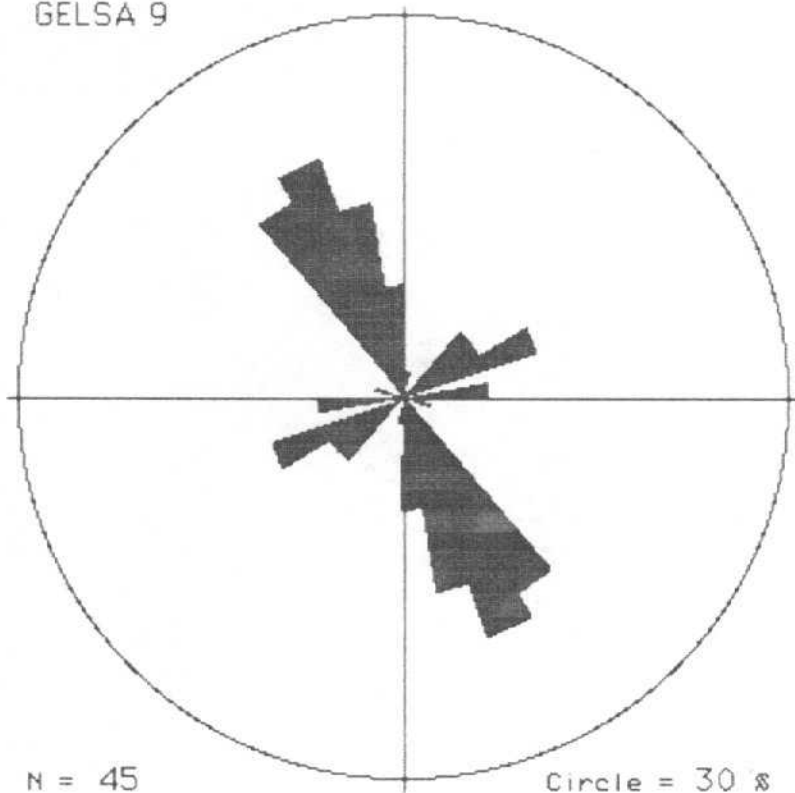
GELSA 8



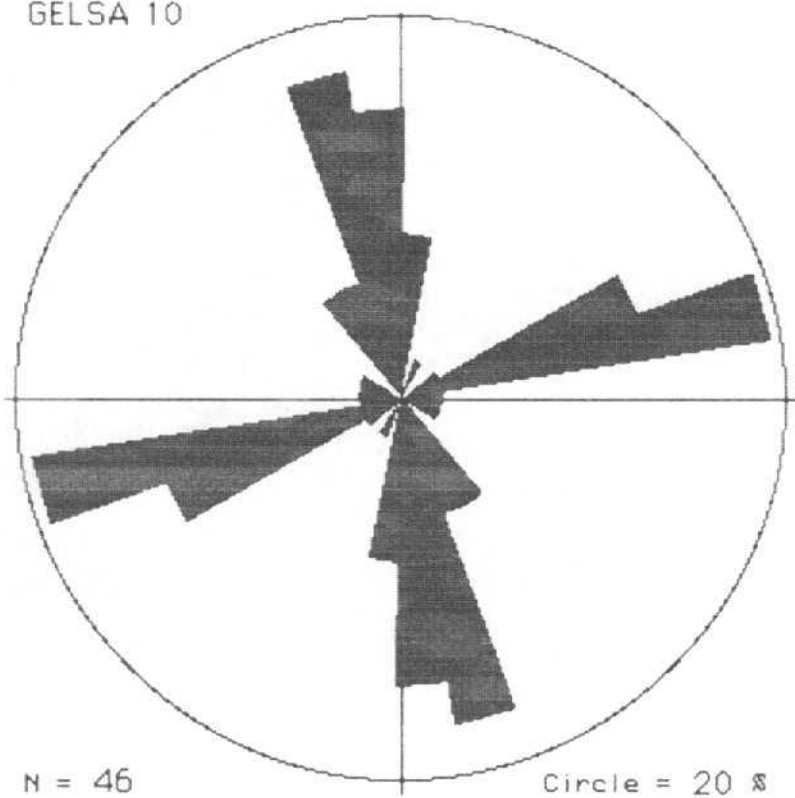
N = 46

Circle = 40 %

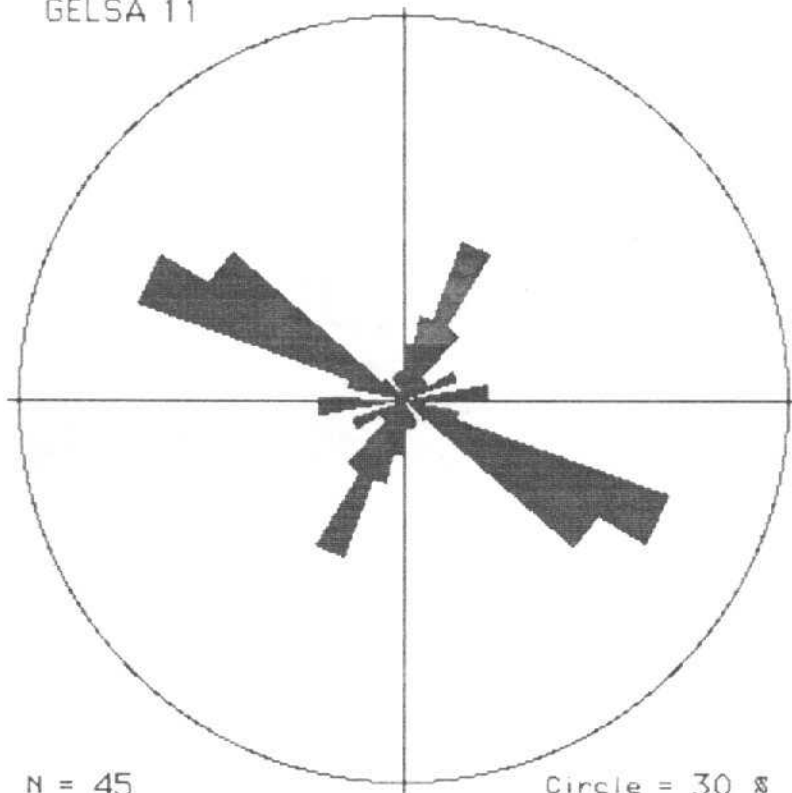
GELSA 9



GELSA 10



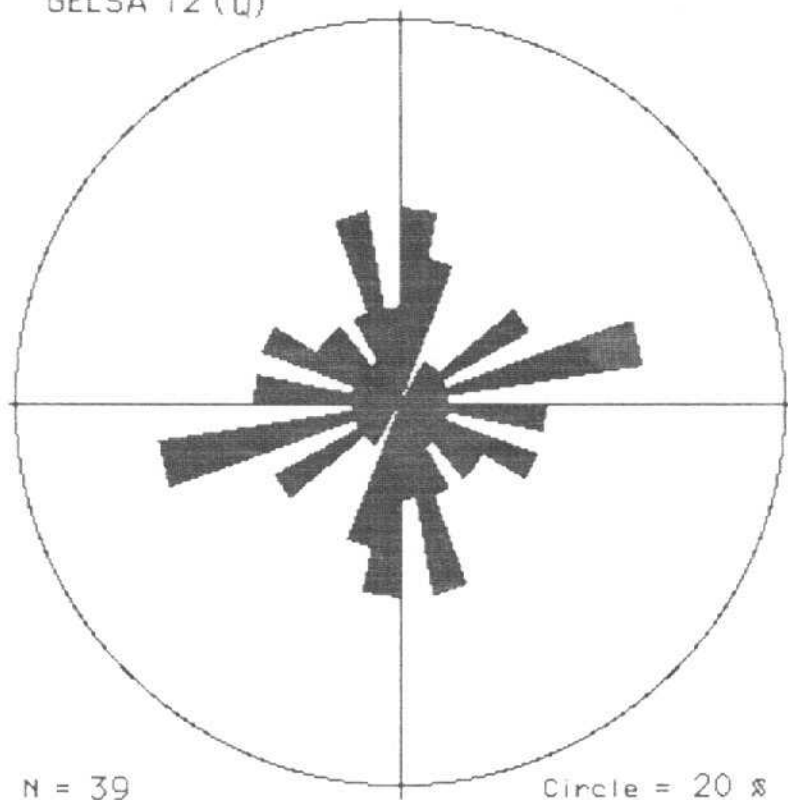
GELSA 11



N = 45

Circle = 30 %

GELSA 12 (Q)

