

HOJA N° 386 (PENALBA)
NEOTECTONICA.

Luis ARLEGUI CRESPO y Carlos LIESA CARRERA
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 un único caso 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 cuatro tipos fundamentales de deformaciones que afectan únicamente a los materiales de la serie miocena, pero cuya edad puede interpretarse razonablemente como situada en el Mioceno superior-Plioceno:

(a) Basculamientos de la serie miocena, 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, miocenos (calizas y areniscas, fundamentalmente) y cuaternarios, y siguen unos patrones geométricos bastante

sistemáticos que, como ya veremos, permiten relacionarlas con las trayectorias regionales del campo de esfuerzos reciente.

(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.

(d) Sistema de fallas normales de dirección aproximada NW-SE, y que prácticamente cortan la Hoja de un extremo a otro.

No obstante, cabe señalar asimismo la presencia de un denso haz de lineamientos de dirección 120-130, perfectamente visibles en la fotografía aérea, que pueden interpretarse sin demasiados problemas como líneas de fractura. Dichos lineamientos vienen marcados por valles rectilíneos, pudiendo en ocasiones reconocerse varios de ellos alineados. Ocupan toda la parte sur y suroeste de la hoja, quedando completamente excluidos los relieves de la Sierra de Sigüenza. Cabe inferir, por tanto, que la fracturación sólo afecta a los términos inferiores de la serie miocena, con lo cual no existen argumentos que permitan encuadrarla en el ámbito temporal de la neotectónica. Por otra parte, resulta muy difícil conocer el carácter de tales fracturas. Es posible tanto que se trate de fallas normales relativamente tardías como de fallas de desgarre relacionadas con eventos compresivos del Mioceno inferior.

BASCULAMIENTOS DE LA SERIE MIOCENA.

En las unidades yesíferas que ocupan la mitad meridional de la hoja 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. Por encima yace la serie de la Sierra de Sigüenza, que presenta en general una disposición subhorizontal.

En varios sectores de la hoja las capas aparecen levemente basculadas (unos 2° en promedio) hacia el W o el SW. 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 mereciese una mayor atención de no ser porque la misma disposición 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.

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. 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. El cociente entre espaciado de diaclasas y espesor de capas suele estar comprendido entre 0.4 y 1.5, con dos máximos relativos en 0.5 y 1 (Ver gráfica nº 1).

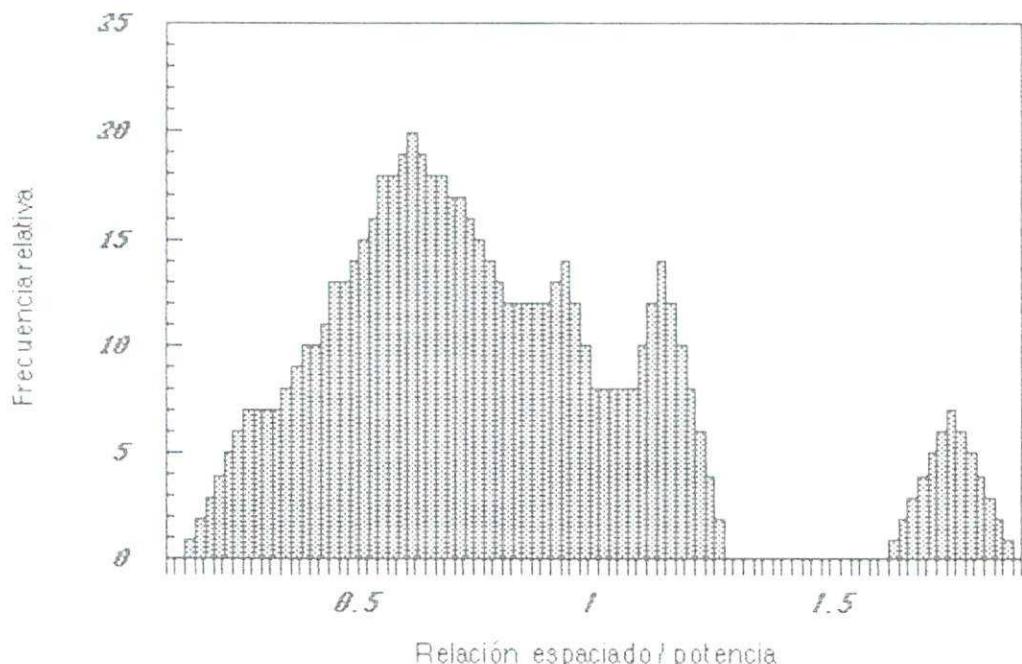


Figura 1. Diferencia entre el espaciado y la potencia de las capas expresada como porcentaje. Datos de 17 estaciones. El gráfico ha sido suavizado (ver anexo) dos veces. La frecuencia relativa se obtiene en el proceso de suavizamiento y es un parámetro arbitrario sin otro propósito que permitir la comparación entre gráficos análogos.

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 mediciones hechas por nosotros no se desprende tal relación. Las figuras 2 y 3 muestran que tanto el especiado absoluto

como el cociente espaciado / espesor tienen unos rangos de variación constantes independientemente de la cota del afloramiento en que se han medido. Aunque en el gráfico de relación espaciado-cota puede definirse una recta de regresión con pendiente positiva, es evidente que el coeficiente de correlación entre ambas variables es demasiado pequeño para tomarlo seriamente en consideración. En la figura 4 se observa una cierta tendencia a la disminución proporcional del espaciado conforme aumenta la potencia de las capas.

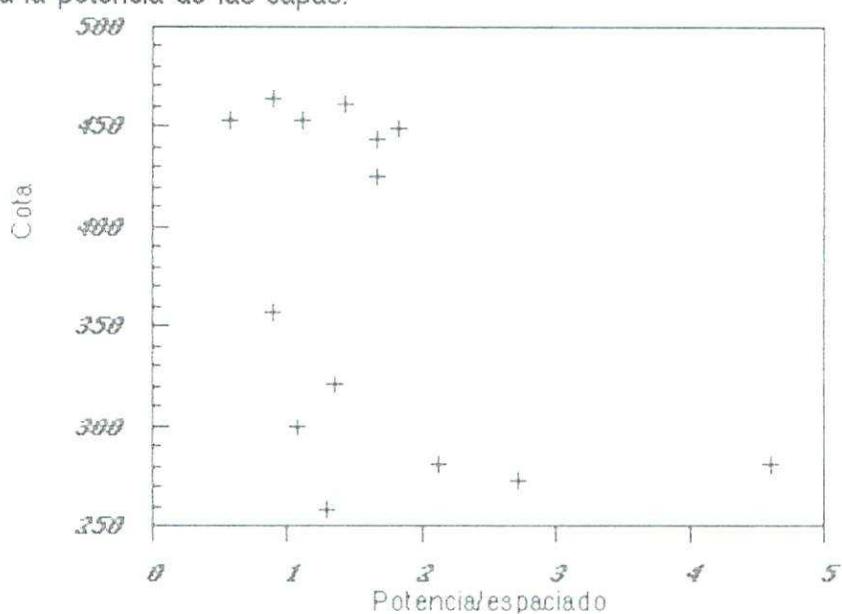


Figura 2. Variación de la relación potencia /espaciado frente a la cota. No se aprecia ninguna dependencia.

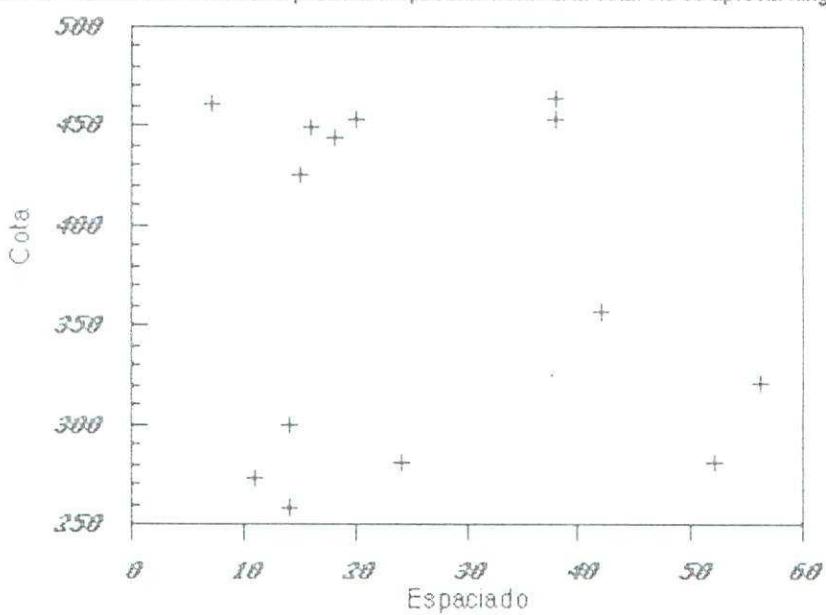


Figura 3. Variación del espaciado frente a la cota. Las variables son obviamente independientes

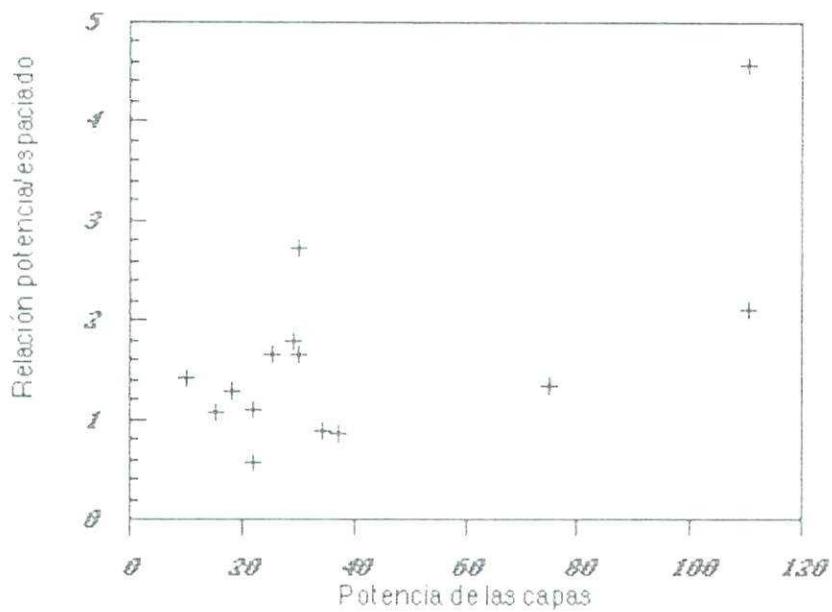


Figura 4. Variación en la relación potencia/espaciado con el aumento en la potencia. Se observa que para las capas de mayor espesor el espaciado es proporcionalmente menor

Se trata de planos de traza rectilínea, en general, si bien algunos presentan cierta irregularidad, especialmente los que aparecen en litologías detriticas. Su continuidad oscila según de qué familia se trate: la familia N-S 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 pocos casos aparecen marcas de superficie predominando los escalonados, aunque también se han encontrado unas escasas y débiles marcas plumosas (*hackle marks*).

Se han estudiado un total de 29 estaciones de diaclasas. En cada una se han tomado, como mínimo, 50 medidas de direcciones. 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 N-S (ligeramente desviada, en unos casos, hacia NNW y, más raramente, hacia NNE) contra la que se corta una segunda familia

perpendicular ó casi perpendicular a la anterior. Lo normal es que la familia N-S 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 N-S 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 (019, caso más extremo, estación 26) hasta NNW (161, el más inclinado al W, estación 15). La familia E-W es menos sistemática, y su orientación va desde 073 hasta 111 en aquellos afloramientos en que el sistema es simple (donde sólo aparece una familia E-W). En algunas estaciones, esta familia, siempre secundaria, se presenta como bimodal, o aún trimodal (como bimodales: 10, 21, 23, 27, 28; y trimodales: 2, 3, 15, 19).

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 algunos afloramientos (12, 13, 14, 19) se ha detectado, coexistiendo con el anterior, el estilo en A, en el que los "brazos" de la A los forman diaclasas N-S cuya bisectriz es paralela aparentemente a las diaclasas también N-S del esquema en H, y contra las que se cortan diaclasas pertenecientes a la familia E-W. En estos casos se observó que el afloramiento presentaba una cierta zonación, con ambos estilos alternándose, apareciendo el A a intervalos aproximadamente regulares. Observaciones en afloramientos privilegiados (estación 18) inducen a pensar que no se trata propiamente del esquema en A, sino de zonas lenticulares de diaclasas híbridas tensionales. Esta interpretación se ve apoyada por la presencia de escalonados ('stepping') en algunos planos de la familia N-S. Tales escalonados se suelen 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 la estación 18 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 , obteniéndose una dirección de 174, paralela a la deducida del análisis de las diaclasas interpretadas como tensionales puras (175).

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 SIMON GOMEZ (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 *rifting* 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 (SIMON *et al.*, 1988).

Existen algunos afloramientos en los que el esquema de fracturación no es exactamente el mismo, bien porque aparece alguna otra familia de fracturas añadida a las dos mencionadas o bien porque dominan otras direcciones., con domino de una dirección NE, o con dominio de una dirección ESE a SE. Estas direcciones anómalas podrían interpretarse como producto de una desviación de las trayectorias de esfuerzos por efecto de fallas mayores preexistentes en el sustrato. De acuerdo con los mismos modelos de SIMON *et al.* (1988), las trayectorias de σ_2 y σ_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, en toda la mitad sur de la hoja (y de la vecina de Castejón de Monegros) se extiende un haz de fracturas de esa dirección, parece lógico pensar en el fenómeno de perturbación de los esfuerzos antes mencionado.