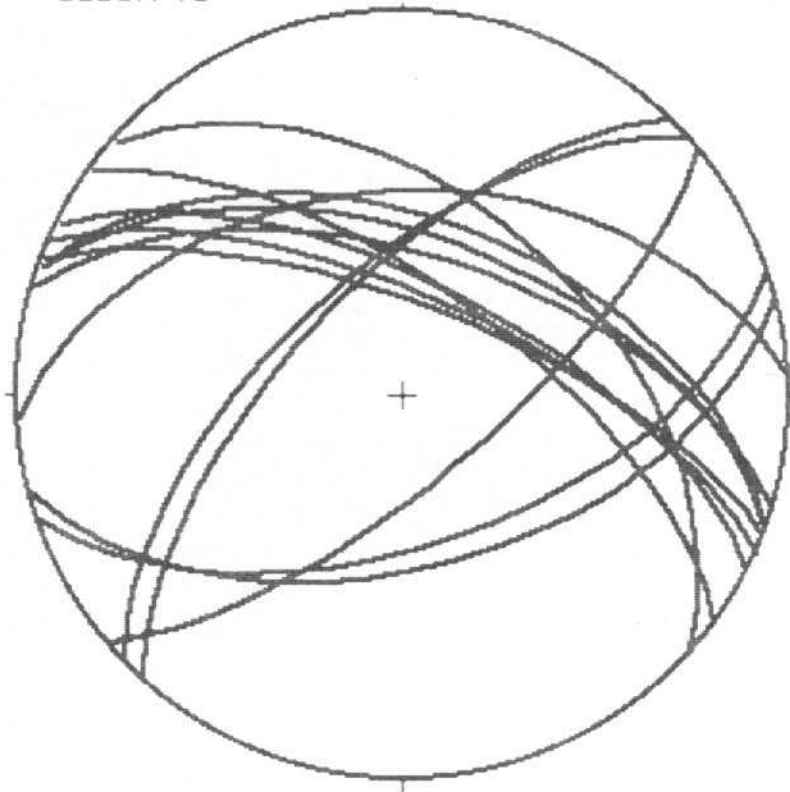


N = 39

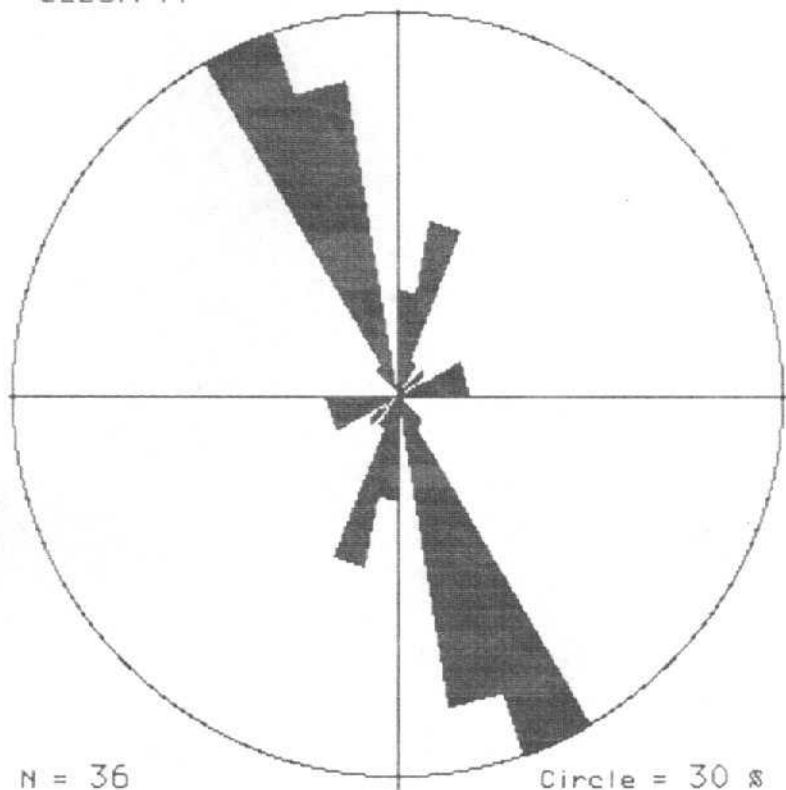
Circle = 20 %



GELSA 15



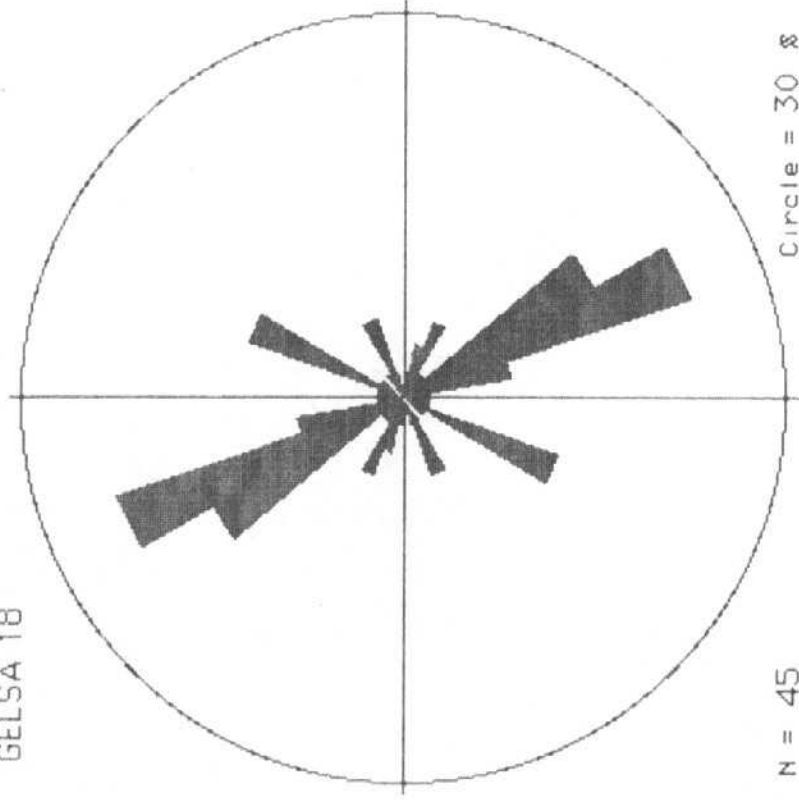
GELSA 17



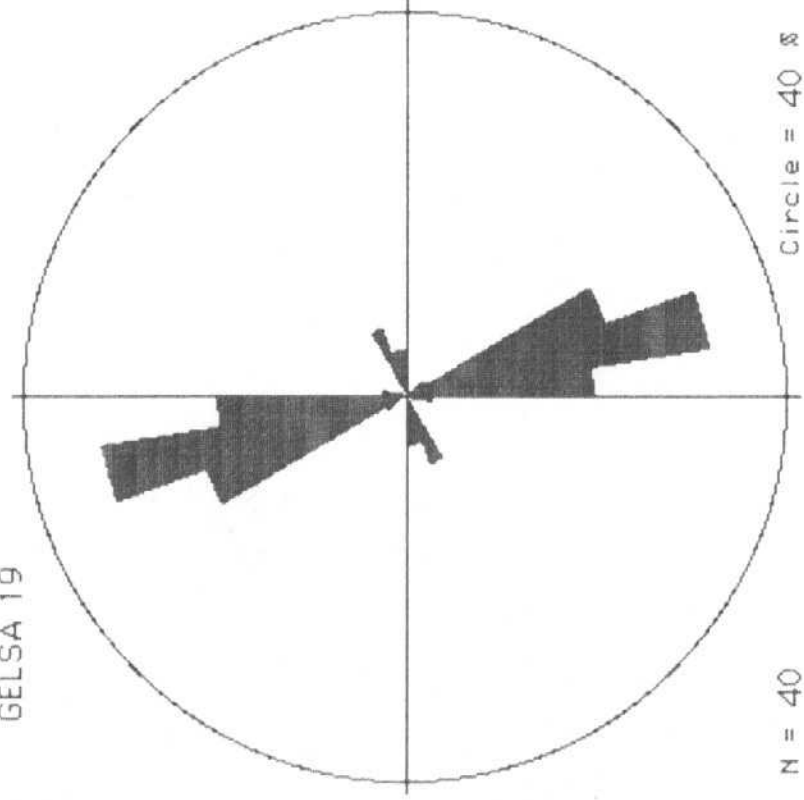
N = 36

Circle = 30 s

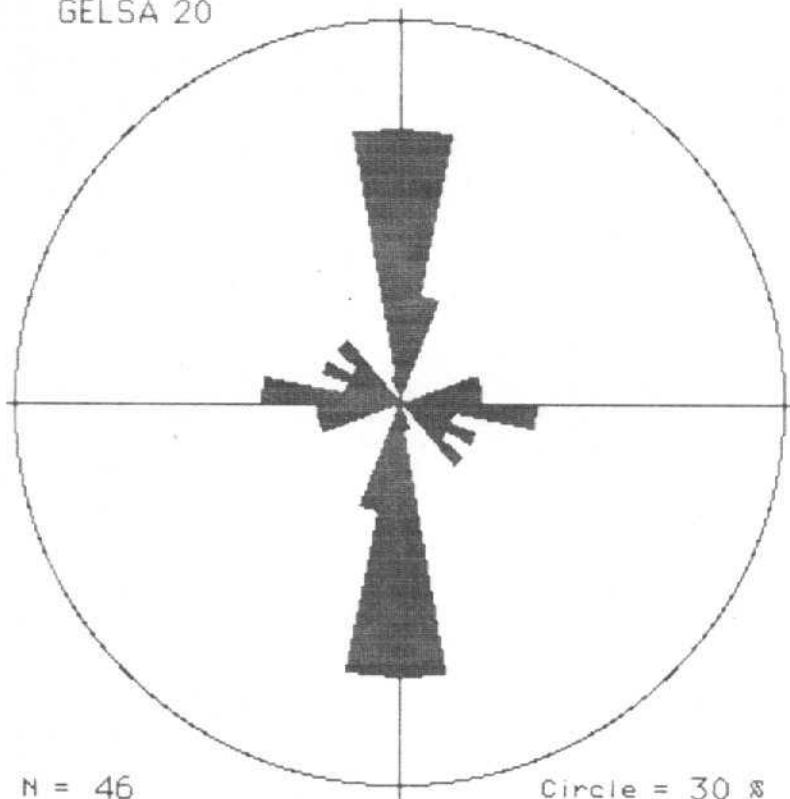
GELSA 18



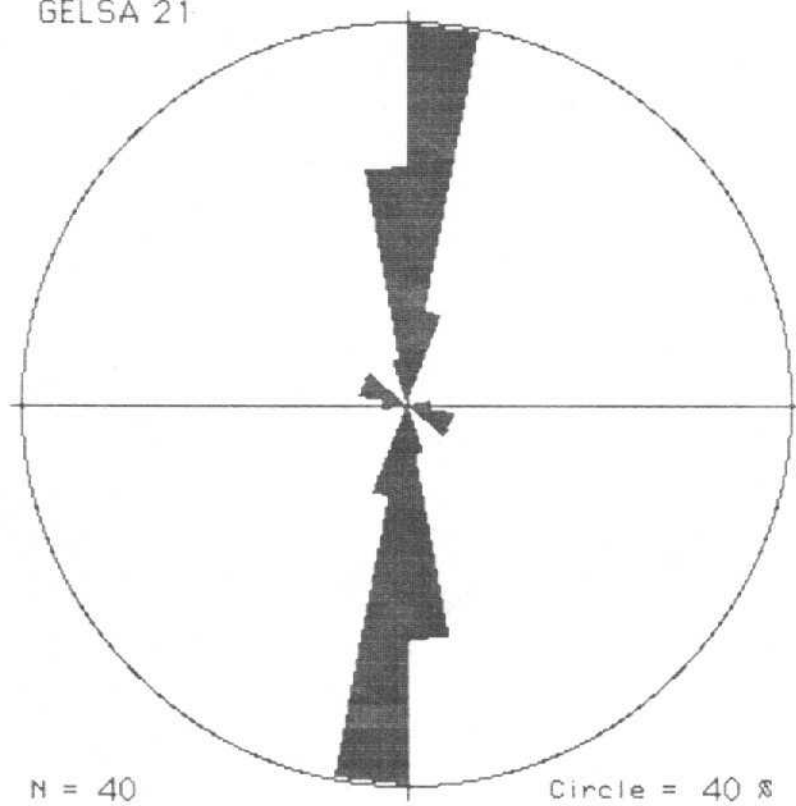
GELSA 19



GELSA 20



GELSA 21



## ANEXO 2.

### Análisis de paleoesfuerzos a partir de poblaciones de fallas (estaciones 2, 16 y 22).

En cada caso se incluyen:

(a) Proyección estereográfica equiangular de ciclográficas y estrías de falla, junto con la 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 espacio. El máximo indica la posición más probable del eje  $\sigma_3$  y el mínimo la de  $\sigma_1$ .