SISTEMAS DE FALLAS NORMALES. PALEOESFUERZOS.

En puntos aislados de la hoja, y en cantidad bastante modesta, se han observado fallas normales con nulo ó pequeño desplazamiento. En tres estaciones se han medido poblaciones de ellas suficientemente numerosas para acometer su análisis e interpretar

los elipsoides de esfuerzos neógenos, y en una cuarta (estación 31) se han medido un número muy pequeño de fallas a modo orientativo. Los datos de planos y estrías han sido analizados mediante el diagrama de *diedros rectos* (ANGELIER y MECHLER, 1977), el *diagrama y-R* (SIMON, 1986) y el *método de Etchecopar* (ETCHECOPAR et al., 1981).

Los resultados del análisis de estas fallas en las estaciones 9, 22, 30 y 31 (ver anexo) no coinciden con las características del campo regional de esfuerzos y podría estar relacionado con perturbaciones de las trayectorias de esfuerzos del tipo descrito en el apartado anterior. De hecho, las estaciones 9 y 31 están muy próximas a una zona de fracturas distensivas cartográficas que tienen dirección NE-SW, y las otras dos (22 y 30), se sitúan cerca de la zona de haces de fracturas existentes al SW de la hoja, y que llevan igual dirección. En todas ellas se obtiene una relación parecida de los ejes de esfuerzo, dando tensores de distensión radial, en un caso distensión radial pura. En la estación P-9, el tensor presenta un valor de $R=(\sigma_2-\sigma_3) / (\sigma_1-\sigma_3)=0.04$ con el eje principal σ_3 con dirección 061, a pesar de la no orientación aparente de los planos de falla. Los resultados obtenidos por los métodos de los diedros rectos y del diagrama y-R son coherentes con los del método de Etchecopar. La estación 31, con tan sólo 5 fallas no ha permitido calcular el tensor de esfuerzos. A pesar de ello, la orientación preferente de las mismas en torno a NNW aboga la idea de un eje de extensión con dirección aproximada ESE. Este resultado es acorde con los obtenidos en la estación anterior que, al igual que esta, se situaba en las proximidades de la estructura NW-SE que corta la hoja. La no perpendicularidad de σ_3 con las fracturas mayores en la estación P-9 puede deberse a su proximidad al extremo de la falla, por lo que según el modelo de SIMON et al. (1988), su orientación no puede ser perpendicular o paralela a la mencionada falla sino oblicua.

El tensor de esfuerzos obtenido en la estación P-22 muestra una relación de esfuerzos de distensión radial pura ($R=0.00$, $\sigma_2=\sigma_3$) con un σ_3 de dirección 132 (tensor 1), resultado lógico por la orientación de las fallas entre N-S y E-W con claro predominio de las direcciones NE-SW. Pese a lo que cabría esperar, por ser $R=0$, la solución con los ejes intercambiados ($\sigma_3=40$) no aparece en el método de Etchecopar y si se obtiene en cambio la solución $\sigma_3=90$ (segunda solución) casi tan satisfactoria como la enunciada. Todo ello viene determinado por la orientación preferente de las fallas antes mencionada. El diagrama de diedros rectos indica una dirección de σ_3 en torno a ESE, solución intermedia a las obtenidas, y antes comentadas, para el método de Etchecopar. El diagrama y-R resulta en este caso poco expresivo.

En la estación P-30, el tensor de esfuerzos muestra el valor de la relación de esfuerzos $R=0.06$ con el σ_3 de dirección 139, acorde con la orientación preferente de las fallas NE-SW. El diagrama de los diedros rectos resulta muy poco expresivo siendo favorables direcciones de extensión entre 090 y 190. El diagrama y-R no aporta ninguna solución nueva, e incluso la deducida por el método de Etchecopar aparece poco definida. No obstante, los resultados obtenidos, bastante parecidos a los deducidos para la estación anterior, situada muy próxima (ver mapa), indicarían un parecido, si no igual, estado de esfuerzos.

Sin duda este tensor de esfuerzos refleja una situación de perturbación del campo distensivo regional, lo cual resulta coherente con la ubicación de la estación en la zona de fracturas NW-SE del sur de la hoja. Es muy probable que esta fracturación previa haya producido la desviación de las trayectorias de esfuerzos para orientar el σ_3 paralelo a las mismas, circunstancia prevista por los modelos de SIMON *et al.* (1988).

SISTEMAS DE FALLAS NORMALES DE ESCALA CARTOGRAFICA

Se han observado tres fallas normales de escala cartográfica que tienen como orientación dominante la NW-SE. Estas fallas llevan asociadas estructuras de tipo 'pliegue en rodilla' que dan paso a la rotura frágil de las capas. No se ha podido medir en todos los casos el salto que producen, si bien lo estimamos del orden de la decena de metros. Afectan a materiales de la serie miocena basculados previamente. La combinación de este basculamiento previo con anticlinales suaves de "roll-over" (acomodación de los materiales del bloque superior a una geometría curva de la falla) produce un esquema complejo de buzamientos en los entornos de las fallas, singularmente en el cuadrante NW de la Hoja.

A unos 350 metros al SW de la estación 9 (en el punto de coordenadas U.T.M. 31TBG523040) se observó la presencia de un área de fractura, de salto normal de unos cuatro o cinco metros. Esta compuesta por un sistema de fallas sintéticas y antitéticas. El bloque hundido a nivel del conjunto, en este caso, es el sur-occidental. La dirección de la falla es aproximadamente 140.

En el punto de coordenadas U.T.M. 31TYM412141, en el cuadrante NW de la hoja, se observa la presencia de un sistema complejo de fallas y flexiones que interpretamos

como una fractura normal cuyo bloque hundido es el nor-oriental. En esta zona, se pasa de SW a NE, en 4 ó 5 metros a lo sumo, de unas capas de buzamiento promedio 13° hacia el SW a una zona de flexura donde las capas alcanzan buzamientos de hasta 70° o incluso cercanas a la verticalidad hacia el NE. En la propia zona de fractura las capas presentan una estructura caótica dada la alta densidad de microfallas allí presentes. A partir de este punto y por espacio de varios centenares de metros las capas se disponen buzando hacia el contacto mecánico, lo que interpretamos como una estructura de "roll-over", dado que este buzamiento va disminuyendo conforme nos alejamos de la falla. A partir de una zona de estratificación horizontal nos encontramos con buzamientos hacia el NE progresivamente mayores. En este punto interpretamos que se trata de una nueva estructura de "roll-over" asociada a una falla cartográfica subparalela a la anterior y de salto contrario (ver figura 2 del apéndice). El conjunto toma así el aspecto de una estructura de falso anticlinal en el espacio comprendido entre las dos fallas. Además, al NE de esta estructura, y con igual dirección, se cartografía un "pseudosinclinal" que interpretamos como la estructura formada por los basculamientos hacia el SW de la zona más nor-oriental y por los basculamientos hacia el NE de las zonas adyacentes al bloque levantado por la falla.

En el sector NW de la hoja se observó la existencia de una falla normal de salto métrico a decamétrico en la que de nuevo aparecían estructuras similares a las descritas. El bloque hundido en este caso es el sur-occidental. Podría tratarse de la misma falla que da lugar al flanco N del falso anticlinal antes descrito. En las proximidades de la falla se encontraron varias microfallas de salto normal decimétrico y aparentemente paralelas a la misma (NW-SE).

En la foto aérea se observa que las fallas poseen una considerable continuidad lateral, y que el sistema comprende un cierto número de fallas antitéticas también de escala cartográfica, aunque de menor desarrollo longitudinal.

En el extremo nor-oriental de la hoja aparece una falla normal de escala hectométrica con dirección NNW-SSE con el bloque occidental hundido y que produce una zona de flexura en los materiales miocenos que llegan a alcanzar buzamientos de 30° hacia el W. Representaría una nueva estructura que responde al modelo antes propuesto.

FRACTURAS CUATERNARIAS

Aunque en la mayor parte de los afloramientos estudiados en materiales cuaternarios éstos se hallan indeformados, en uno se han observado sistemas de fracturas, si bien carentes de desplazamiento. Los planos en su mayoría subverticales, y frecuentemente aparecen ligeramente abiertos. El único afloramiento estudiado (estación P-29, ver anexo) corresponde a un nivel alto de glacis (cota 380), sobre el que se había desarrollado un caliche, y en él se han medido 40 fracturas. Las direcciones de fracturas de la estación se han representado como antes se había hecho para las diaclasas y la cual aparece en el anexo de la memoria. En el mismo afloramiento se ha medido el diaclasado sobre los materiales miocenos, en donde se ha observado que seguía el patrón estándar, determinado por una familia NNW-SSE y otra subortogonal (ENE). Se ha observado como el glacis fosilizaba el diaclasado de los materiales miocenos (figura 3). Las familias de fracturas que se observan en el glacis presentan direcciones variadas: Unas siguen el patrón mioceno, aunque algo girado en sentido horario, tomando direcciones N-S y su ortogonal E-W; Otras siguen direcciones NE-SW y su ortogonal NW-SE.

A pesar de esta variedad de direcciones, no creemos que la génesis de los sistemas de fracturas cuaternarias pueda obedecer a otra causa más verosímil que el propio campo tectónico regional. El carácter subvertical de sus planos y la coincidencia de algunas de las fallas identificadas con las de diaclasas miocenas permiten considerarlas como fracturas tensionales coherentes con el mismo campo de esfuerzos de distensión radial. Las familias NW y NE, aunque anómalas con respecto a las características primarias de dicho campo, pueden responder a situaciones de perturbación de las trayectorias de esfuerzos. No olvidemos que, en la misma área, aparecen estaciones de diaclasas y de fallas que presentan las mismas direcciones anómalas de los esfuerzos.

CONCLUSIONES.

Hacia el Mioceno superior-Plioceno se produjo en la región una tectónica de tipo distensivo que produjo diaclasado bastante homogéneo, y débiles pero extensos basculamientos probablemente controlados por grandes fallas del subsuelo. Esta distensión sería también la responsable de las fallas de escala cartográfica que se presentan en esta Hoja. 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. En ciertas zonas, la presencia de una fracturación previa NW-SE es probablemente la razón de que las trayectorias del campo de esfuerzos regional se desvíen para hacerse paralelas y perpendiculares a las mismas.

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 mioceno.

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.
- 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., y ENGELDER, T. (1989): Neotectonic Joints. *Geological Society of America Bulletin*, **101**: 1197-1208.
- 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

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, miocenos y oligocenos:

En cada cada histograma están representados al menos 50 datos. 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 2º 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 14º en torno al centro de la misma. Este paso es lo que se suele denominar como "primer suavizamiento". La repetición del proceso suele ser aconsejable (WISE & MCCRORY, 1982), no obstante se decidió no llevarla a cabo por considerar que ya se habían obtenido los resultados deseados.

(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): 9,22,30

(a) Proyección estereográfica equiangular de ciclográficas y estriadas 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 especie. El máximo indica la posición más probable del eje σ_3 y el mínimo la de σ_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 (1959):

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

donde θ es el cabeceo de la estria potencial o teórica sobre el plano de falla; l, m y n son los cosenos directores de dicho plano; σ_z es el eje de esfuerzo vertical, y 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 estriadas 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 estriadas teóricas y reales, donde se sitúan todas las fallas de acuerdo con su numeración en el listado inicial.

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



A



B

FIGURA 1. Basculamientos del conjunto de la serie miocena: A) 6 km. al Norte de Candásnós. B) en la parte nor-occidental de la hoja, coordenadas UTM 31TBG 604086.