(c) 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:

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

donde  $\theta$  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;  $\sigma_z$  es el eje de esfuerzo vertical, y  $\sigma_y > \sigma_x$  son los ejes horizontales. El valor de y representa el azimut del eje  $\sigma_y$ .

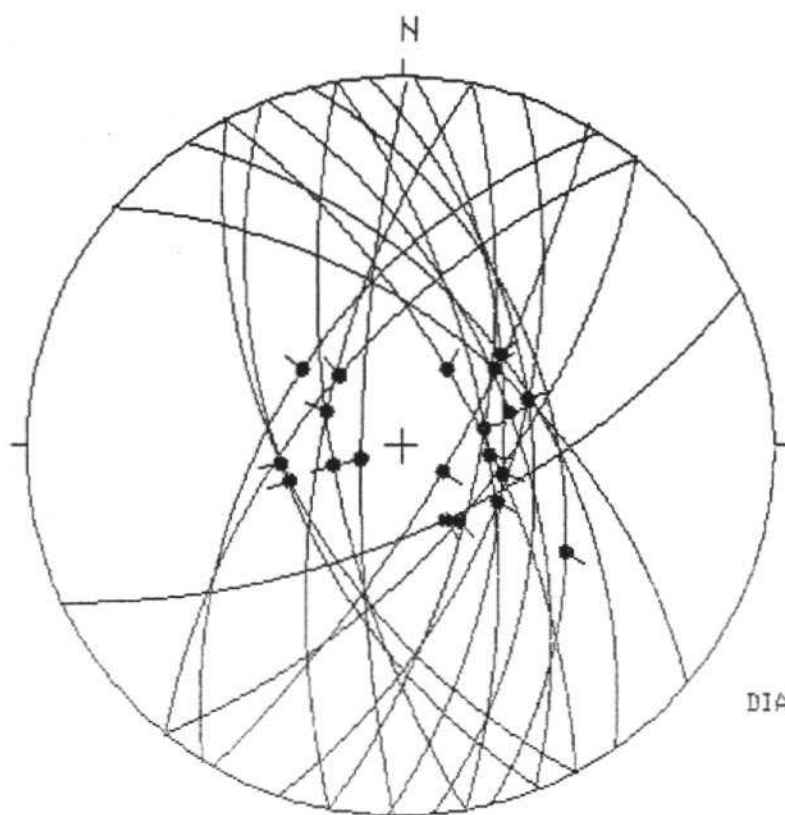
(d) Resultados del método de ETCHECOPAR et al. (1981). Se incluyen:

- \* 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

Geología Estructural  
Univ. de Zaragoza

ESTACION: CIERVO(GELSA 2)



HOJA No. : 413 ...

COORDENADAS UTM:

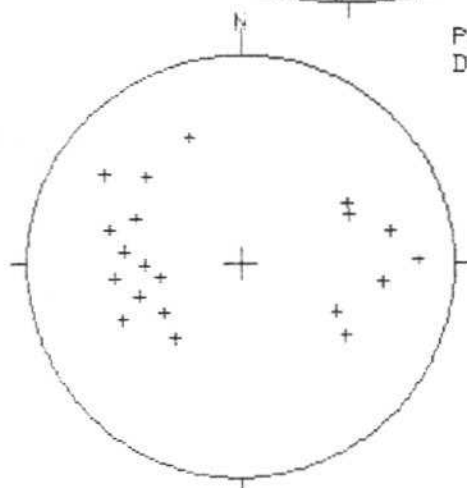
30TYL252974...

So: HORIZONTAL

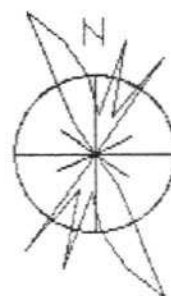
EDAD/FACIES MIOGENO..