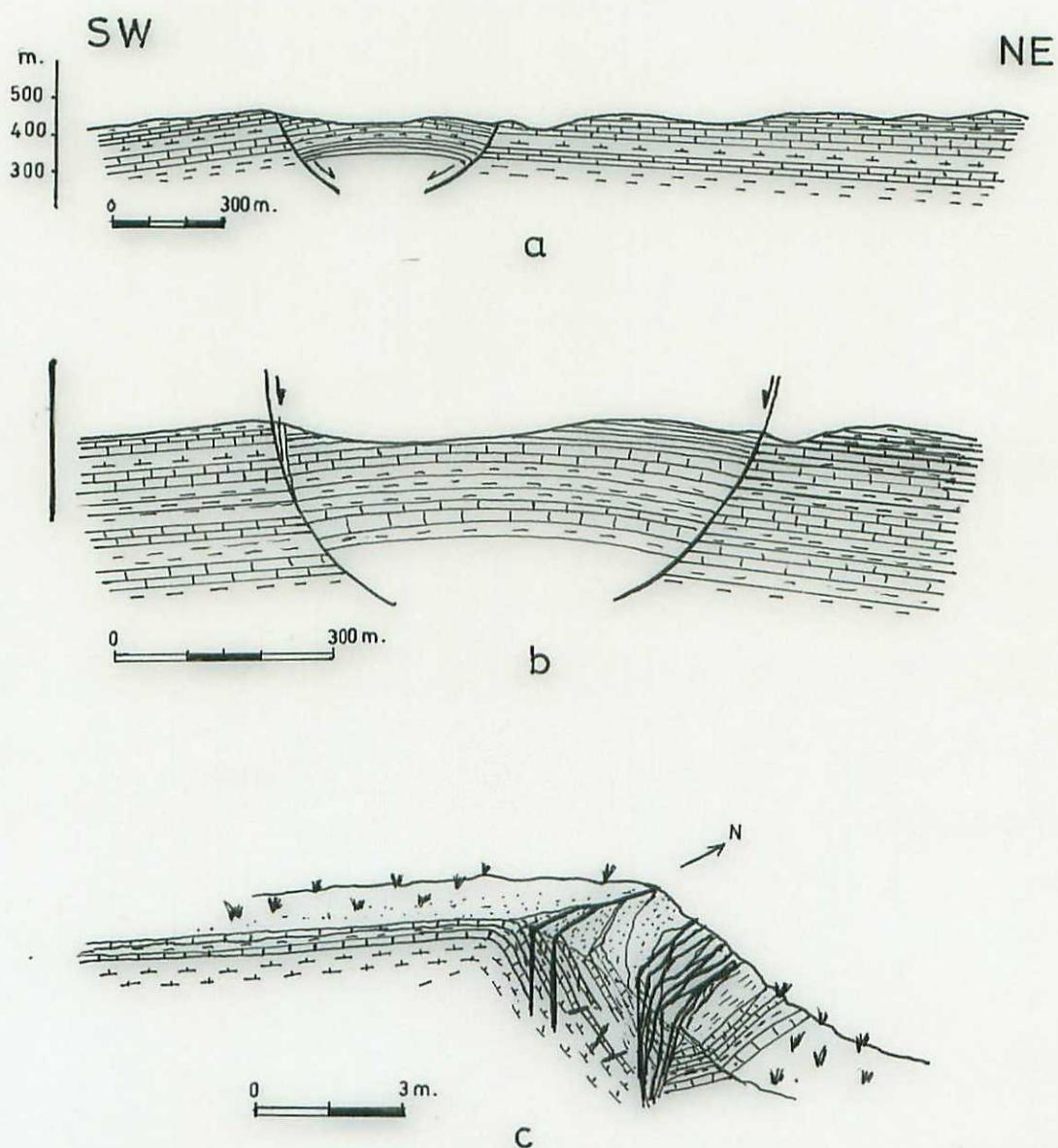
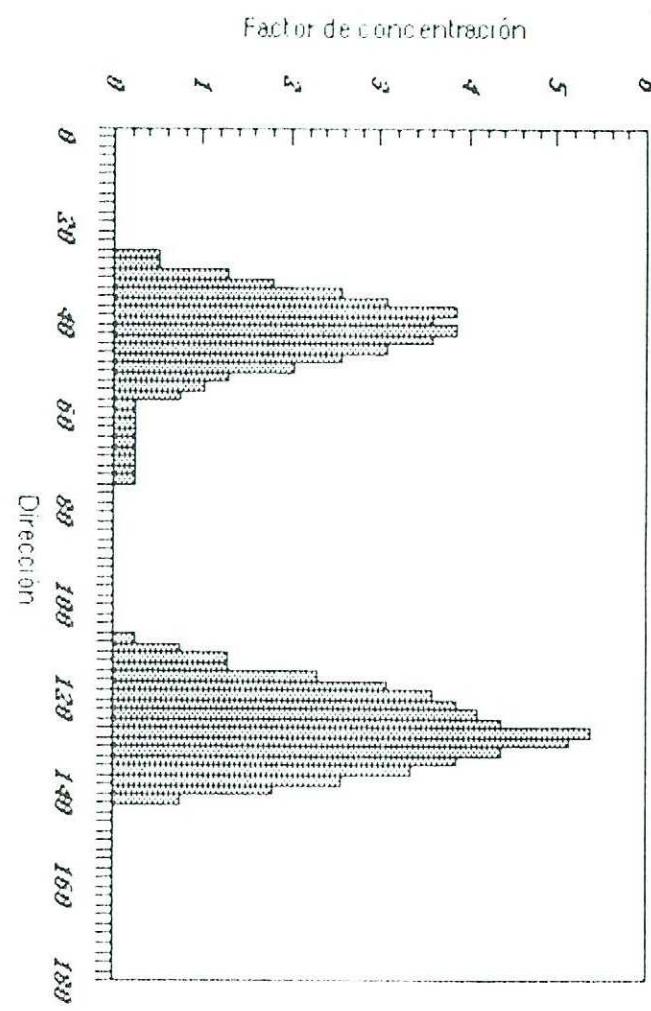


FIGURA 2. Corte interpretativo entre las estaciones 26 y 27.
 a y b falso anticlinal formado por dos estructuras en "roll-over" asociadas a sendas fallas normales.
 c detalle de la falla suroccidental en el que se aprecia una zona de flexión en rodilla y una zona de alta densidad de fracturación.

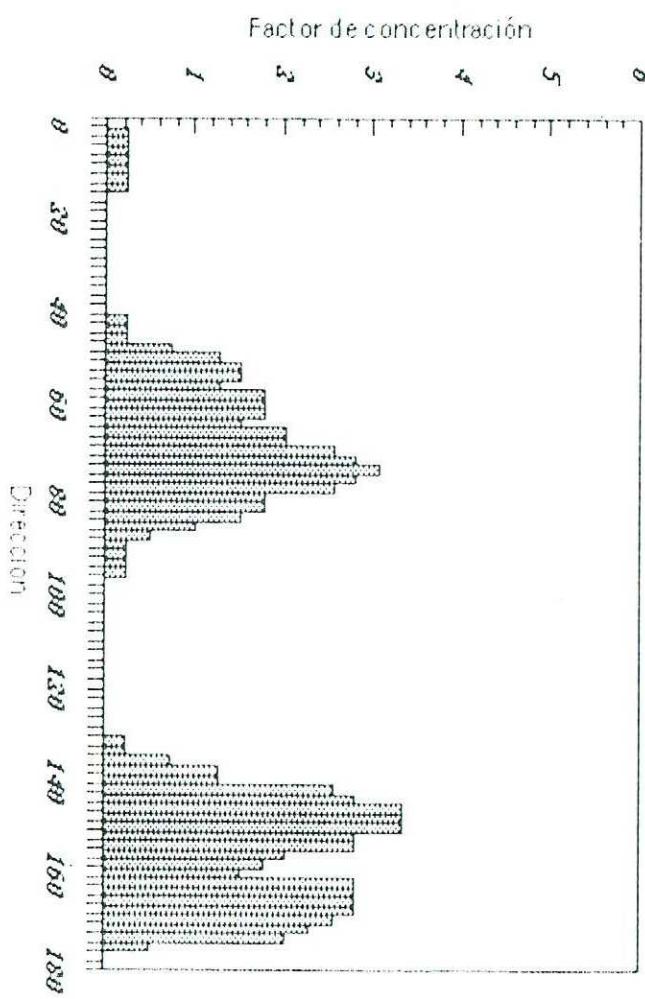


FIGURA 3. Fosilización de diaclasas miocenas por un glacis cuaternario en la estación P-29. En otras zonas del glacis se han medido fracturas que muestran patrones de orientación parecidos a las diaclasas miocenas y además se le superpone las orientaciones del campo perturbado.

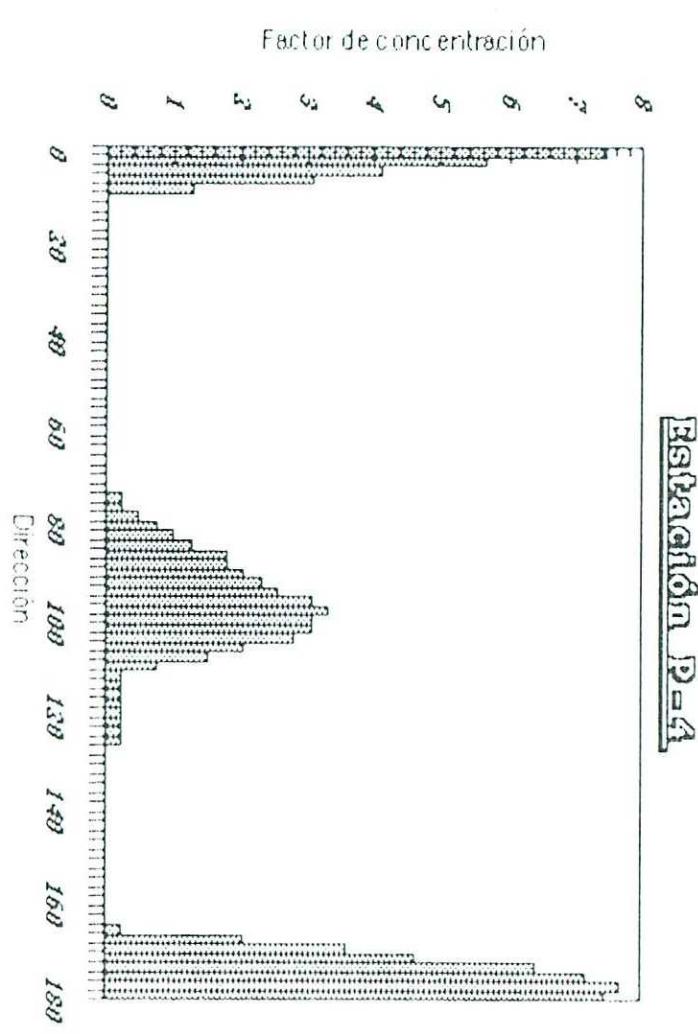
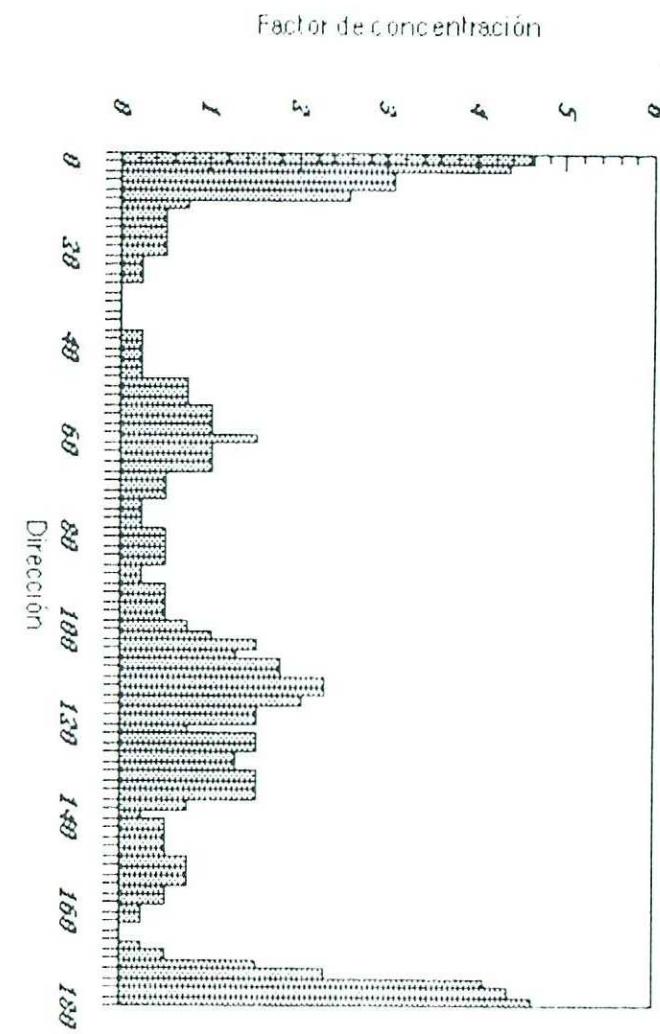
Estación P-1