NUMERO DE DATOS:20

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

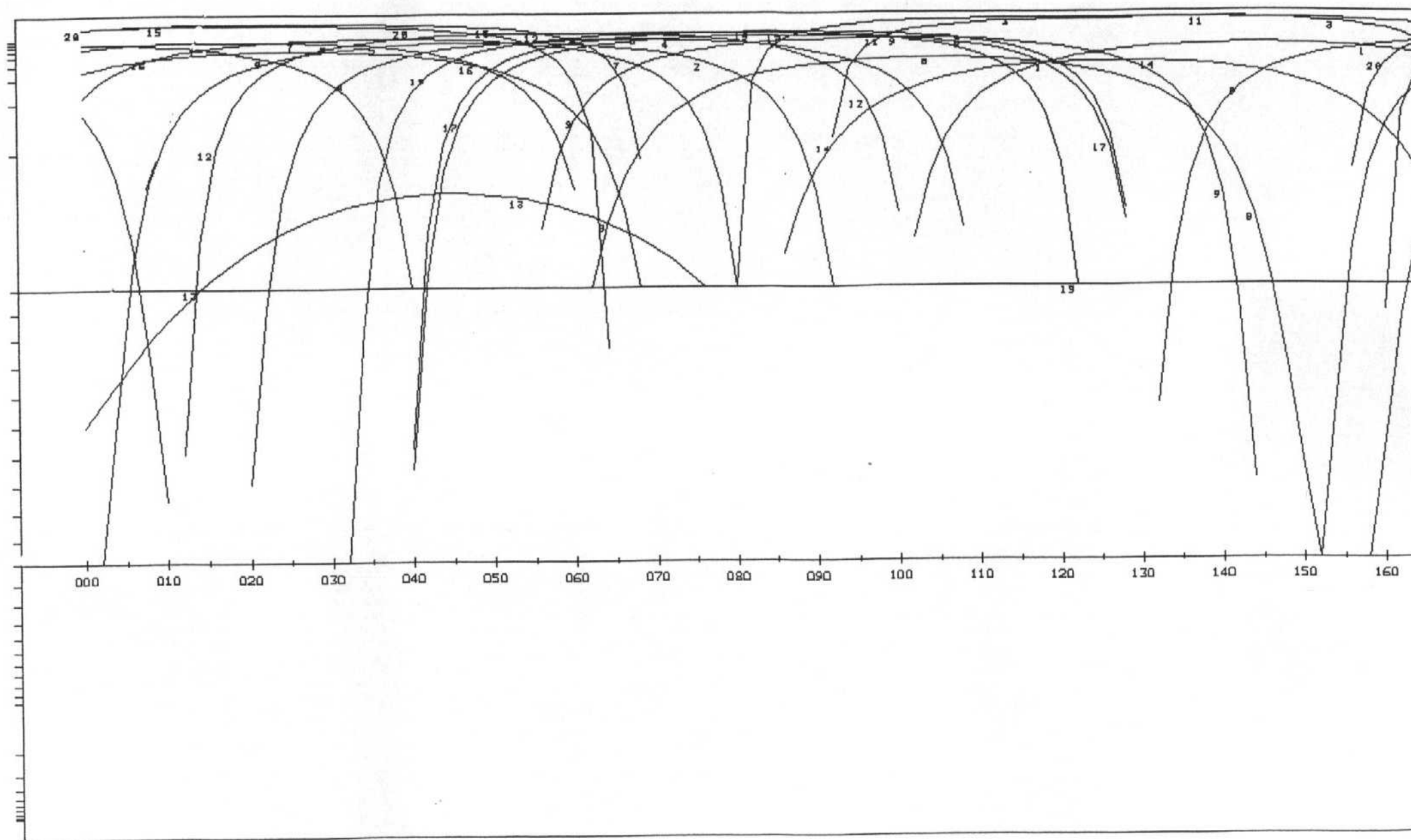
RADIO DE LA CIRCUNFERENCIA=10%





METODO DE LOS DIAGRAMAS YR

ESTACION: CIERVO (GELSA 2)



CIERVO (GELSA 2)

11	66	E	80	N	0	N	101
2	59	E	83	S	0	N	102
170	69	W	88	S	0	N	103
19	57	E	84	S	0	N	104
152	56	W	84	N	0	N	105
39	62	W	85	N	0	N	106
170	64	E	83	S	0	N	107
152	66	E	76	N	0	N	108
130	54	E	84	S	0	N	109
145	50	E	85	N	0	N	110
1	78	W	86	S	0	N	111
11	66	W	84	N	0	N	112
166	45	E	53	S	0	N	113
175	51	E	80	N	0	N	114
159	56	E	88	S	0	N	115
158	55	W	82	N	0	N	116
39	62	E	84	S	0	N	117
30	75	E	90	N	0	N	118
32	53	W	86	N	0	N	119
65	64	S	87	N	0	N	120
450	0		0		0		0

RESULTADOS METODO DE ETCHEPAR

```

***** PARAMETRES CHOISIS *****
*
* CIERVO
*
*
* VALEUR DE INDX CHOISIE 5
* POURCENTAGE SERVANT A LA MINIMISATION 95
* NOMBRE DE TIRAGES AU HASARD 178
* NOMBRE IMPAIR SERVANT A CE TIRAGE 453
* NOMBRE DE TRIS DURANT LA MINIMISATION 50
*
* PARAMETRES CHOISIS, SIGMA 1 DIR= 1 PEND=89
* SIGMA 3 DIR= 50 PEND= 1 R= 0.0300
*****

```

\*\*\*\*\* DEBUT DE L ETAPE NO 2

RESULTATS AVEC LES PARAMETRES IMPOSES

CIERVO

```

NO      TENSEUR EN X Y Z      DANS LES AXES PRINCIPAUX *****
SIGMA(1)= 0.65667  DIRECTION 267.0  PENDAGE 88.7
SIGMA(2)= -0.31333  DIRECTION 140.0  PENDAGE 0.8
SIGMA(3)= -0.34333  DIRECTION 50.0   PENDAGE 1.0

```

RAPPORT R = 0.03

LA FONCTION A MINIM EST EGALE A: 0.2718 POUR LES 19 PREMIERES DONNEES TRIEES PAR LE PROGRAMME  
ET A 0.7182 POUR L ENSEMBLE DU PAQUET

GAMME	NBRE	INDICE DES VALEURS DANS CETTE GAMME
1 0.0 0.1	7	103 111 118 115 110 120 117
2 0.1 0.2	18	119 105 109 106 104 101 116 102 112 114 107
3 0.2 0.3	19	108
4 0.3 0.4	19	
5 0.4 0.5	19	
6 0.5 0.6	19	
7 0.6 0.7	20	113

TENSEUR A L ITERATION 4

CIERVO

NO	TENSEUR EN X Y Z	DANS LES AXES PRINCIPAUX *****		
	SIGMA(1)= 0.65807	DIRECTION	359.5	PENDAGE 88.4
	SIGMA(2)= -0.31615	DIRECTION	92.0	PENDAGE 0.1
	SIGMA(3)= -0.34193	DIRECTION	182.0	PENDAGE 1.6

RAPPORT R = 0.03

LA FONCTION A MINIM EST EGALE A: 0.2310 POUR LES 19 PREMIERES DONNEES TRIEES PAR LE PROGRAMME  
ET A 0.7139 POUR L ENSEMBLE DU PAGET

\*\*\*\*\* FIN DE L ETAPE NO 2

\*\*\*\*\*DEBUT DE LA TROISIEME ETAPE

REGRESSION MOINDRE CARR SUR LES 19PLUS FAIBLES ECARTS

ECART MOYEN EN DEGRES 7.11358

COMP NO 1	ERR SUR DIREC	461.8	ERR SUR PEND	6.0
COMP NO 2	ERR SUR DIREC	131.1	ERR SUR PEND	13.5
COMP NO 3	ERR SUR DIREC	131.2	ERR SUR PEND	6.0

ERREUR SUR R 0.15E+00

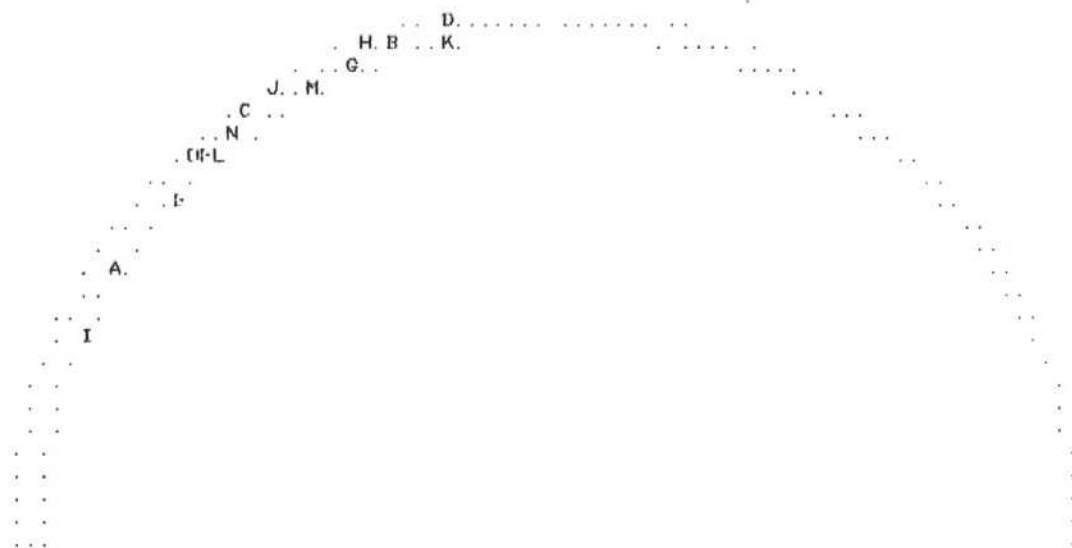
CIERVO

NO	TENSUR EN X Y Z	DANS LES AXES PRINCIPAUX *****		
	SIGMA(1)= 0.65825	DIRECTION	358.0	PENDAGE 88.4
	SIGMA(2)= -0.31649	DIRECTION	92.2	PENDAGE 0.1
	SIGMA(3)= -0.34175	DIRECTION	182.2	PENDAGE 1.6

RAPPORT R = 0.03

LA FONCTION A MINIM EST EGALE A: 0.2310 POUR LES 19 PREMIERES DONNEES TRIEES PAR LE PROGRAMME  
ET A 0.7147 POUR L ENSEMBLE DU PAGET

# REPRESENTATION SUR CERCLE DE MOHR



LE CARACTERE A CORRESPOND AUX DONNEES 118  
 LE CARACTERE B CORRESPOND AUX DONNEES 119 116  
 LE CARACTERE C CORRESPOND AUX DONNEES 106 120  
 LE CARACTERE D CORRESPOND AUX DONNEES 110  
 LE CARACTERE E CORRESPOND AUX DONNEES 103  
 LE CARACTERE F CORRESPOND AUX DONNEES 112  
 LE CARACTERE G CORRESPOND AUX DONNEES 115 104  
 LE CARACTERE H CORRESPOND AUX DONNEES 105 109  
 LE CARACTERE I CORRESPOND AUX DONNEES 111  
 LE CARACTERE J CORRESPOND AUX DONNEES 117  
 LE CARACTERE K CORRESPOND AUX DONNEES 114  
 LE CARACTERE L CORRESPOND AUX DONNEES 101  
 LE CARACTERE M CORRESPOND AUX DONNEES 102  
 LE CARACTERE N CORRESPOND AUX DONNEES 107  
 LE CARACTERE O CORRESPOND AUX DONNEES 108

\*\*\*\*\* FIN DE L ETAPR NO 3

\*\*\*\*\* DEBUT DE L ETAPE NO 4

0.883719E+02 0.119041E+00 0.162378E+01 0.357964E+03 0.921553E+02 0.182159E+03

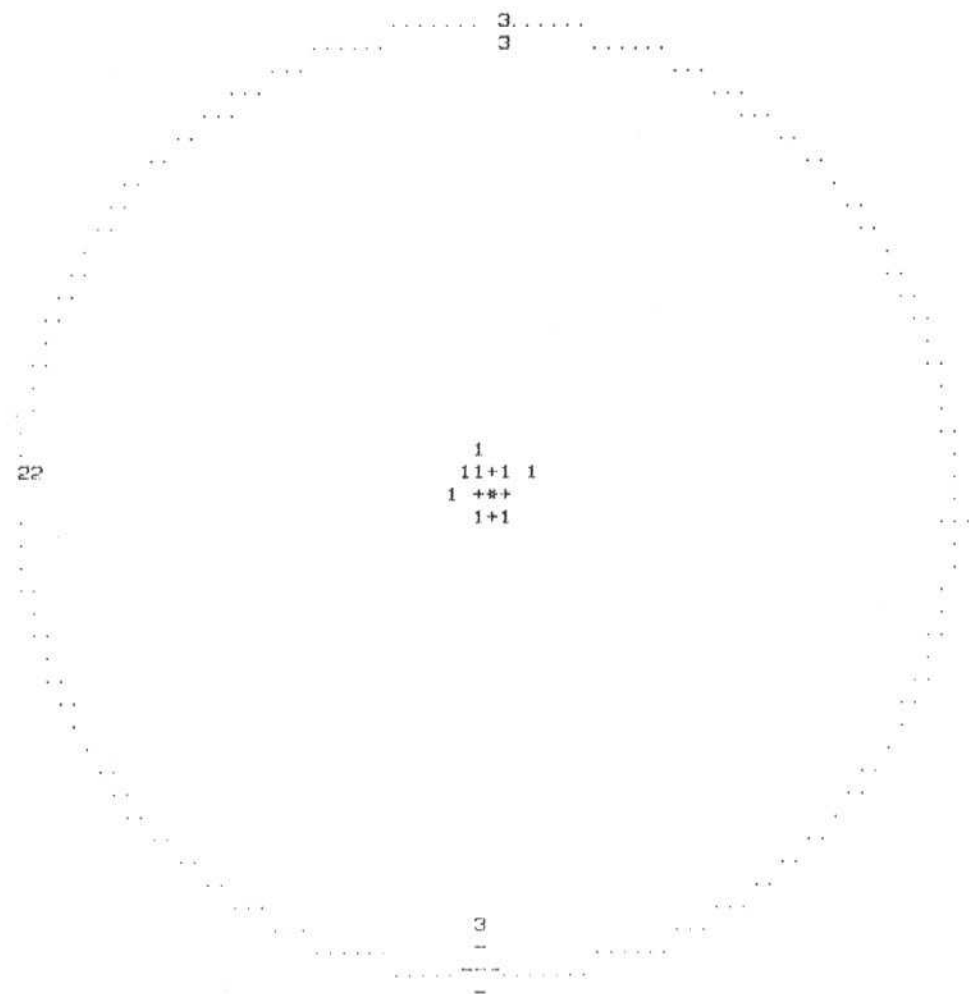
# CIERVO

GAMME	NBRE	INDICE DES VALEURS DANS CETTE GAMME
1 0.0 0.1	10	118 119 106 110 103 120 112 115 105 111
2 0.1 0.2	19	117 116 104 114 109 101 102 107 108
3 0.2 0.3	19	
4 0.3 0.4	19	
5 0.4 0.5	19	
6 0.5 0.6	19	
7 0.6 0.7	20	113



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

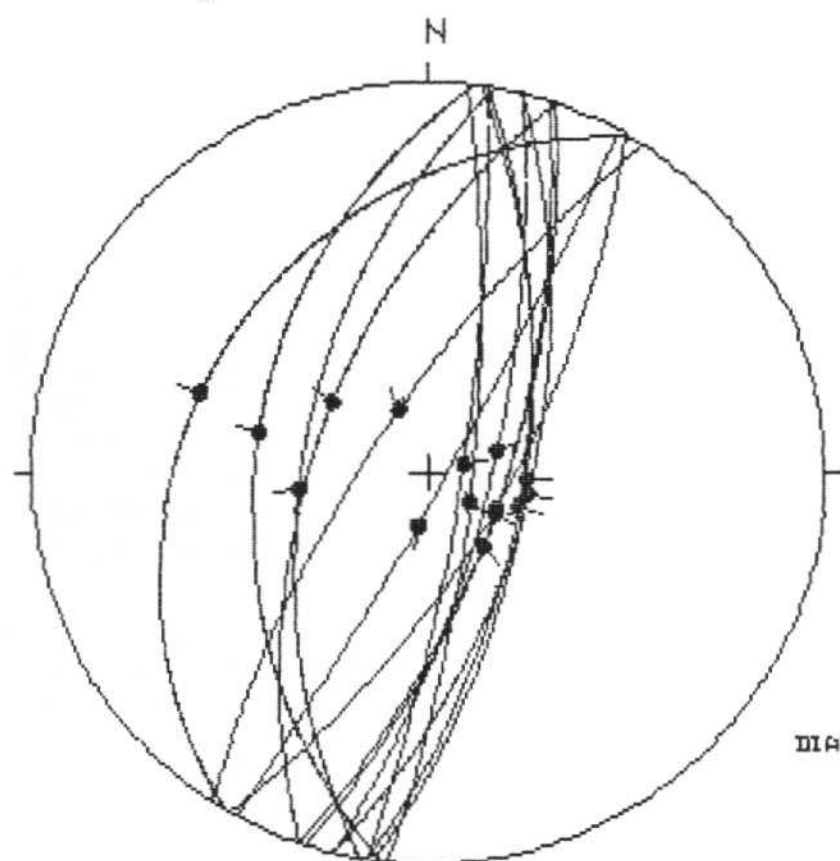
CIERVO



\*\*\*\*\*JN FINAL\*

Geología Estructural  
Univ. de Zaragoza

ESTACION: GELSA. 16



HOJA No.: 413.

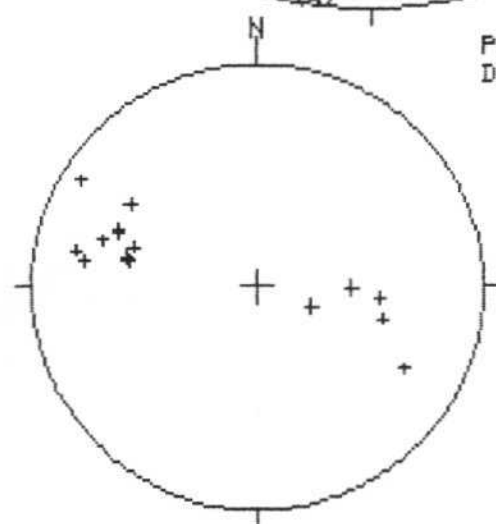
COORDENADAS UTM:  
30TYL218813.