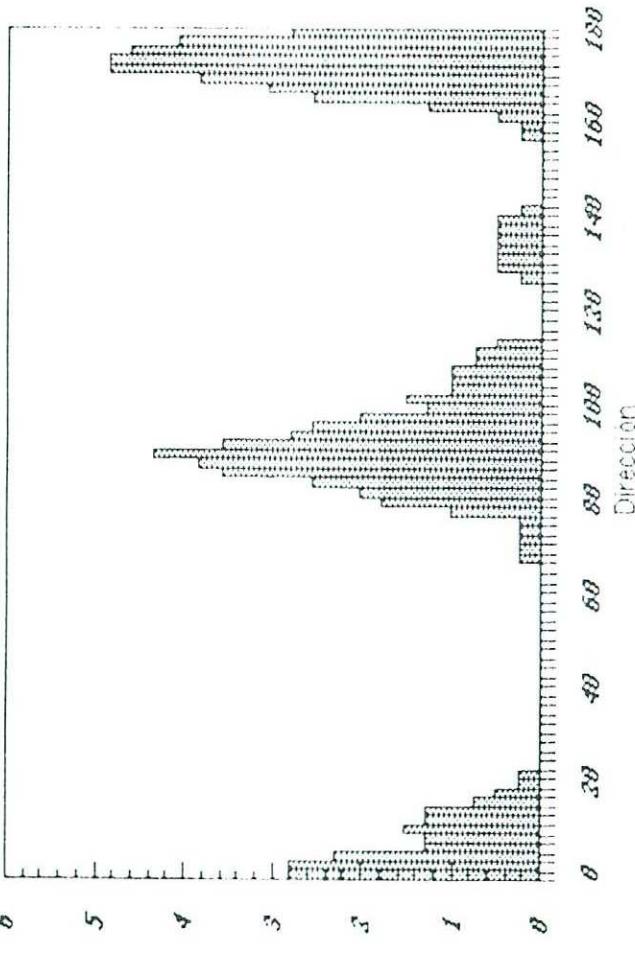
Estación P-2



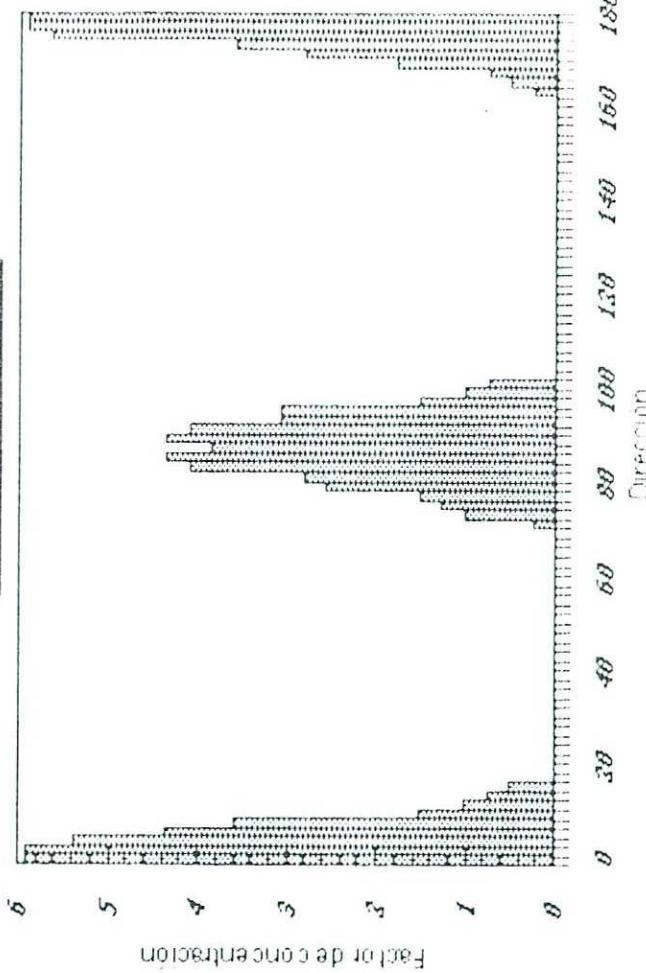
Estación P-3



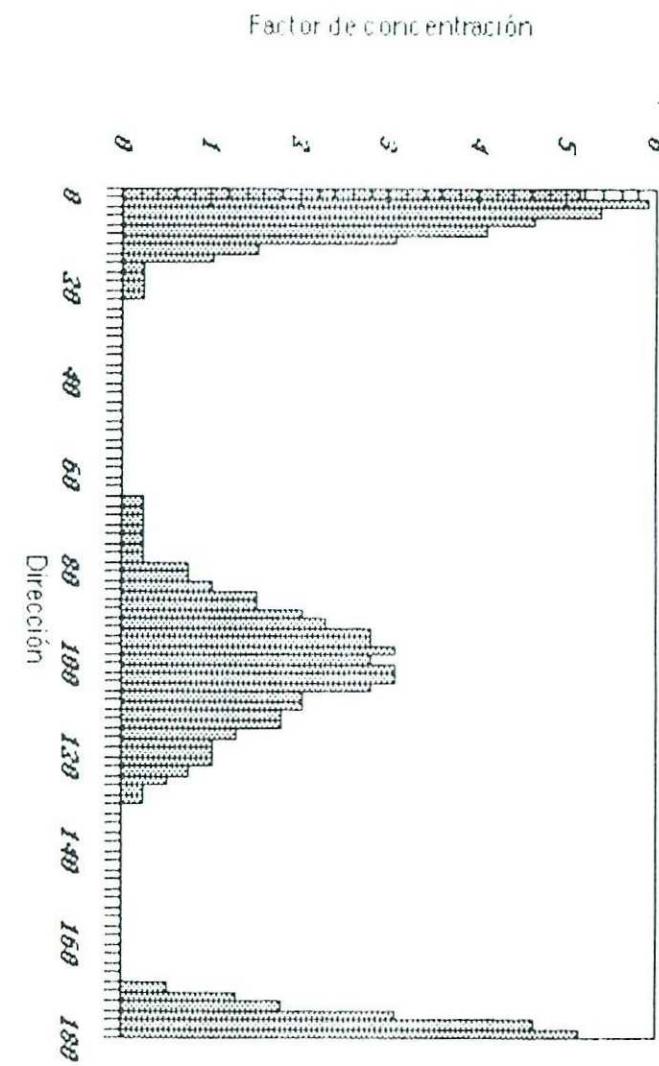
Estación P-4



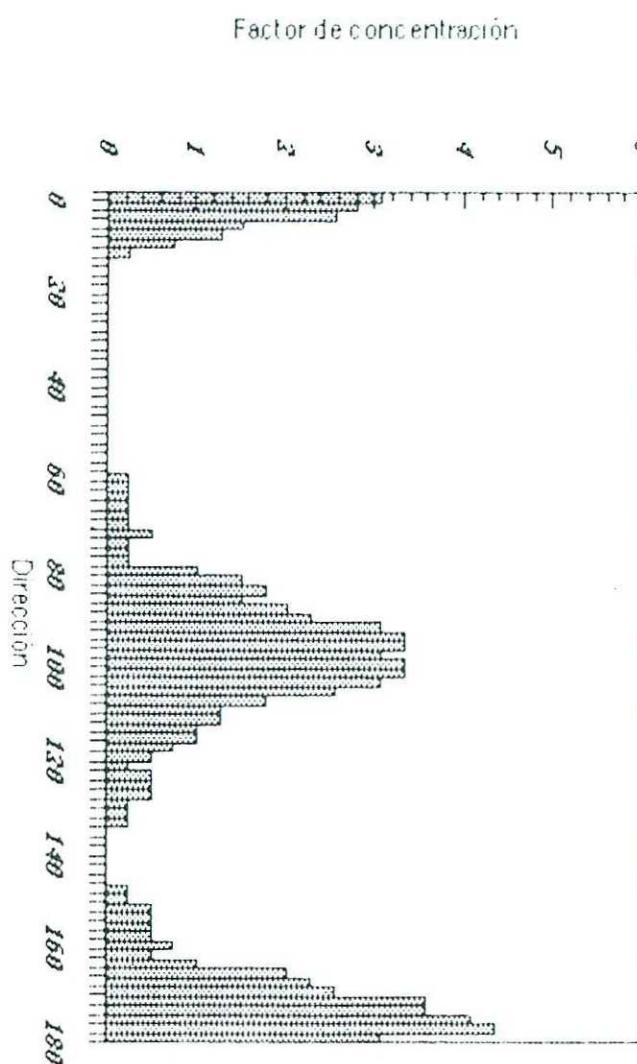
Fechter de concetración



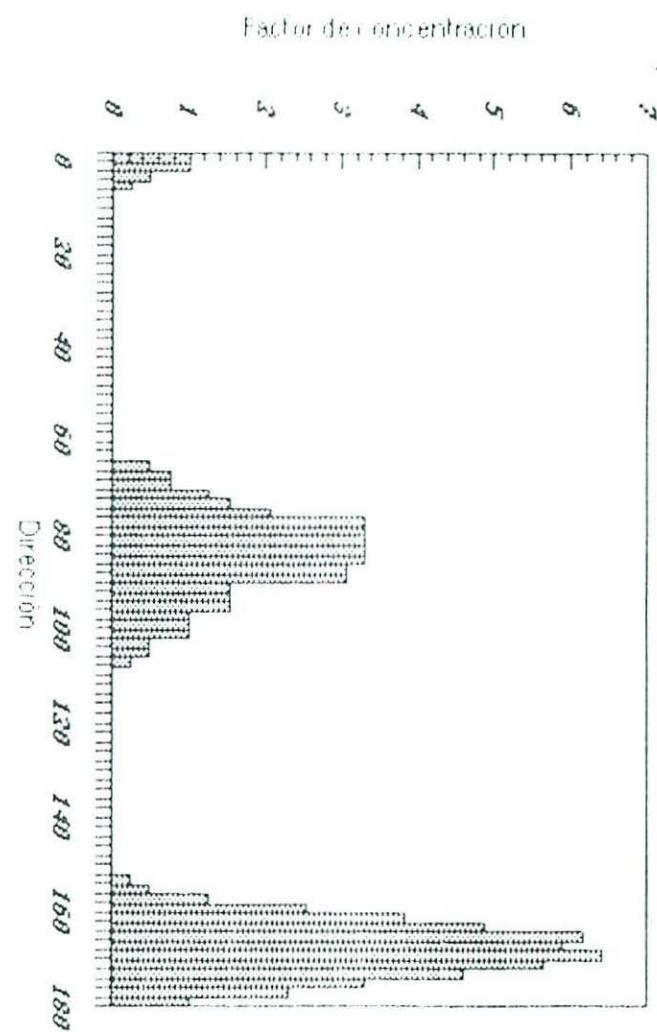
Estación P-7



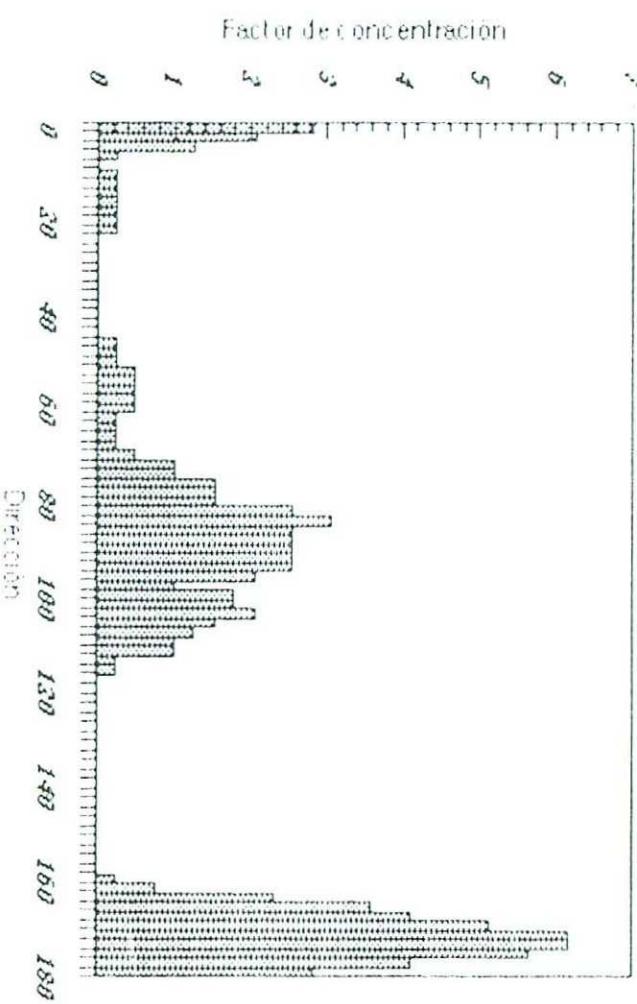
Estación P-8

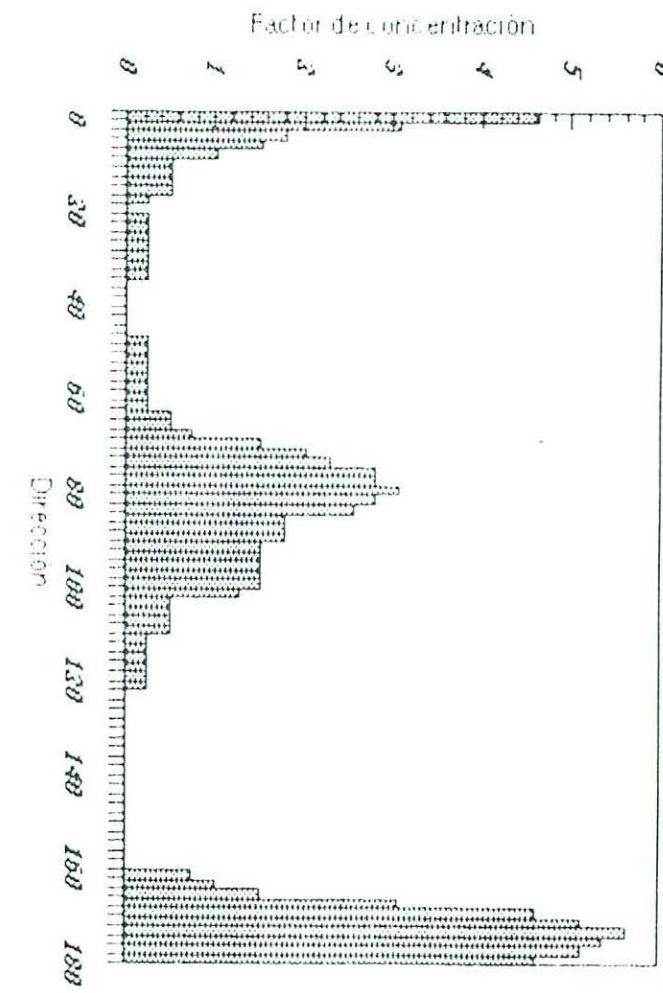
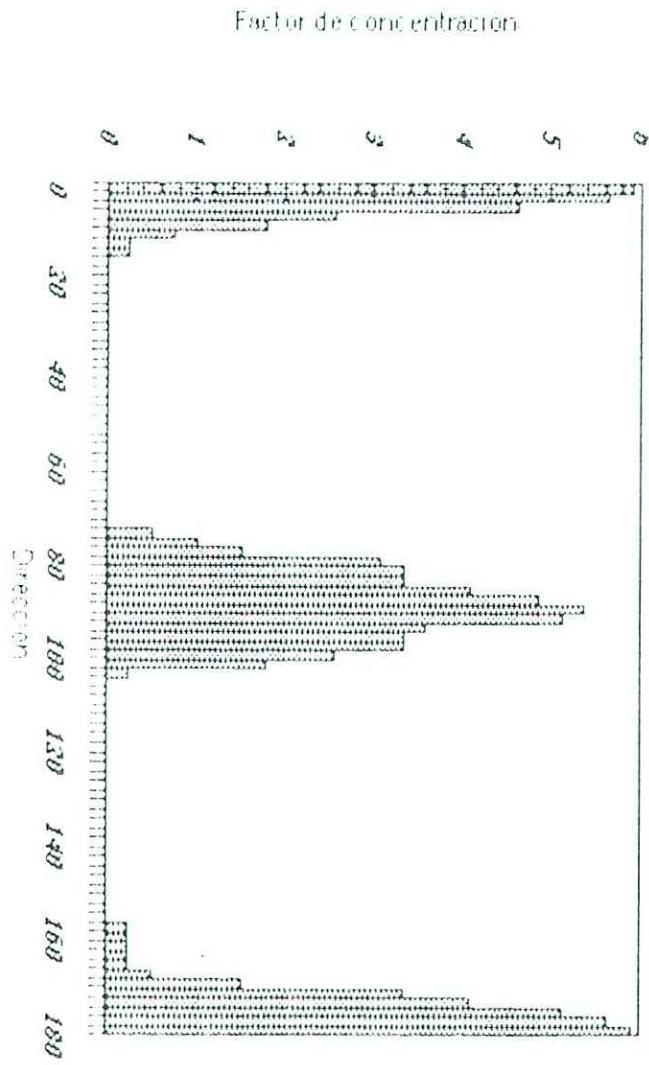