SO: HORIZONT

EDAD/FACIES MIOCE

NÚMERO DE DATOS: 15

DIAGRAMA EN ROSA DE LOS VIENTOS  
DE DIRECCIONES DE FALLA



PROYECCION  
DE POLOS



DIPOLOS DE FALLAS SINISTRALES

+IPOLOS DE FALLAS NORMALES

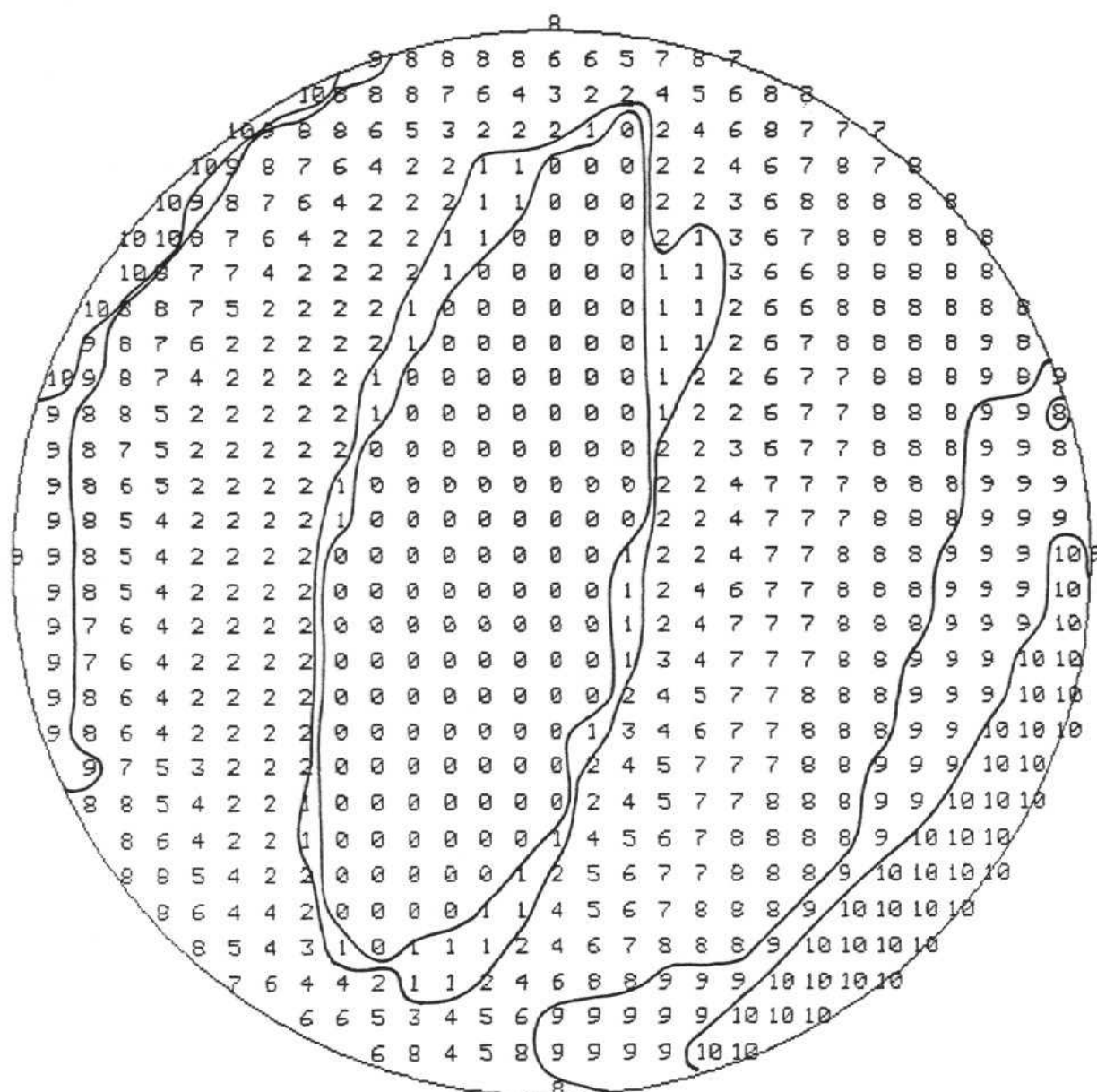
-IPOLOS DE FALLAS DEXTRALES

-IPOLOS DE FALLAS INVERSA

RADIO DE LA CIRCUNFERENCIA: 10%

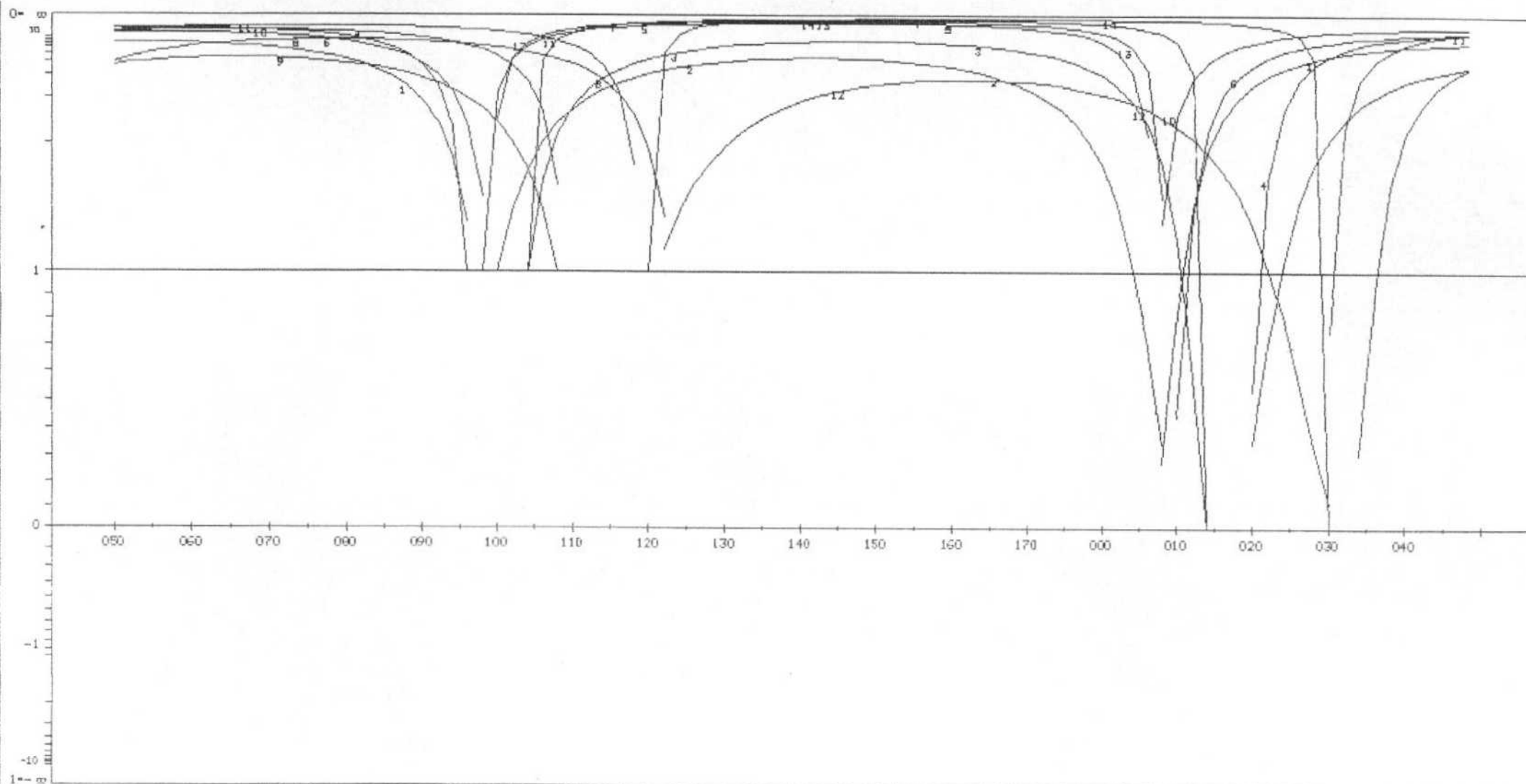
# METODO DE LOS DIEDROS RECTOS

ESTACION : GELSA.16



# METODO DE LOS DIAGRAMAS YR

ESTACION: GELSA.16 / SIN ABATIR  
GEOLOGIA ESTRUCTURAL, Universidad de Zaragoza



GELSA. 16

7	43	W	85	N	0	N	101
10	55	W	80	S	0	N	102
14	72	E	79	N	0	N	103
19	68	E	85	S	0	N	104
8	62	E	88	N	0	N	105
9	63	E	85	S	0	N	106
14	61	E	89	N	0	N	107
33	73	W	79	N	0	N	108
18	68	E	75	S	0	N	109
6	77	E	83	S	0	N	110
29	85	E	75	S	0	N	111
31	28	W	80	S	0	N	112
9	80	E	86	N	0	N	113
30	68	E	89	N	0	N	114
19	58	W	80	N	0	N	115
450	0		0		0		0

RESULTADOS METODO DE ETCHECOPAR

```

*****      PARAMETRES CHOISIS      *****
*
*  GELSA. 16
*
*
*  VALEUR DE INDX CHOISIE 5
*  POURCENTAGE SERVANT A LA MINIMISATION  90
*  NOMBRE DE TIRAGES AU HASARD  199
*  NOMBRE IMPAIR SERVANT A CE TIRAGE  991
*  NOMBRE DE TRIS DURANT LA MINIMISATION  50
*
*  PARAMETRES CHOISIS,  SIGMA 1  DIR=280  PEND=77
*  SIGMA 3  DIR=150  PEND= 8  R= 0.0700
*****

```

\*\*\*\*\* DEBUT DE L ETAPE NO 2

RESULTATS AVEC LES PARAMETRES IMPOSES

GELSA. 16

```

NO      TENSEUR EN X Y Z      DANS LES AXES PRINCIPAUX *****
SIGMA(1)= 0.64333  DIRECTION 278.5  PENDAGE 77.3
SIGMA(2)= -0.28667  DIRECTION 58.6  PENDAGE 9.8
SIGMA(3)= -0.35667  DIRECTION 150.0  PENDAGE 8.0

```

RAPPORT R = 0.07

LA FONCTION A MINIM EST EGALE A: 0.1264 POUR LES 13 PREMIERES DONNEES TRIEES PAR LE PROGRAMME  
ET A 0.2783 POUR L ENSEMBLE DU PAQUET

GAMME	NBRE	INDICE DES VALEURS DANS CETTE GAMME
1 0.0 0.1	8	108 101 104 106 110 111 112 105
2 0.1 0.2	13	107 115 109 113 114
3 0.2 0.3	15	102 103

TENSEUR A L ITERATION 4

GELSA. 16



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

SIGMA(1)=	0.64451	DIRECTION	281.7	PENDAGE	77.7
SIGMA(2)=	-0.28901	DIRECTION	60.6	PENDAGE	9.3
SIGMA(3)=	-0.35549	DIRECTION	151.9	PENDAGE	7.9

RAPPORT R = 0.07

LA FONCTION A MINIM EST EGALE A: 0.1228 POUR LES 13 PREMIERES DONNEES TRIEES PAR LE PROGRAMME  
ET A 0.2680 POUR L ENSEMBLE DU PAGUET