Estación P=91



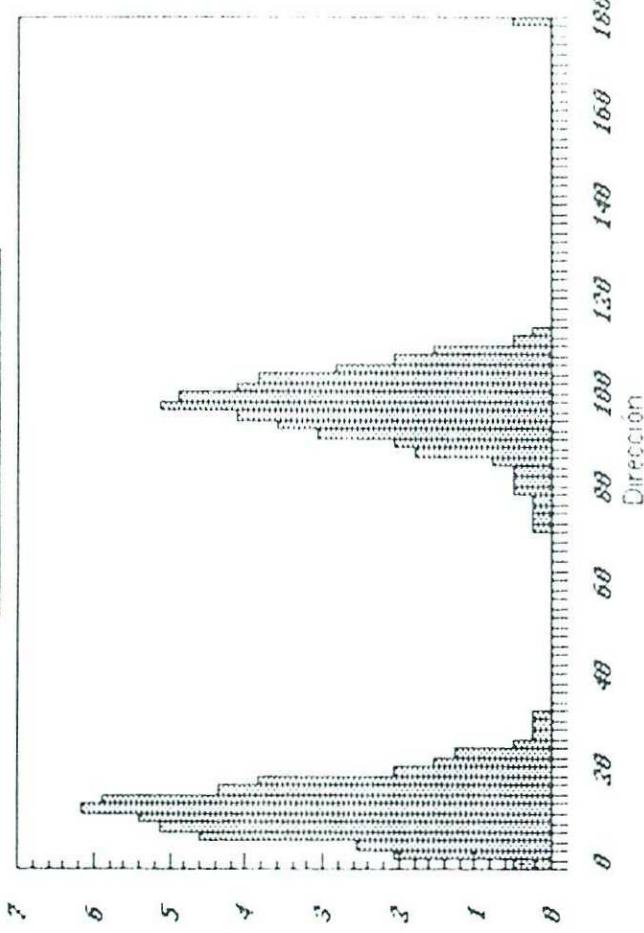
Estación P=10





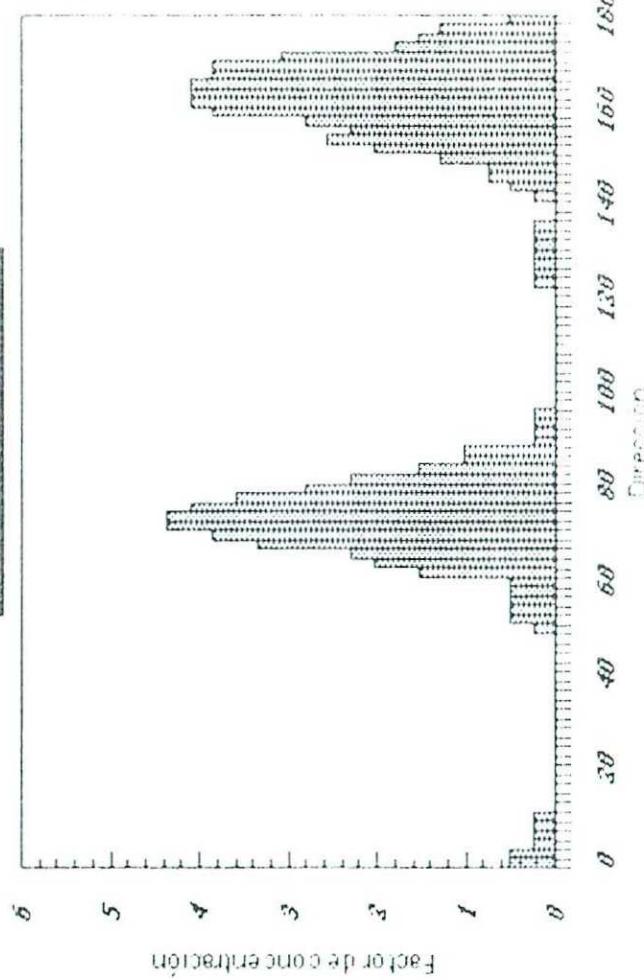
Estación P-11

Estación P=13



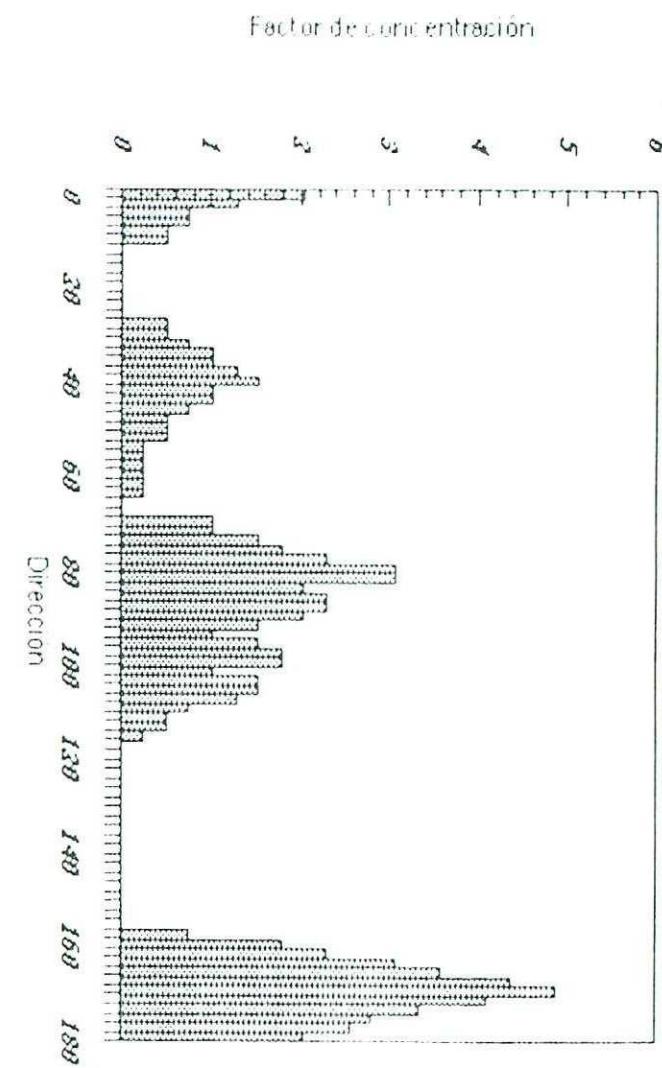
Factor de concentración

Estación P=14

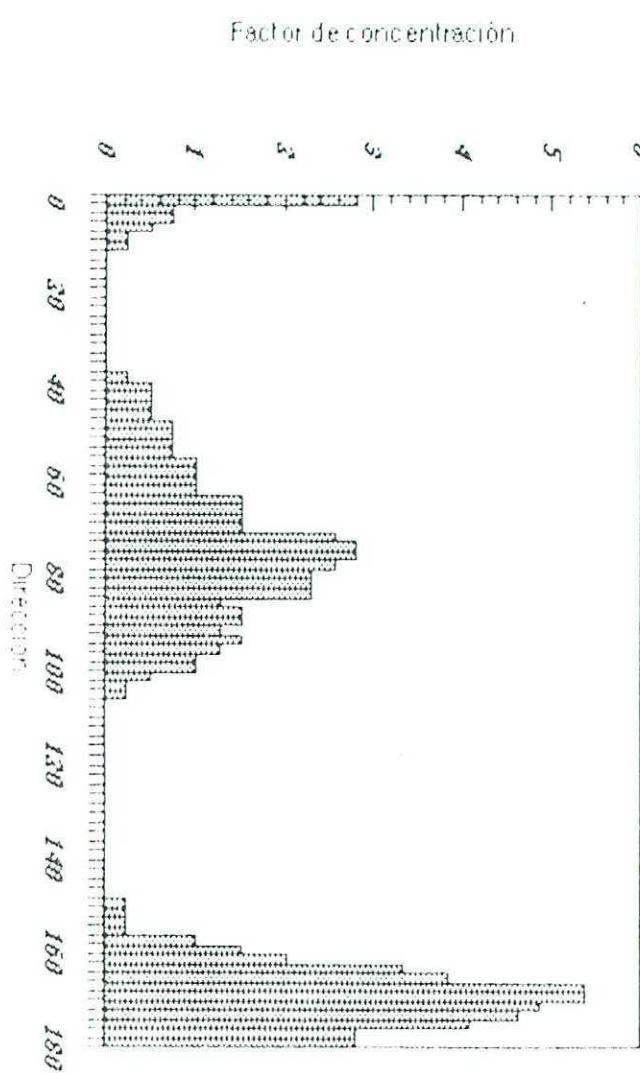


Factor de concentración

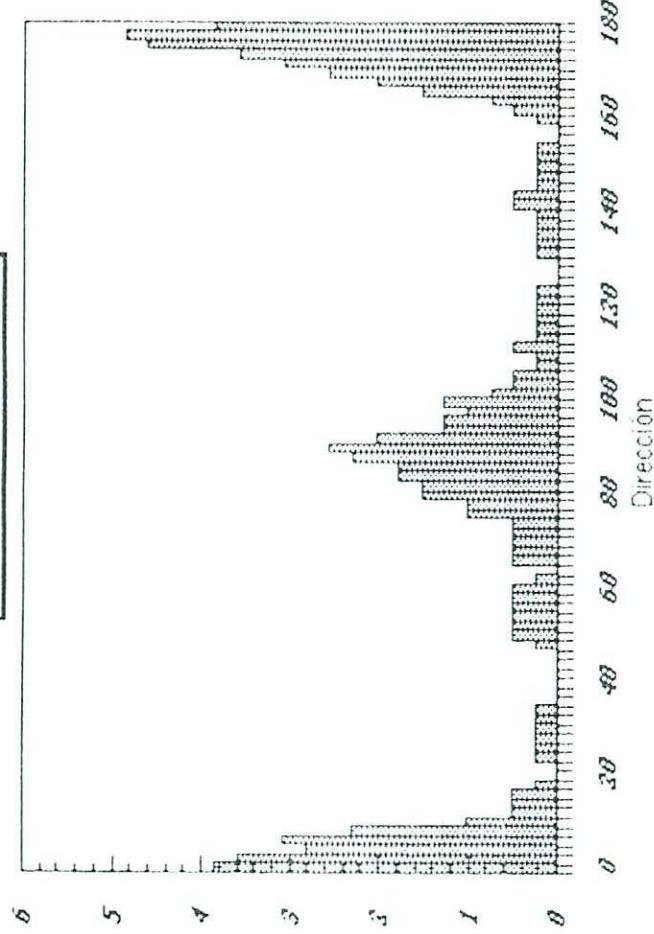
Estación P-15



Estación P-16

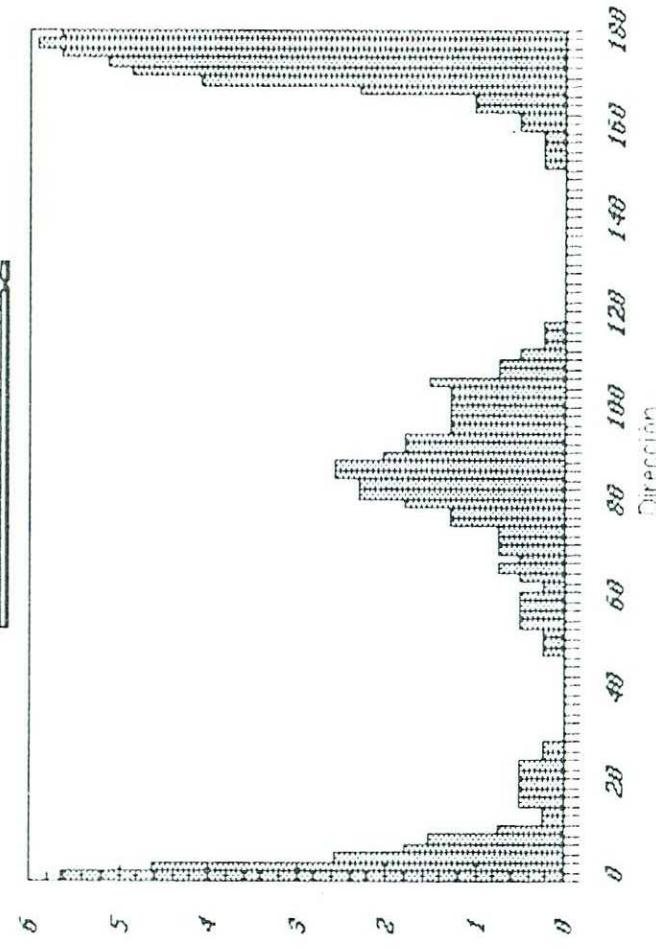


Estación P=1.7



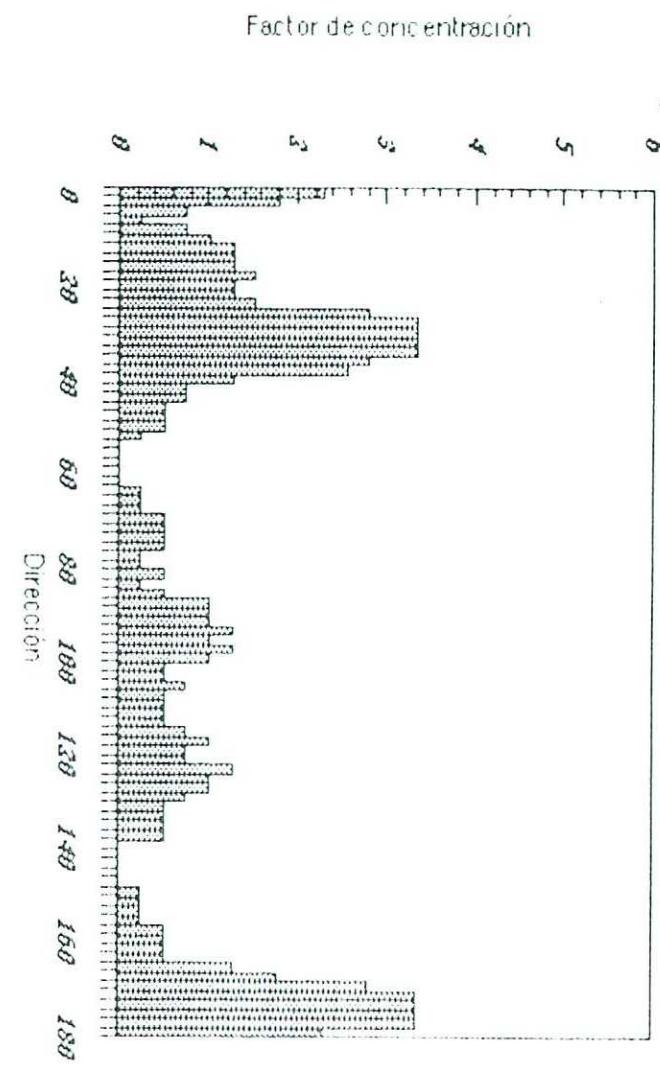
Frecuencia de Oriente Entrada

Estación P=1.8

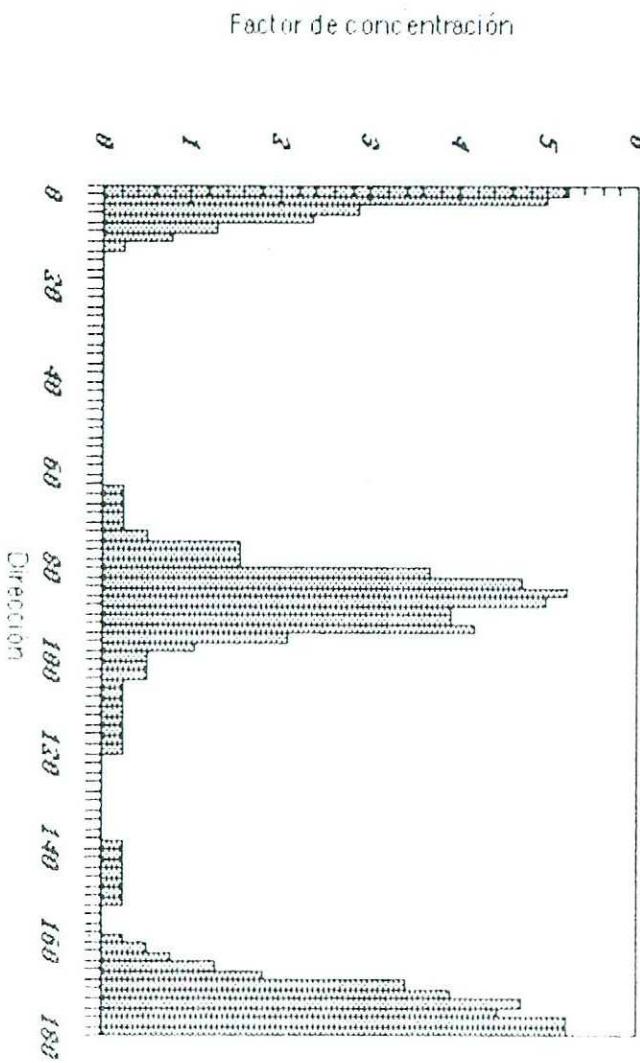


Frecuencia de Oriente Entrada

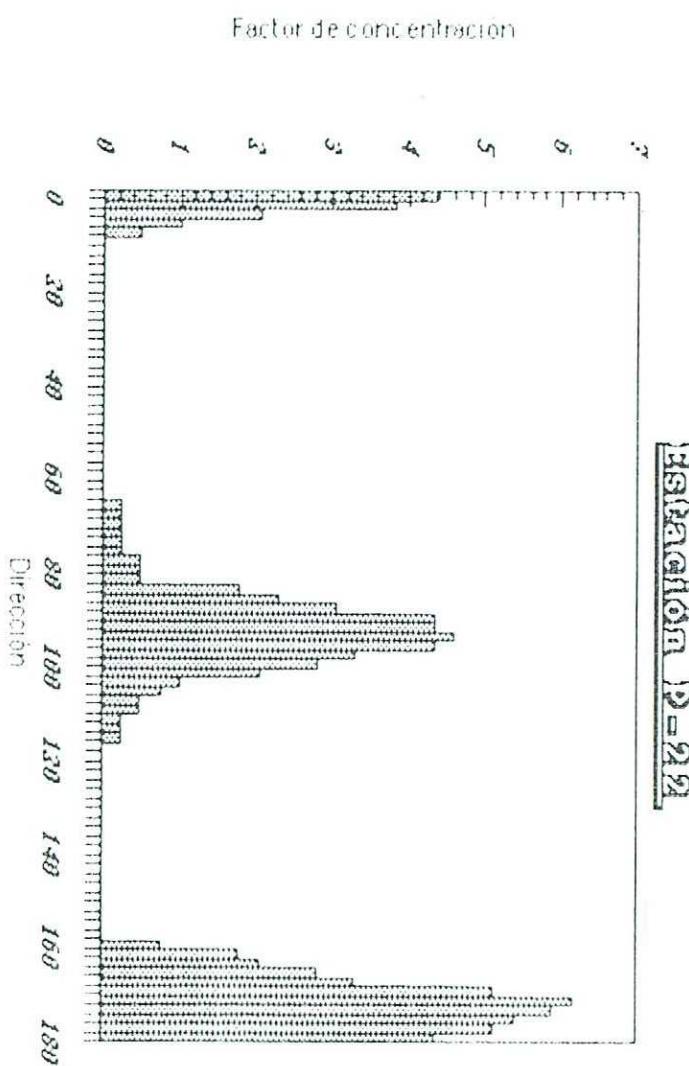
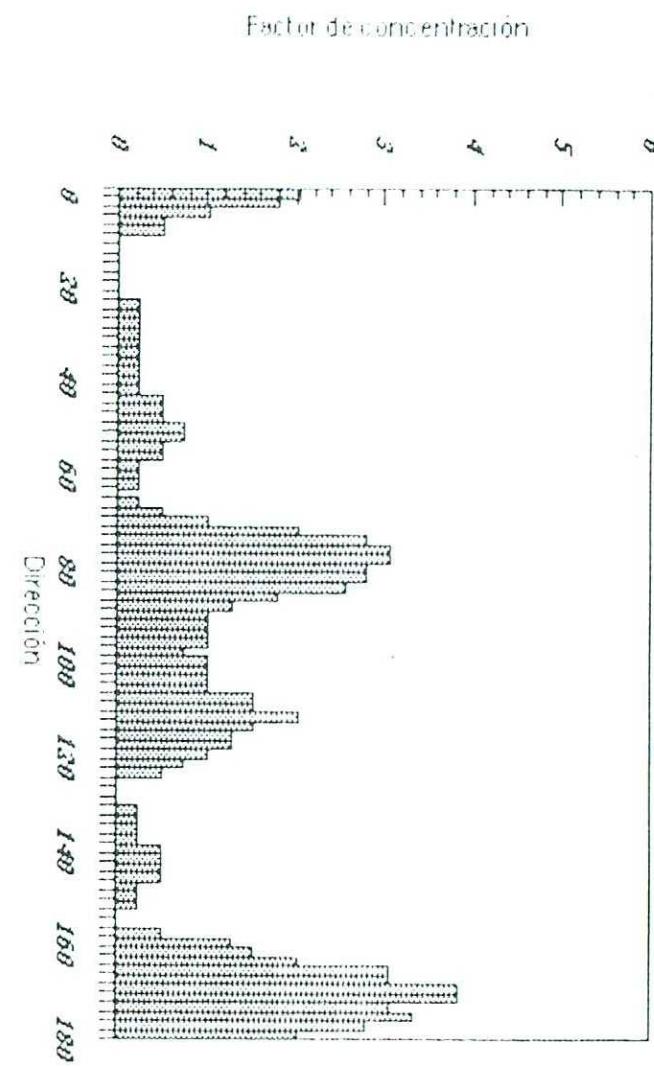
Estación P-19



Estación P-20

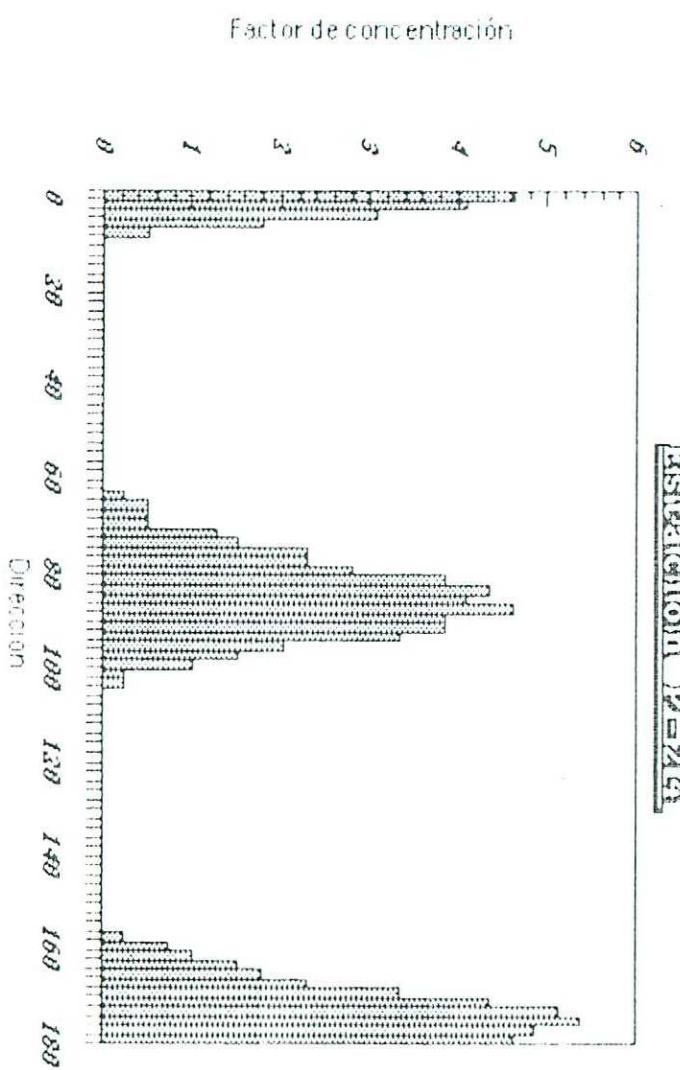
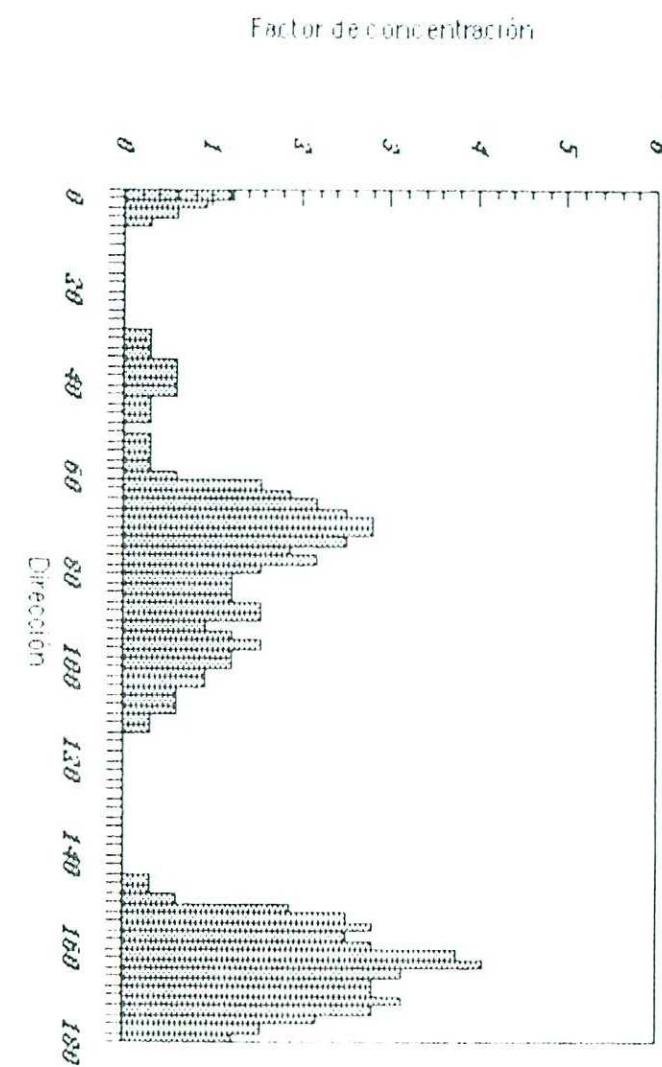