\*\*\*\*\* FIN DE L ETAPE NO 2

\*\*\*\*\*DEBUT DE LA TROISIEME ETAPE

REGRESSION MOINDRE CARR SUR LES 13PLUS FAIBLES ECARTS

ECART MOYEN EN DEGRES 6.69119

COMP NO 1	ERR SUR DIREC	24.2	ERR SUR PEND	22.8
COMP NO 2	ERR SUR DIREC	135.0	ERR SUR PEND	14.3
COMP NO 3	ERR SUR DIREC	131.2	ERR SUR PEND	34.9

ERREUR SUR R 0.14E+00

GELSA. 16

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

SIGMA(1)=	0.64307	DIRECTION	282.2	PENDAGE	77.2
SIGMA(2)=	-0.28613	DIRECTION	54.3	PENDAGE	8.7
SIGMA(3)=	-0.35693	DIRECTION	145.7	PENDAGE	9.4

RAPPORT R = 0.07

LA FONCTION A MINIM EST EGALE A: 0.1226 POUR LES 13 PREMIERES DONNEES TRIEES PAR LE PROGRAMME  
ET A 0.2745 POUR L ENSEMBLE DU PAGUET

# REPRESENTATION SUR CERCLE DE MOHR



LE CARACTERE A	CORRESPOND AUX DONNEES 101 104 109
LE CARACTERE B	CORRESPOND AUX DONNEES 108
LE CARACTERE C	CORRESPOND AUX DONNEES 106
LE CARACTERE D	CORRESPOND AUX DONNEES 110
LE CARACTERE E	CORRESPOND AUX DONNEES 105
LE CARACTERE F	CORRESPOND AUX DONNEES 107
LE CARACTERE G	CORRESPOND AUX DONNEES 115
LE CARACTERE H	CORRESPOND AUX DONNEES 111
LE CARACTERE I	CORRESPOND AUX DONNEES 112
LE CARACTERE J	CORRESPOND AUX DONNEES 114
LE CARACTERE K	CORRESPOND AUX DONNEES 113

\*\*\*\*\* FIN DE L ETAPR NO 3

\*\*\*\*\* DEBUT DE L ETAPE NO 4

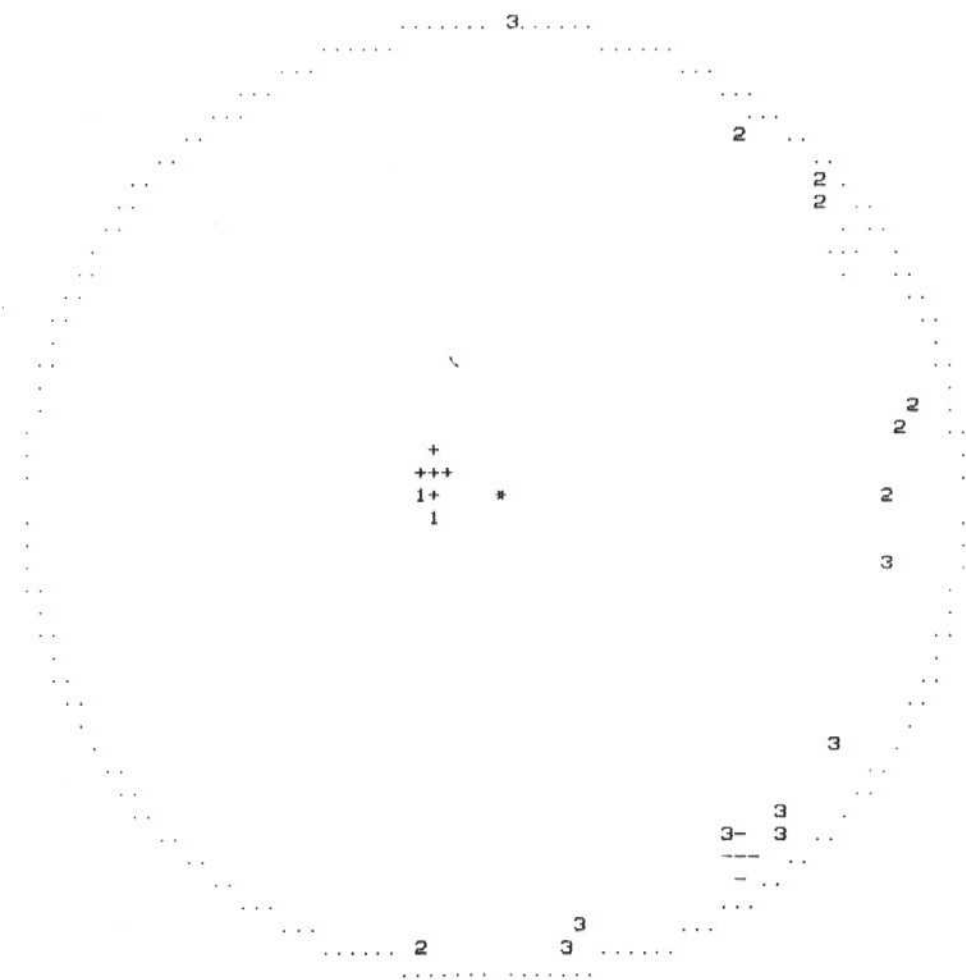
0.771769E+02 0.867659E+01 0.936879E+01 0.282185E+03 0.542855E+02 0.145728E+03

GELSA. 16

GAMME	NBRE	INDICE DES VALEURS DANS CETTE GAMME
1 0.0 0.1	8	101 104 108 106 110 105 107 115
2 0.1 0.2	13	111 112 114 113 109
3 0.2 0.3	15	103 102

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

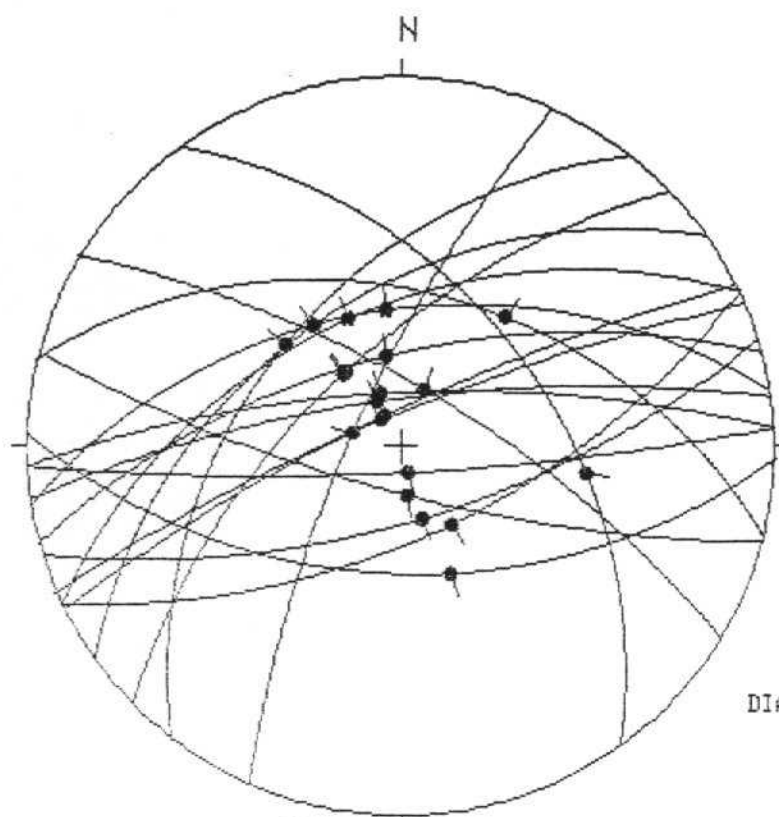
GELSA: 16



\*\*\*\*\*FIN FINALE

Geología Estructural  
Univ. de Zaragoza

ESTACION: GELSA 22



HOJA No.: 413 ...

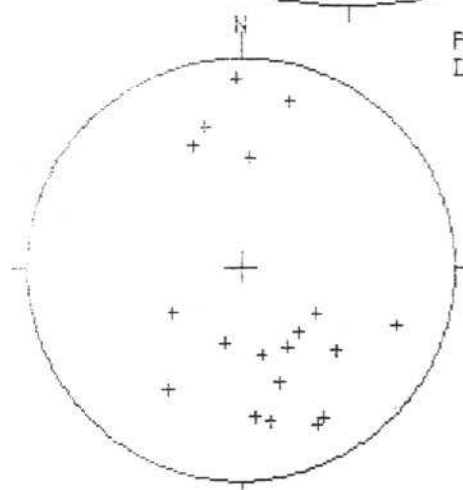
COORDENADAS UTM:  
30TYL106864  
.....

So: HORIZONTAL

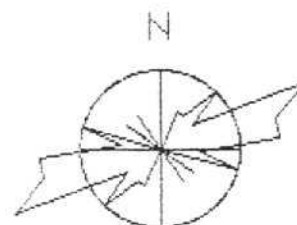
EDAD/FACIES MIocene.

NUMERO DE DATOS: 20

DIAGRAMA EN ROSA DE LOS VIENTOS  
DE DIRECCIONES DE FALLA



PROYECCION  
DE POLOS



0: POLOS DE FALLAS SINISTRALES

+ : POLOS DE FALLAS NORMALES

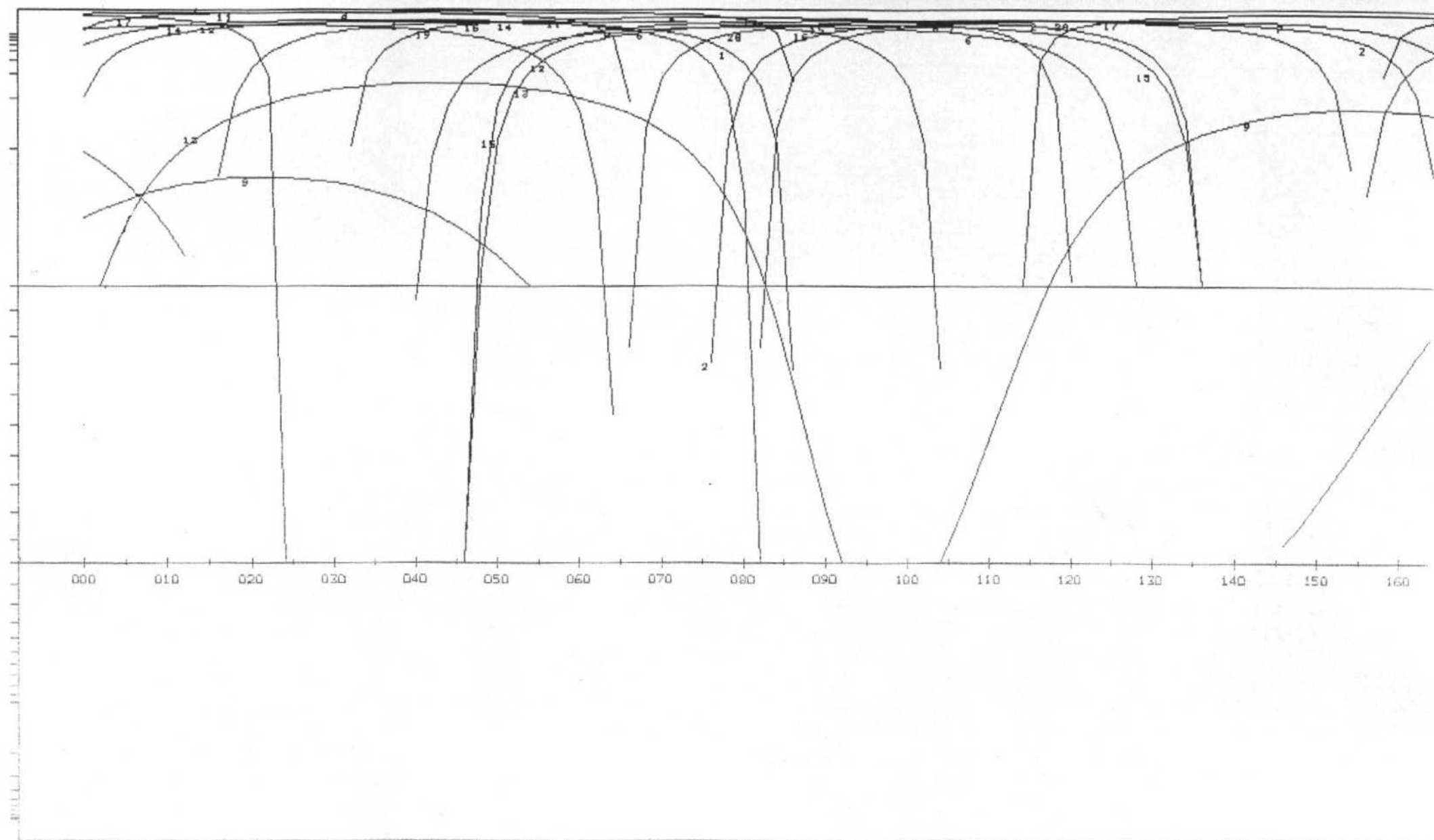
\* : POLOS DE FALLAS DEXTRALES

- : POLOS DE FALLAS INVERSAS

RADIO DE LA CIRCUNFERENCIA = 10%

METODO DE LOS DIAGRAMAS YR

ESTACION: GELSA 22





SECUA 22

84	73
84	82
84	79
87	82
88	45
88	45
81	49
46	82
04	44
44	46
87	50
86	82
81	82
82	75
46	82
105	76
84	75
73	67
101	71
85	49
80	0

N	83	E	0	N	1
N	87	E	0	N	2
N	90	N	0	N	3
S	88	E	0	N	4
N	90	N	0	N	5
N	87	S	0	N	6
N	88	S	0	N	7
N	87	E	0	N	8
N	72	E	0	N	9
E	86	E	0	N	10
N	83	S	0	N	11
S	86	E	0	N	12
S	75	E	0	N	13
N	83	E	0	N	14
N	86	E	0	N	15
S	84	E	0	N	16
N	88	E	0	N	17
S	90	N	0	N	18
N	87	E	0	N	19
N	88	E	0	N	20
	0		0		0

RESULTADOS METODO DE ETCHECOPAR

```

*****
PARAMETRES CHOISIS *****
*
* SELSA 22
*
*
* VALEUR DE INDX CHOISIE 1
* POURCENTAGE SERVANT A LA MINIMISATION 95
* NOMBRE DE TIRAGES AU HASARD 140
* NOMBRE IMPAIR SERVANT A CE TIRAGE 123
* NOMBRE DE TRIS DURING LA MINIMISATION 50
*
*****

```

NBRE DE DONNEES 19 PARAMETRES 1.1327 1.4249 1.5222 0.0815 FONCTION 0.569561E+02

\*\*\*\*\* FIN DE L ETAPE NO 1

\*\*\*\*\* DEBUT DE L ETAPE NO 2

TENSEUR A L ITERATION 7

SELSA

NO	TENSEUR EN X Y Z	DANS LES AXES PRINCIPAUX *****	
	SIGMA(1)= 0.66074	DIRECTION 116.5	PENDAGE 86.4
	SIGMA(2)= -0.32149	DIRECTION 225.1	PENDAGE 1.1
	SIGMA(3)= -0.33926	DIRECTION 315.2	PENDAGE 3.4

RAPPORT R = 0.02

LA FONCTION A MINIM EST EGALE A: 0.1504 POUR LES 19 PREMIERES DONNEES TRIEES PAR LE PROGRAMME  
ET A 0.4140 POUR L ENSEMBLE DU PAQUET

\*\*\*\*\* FIN DE L ETAPE NO 2

\*\*\*\*\* DEBUT DE LA TROISIEME ETAPE

REGRESSION MOINDRE CARR SUR LES 19 PLUS FAIBLES ECARTS

ECART MOYEN EN DEGRES 5.73917

EMP NO 1	ERR SUR DIREC 109.7	ERR SUR PEND	7.6
EMP NO 2	ERR SUR DIREC 201.2	ERR SUR PEND	7.7
EMP NO 3	ERR SUR DIREC 202.3	ERR SUR PEND	8.9

ERREUR SUR P 0.64E-01

DEUDA

Tenseur en X Y Z		DANS LES AXES PRINCIPAUX	
SIGMA(1)=	0.66072	DIRECTION	116.5
SIGMA(2)=	-0.32144	DIRECTION	225.7
SIGMA(3)=	-0.33928	DIRECTION	315.8
RAPPORT R =		PENDAGE	86.4
		PENDAGE	1.2
		PENDAGE	3.4

\*\*\*\*\*

LA FONCTION A MINIM EST EGALE A: 0.1504 POUR LES 19 PREMIERES DONNEES TRIEES PAR LE PROGRAMME  
ET A 0.4143 POUR L'ENSEMBLE DU PAQUET



# REPRESENTATION SUR CERCLE DE MOHR

FR. T. H.

Centro de Cálculo de la Universidad de Zaragoza



LE	CARACTERE A	CORRESPOND AUX DONNEES	16
LE	CARACTERE B	CORRESPOND AUX DONNEES	20
LE	CARACTERE C	CORRESPOND AUX DONNEES	2
LE	CARACTERE D	CORRESPOND AUX DONNEES	12
LE	CARACTERE E	CORRESPOND AUX DONNEES	3
LE	CARACTERE F	CORRESPOND AUX DONNEES	7
LE	CARACTERE G	CORRESPOND AUX DONNEES	8 15
LE	CARACTERE H	CORRESPOND AUX DONNEES	6
LE	CARACTERE I	CORRESPOND AUX DONNEES	5 9
LE	CARACTERE J	CORRESPOND AUX DONNEES	11
LE	CARACTERE K	CORRESPOND AUX DONNEES	17 1
LE	CARACTERE L	CORRESPOND AUX DONNEES	18
LE	CARACTERE M	CORRESPOND AUX DONNEES	4
LE	CARACTERE N	CORRESPOND AUX DONNEES	19
LE	CARACTERE O	CORRESPOND AUX DONNEES	14
LE	CARACTERE P	CORRESPOND AUX DONNEES	13

\*\*\*\*\* FIN DE L ETAPR NO 3

\*\*\*\*\* DEBUT DE L ETAPE NO 4

0.864425E+02 0.116948E+01 0.335933E+01 0.116512E+03 0.225681E+03 0.315750E+03



Centro de Cálculo da Universidade de Maringá

[illegible]

25.84

Collection de 600 cartes et 1000 photographes

+

~~~~~F IN FINALE

0-447-72590-9 \$29.95