Estación P-21



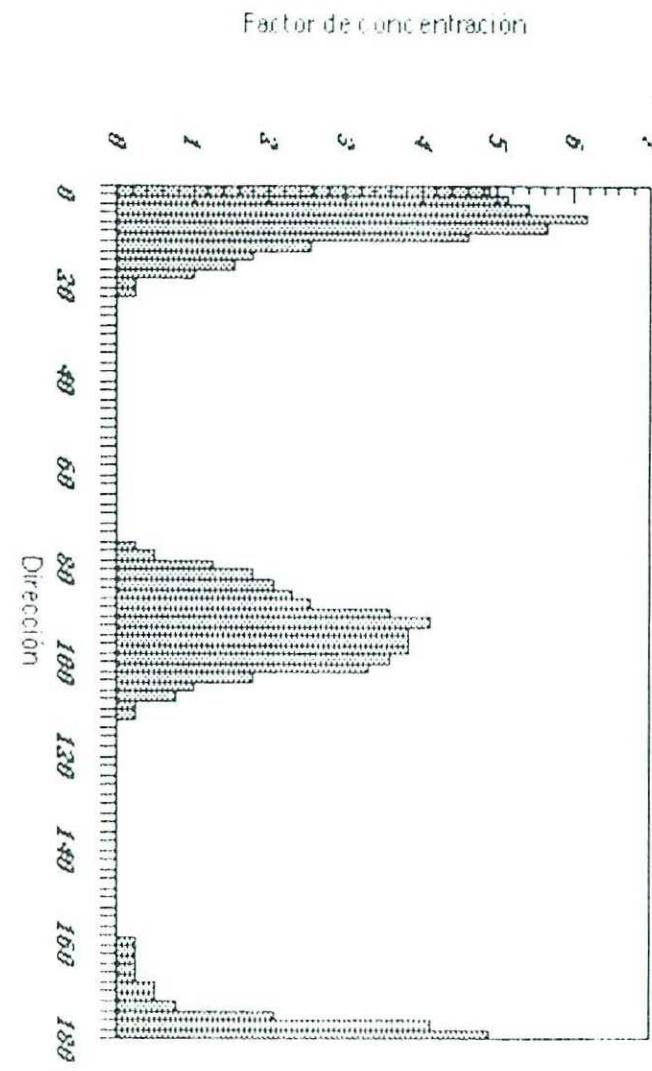
Estación P-22

Estación P-23

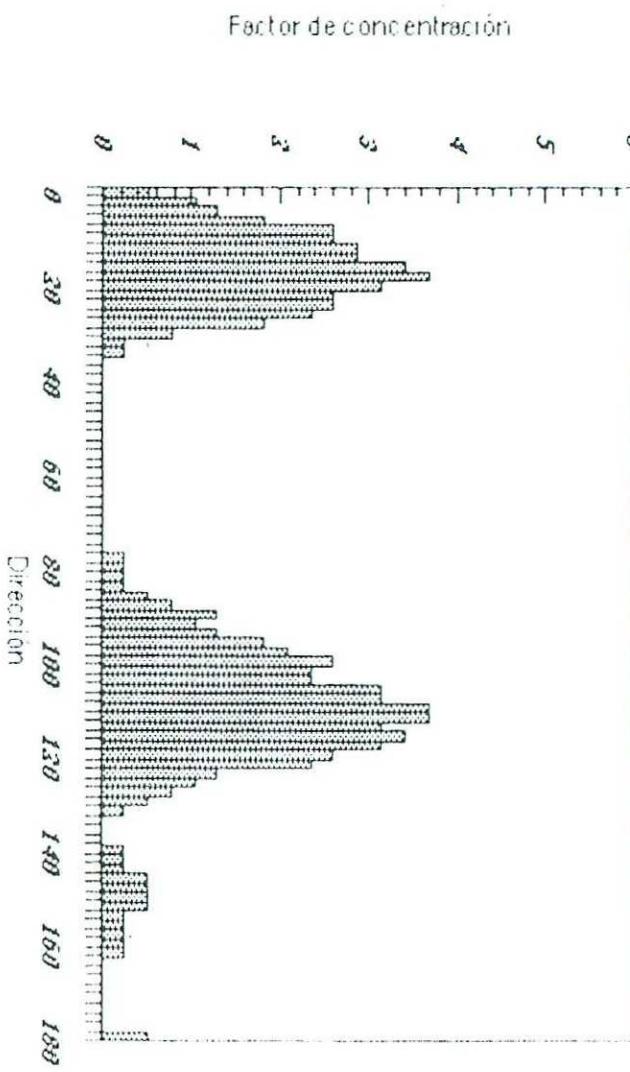


Estación P-24

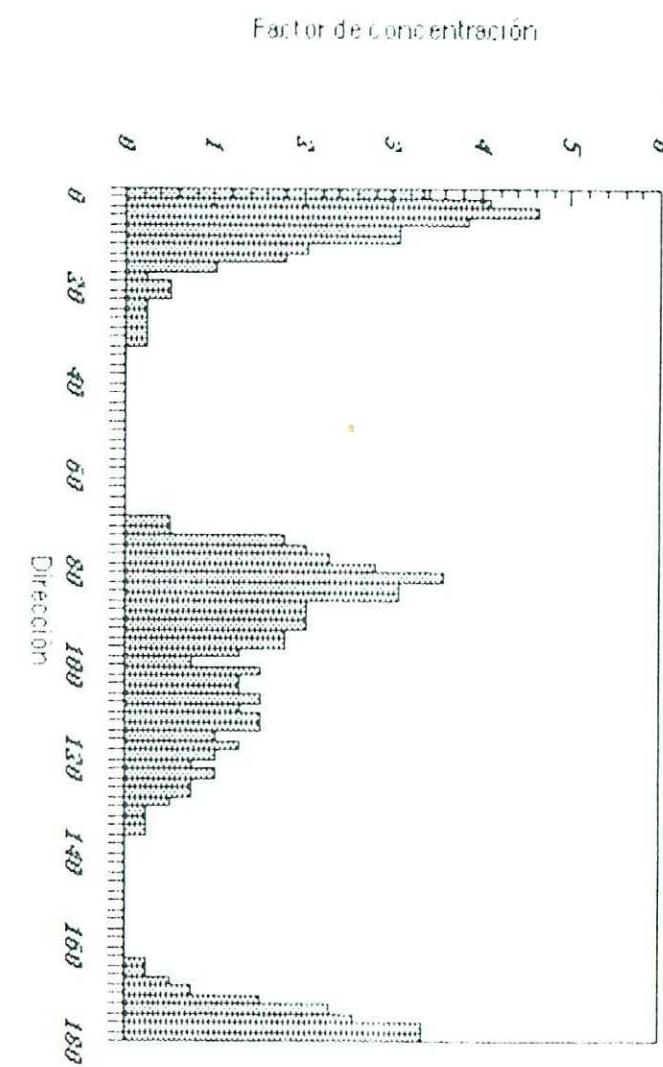
Estación P-251



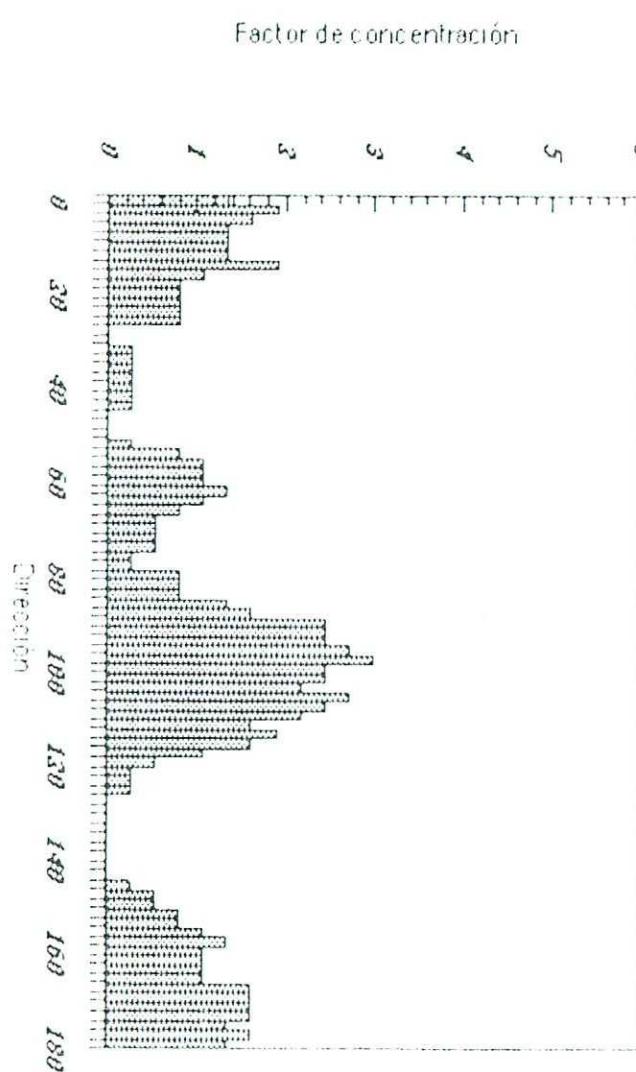
Estación P-256



Estracción P=27

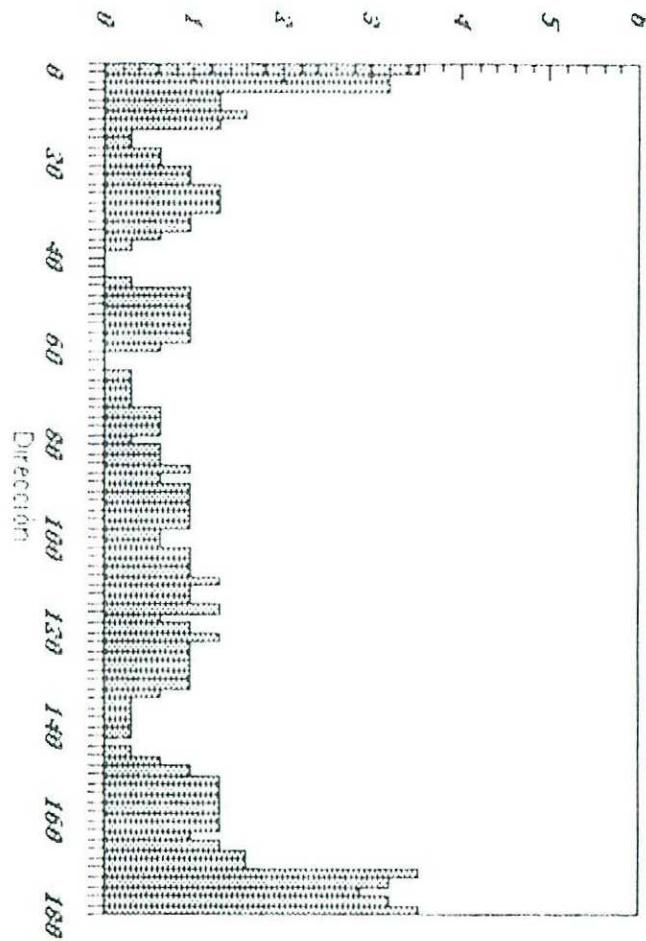


Estracción P=28



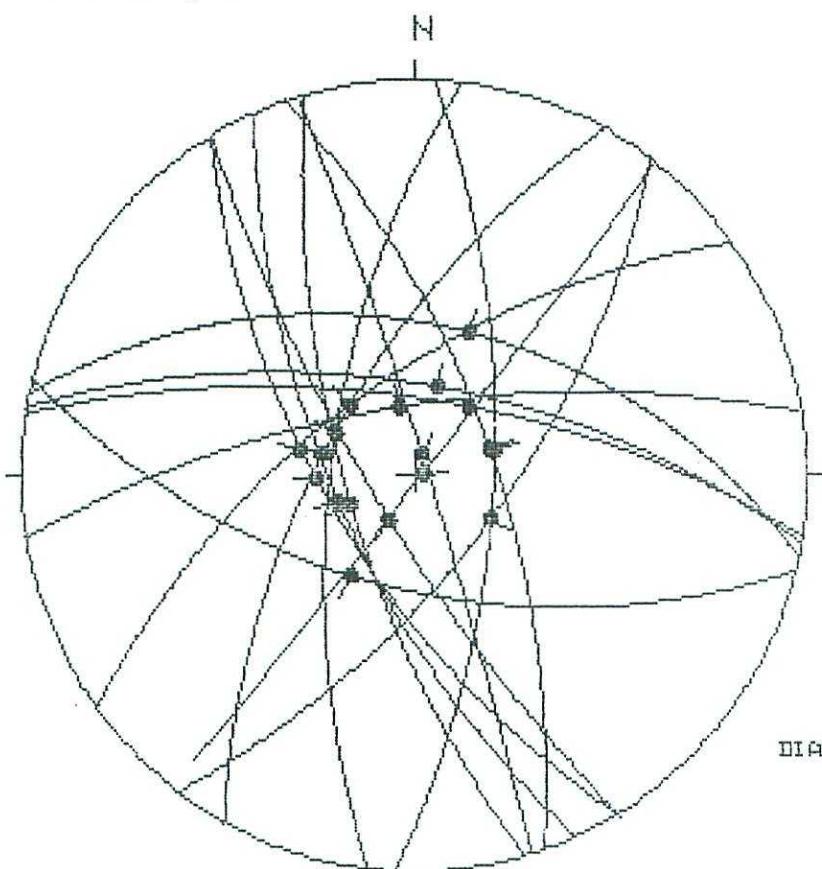
Estación P-29, glacia

Factor de concentración



Geología Estructural
Univ. de Zaragoza

ESTACIÓN: P-9



HOJA No.: 306

COORDENADAS UTM:

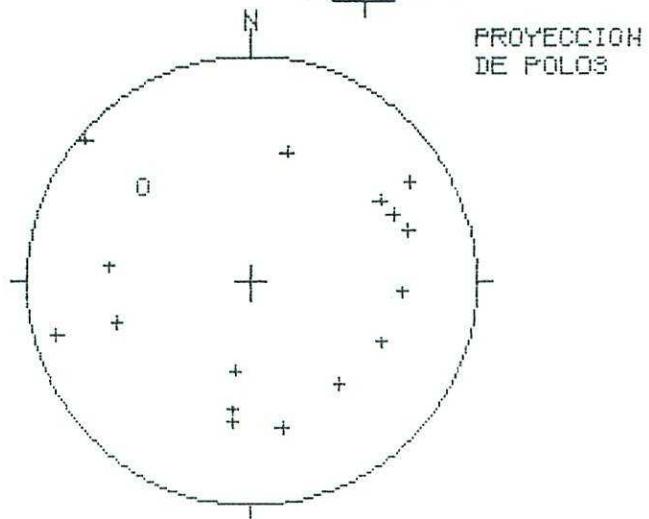
31TBG 523944

Sol SUBHORIZ

EDAD/FACIES Burdig. K

HUMERO DE DATOS: 18

DIAGRAMA EN ROSA DE LOS VIENTOS
DE DIRECCIONES DE FALLA

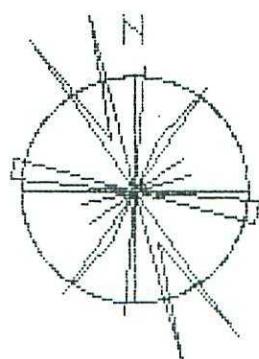


DIPOLOS DE FALLAS SINISTRALES

+IPOLOS DE FALLAS DEXTRALES

+IPOLOS DE FALLAS HÓRMULAS

-IPOLOS DE FALLAS OJIVERAS

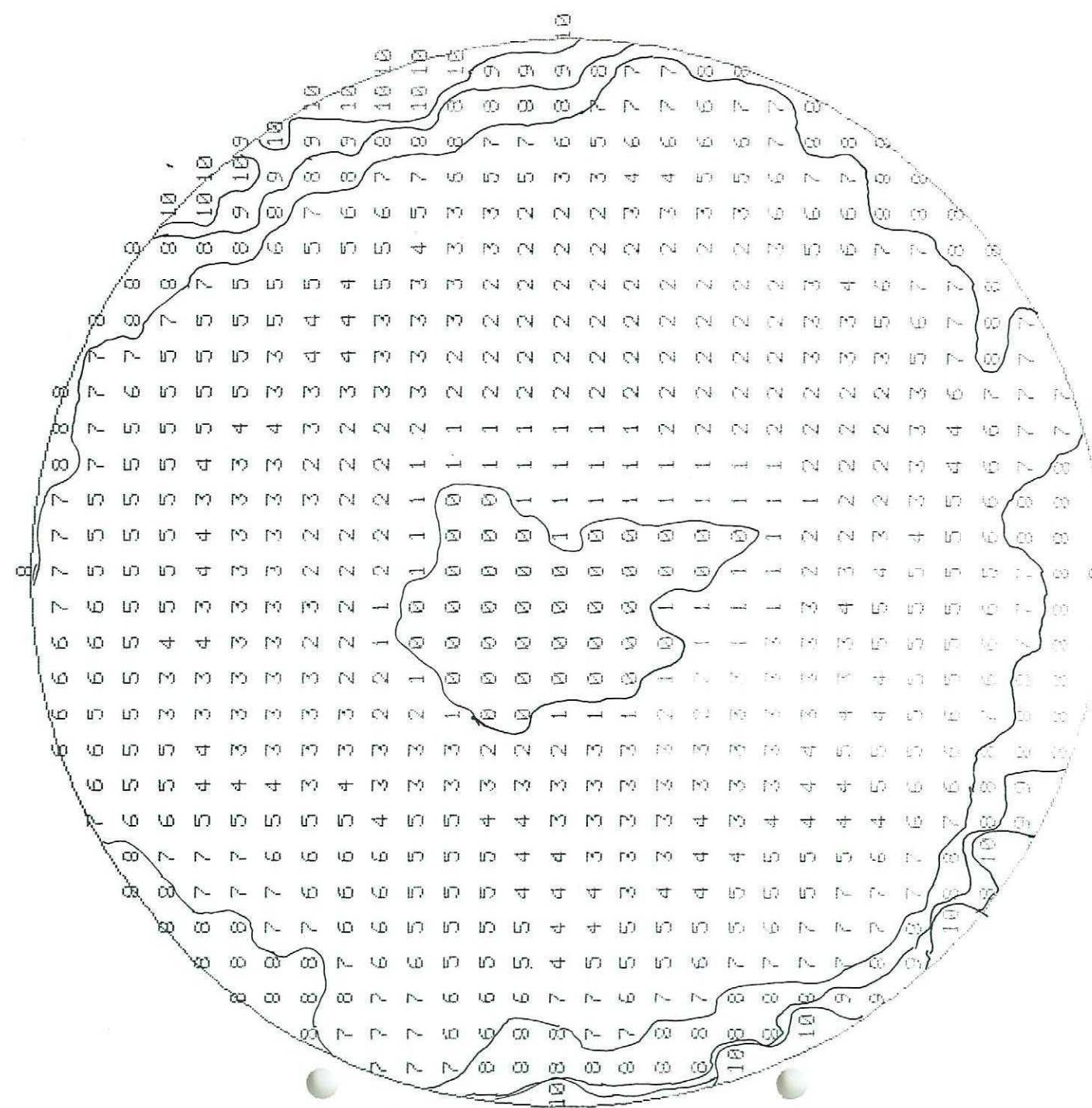


RADIO DE LA CIRCUNFERENCIA: 18%

MÉTODO DE LOS DÍFEROS RECTOS

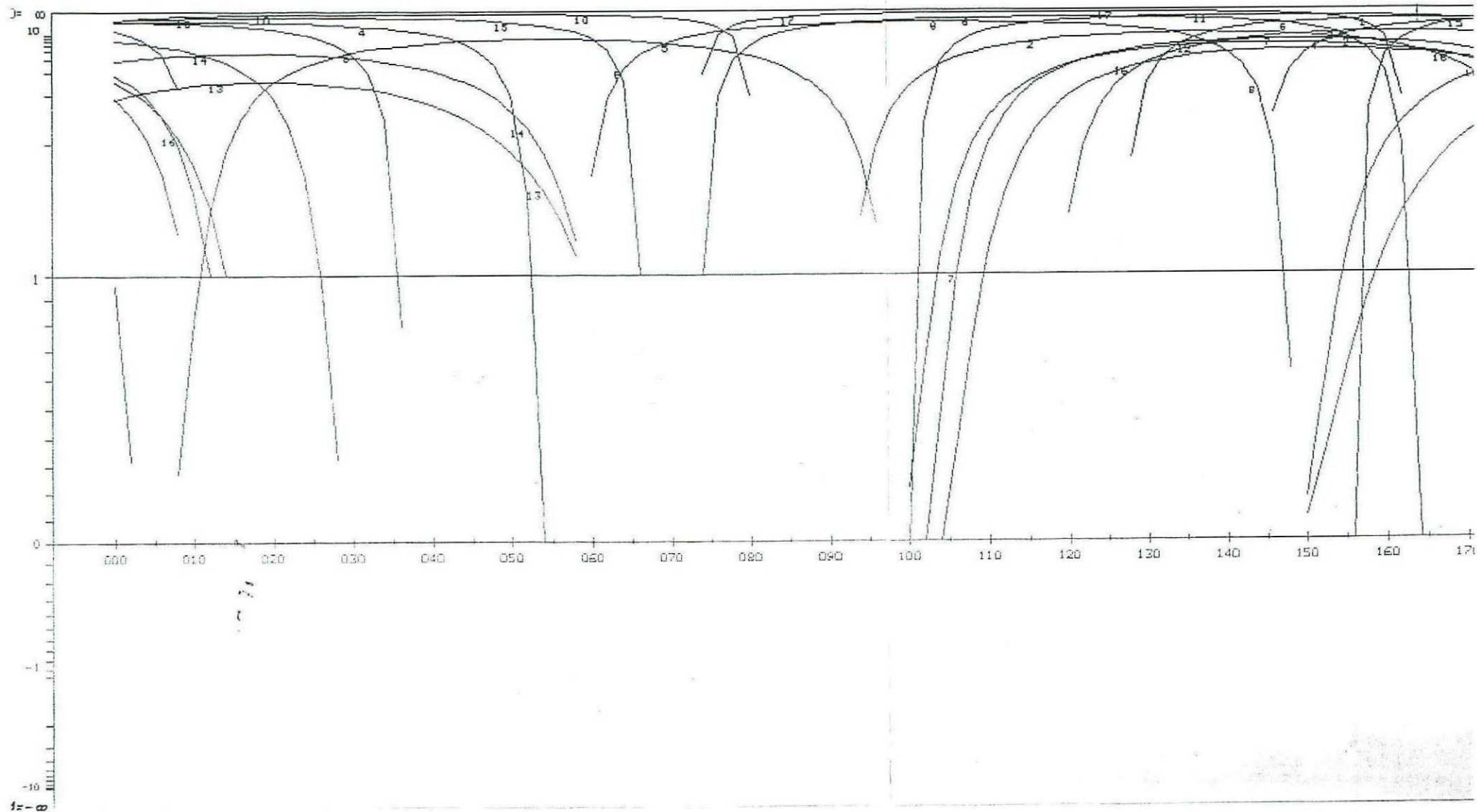
ESTÉCITO

1



METODO DE LOS DIAGRAMAS YR

ESTACION: P-9 / SIN ABATIR
GEOLOGIA ESTRUCTURAL, Universidad de Zaragoza



P-9
37 65 E 87 N 0 S 101
3 67 E 82 N 0 N 102
29 64 W 93 S 0 N 103
54 63 W 87 S 0 N 104
7 66 W 81 N S 0 N 105
164 70 W 87 S 0 N 106
102 48 N 84 E 0 N 107
149 77 W 83 S 0 N 108
161 67 N 90 E 0 N 109
81 70 N 89 W 0 N 110
100 64 N 88 E 0 N 111
99 68 N 78 E 0 N 112
149 65 W 68 N 0 N 113
149 65 W 77 N 0 N 114
156 67 W 88 N 0 N 115
104 58 S 80 W 0 N 116
163 86 N 85 N 0 N 117
38 88 E 88 N 0 N 118
450 0 0 0 0

REGRESSION MOJNDR CARR SUR LES 18PLUS FAIBLES ECARTS

ECART MOYEN EN DEGRES 8.38782

COMP NO 1 ERR SUR DIREC 140.0 ERR SUR PEND 9.8
COMP NO 2 ERR SUR DIREC 58.0 ERR SUR PEND 9.7
COMP NO 3 ERR SUR DIREC 57.8 ERR SUR PEND 10.8

ERREUR SUR R 0.12E+00

P-9

NO TENSEUR EN X Y Z DANS LES AXES PRINCIPAUX *****
SIGMA(1)= 0.65413 DIRECTION 324.0 PENDAGE 85.8
SIGMA(2)= -0.30825 DIRECTION 151.1 PENDAGE 4.2
SIGMA(3)= -0.34587 DIRECTION 61.0 PENDAGE 0.5

RAPPORT R = 0.04

LA FONCTION A MINIM EST EGALE A: 0.2997 POUR LES 18 PREMIERES DONNEES TRIEES PAR LE PROGRAMME
ET A 0.2997 POUR L'ENSEMBLE DU PAQUET

SIGMA(2)= -0.30825 DIRECTION 151.1 PENDAGE 4.2
SIGMA(3)= -0.34587 DIRECTION 61.0 PENDAGE 0.5

RAPPORT R = 0.04

LA FONCTION A MINIM EST EGALE A: 0.2997 POUR LES 18 PREMIERES DONNEES TRIEES PAR LE PROGRAMME
ET A 0.2997 POUR L'ENSEMBLE DU PAQUET

REPRESENTATION SUR CERCLE DE MOHR



G K

LE CARACTERE A CORRESPOND AUX DONNEES 101
LE CARACTERE B CORRESPOND AUX DONNEES 110
LE CARACTERE C CORRESPOND AUX DONNEES 115
LE CARACTERE D CORRESPOND AUX DONNEES 102
LE CARACTERE E CORRESPOND AUX DONNEES 104
LE CARACTERE F CORRESPOND AUX DONNEES 111 103
LE CARACTERE G CORRESPOND AUX DONNEES 117
LE CARACTERE H CORRESPOND AUX DONNEES 116
LE CARACTERE I CORRESPOND AUX DONNEES 109
LE CARACTERE J CORRESPOND AUX DONNEES 106
LE CARACTERE K CORRESPOND AUX DONNEES 118
LE CARACTERE L CORRESPOND AUX DONNEES 114 113
LE CARACTERE M CORRESPOND AUX DONNEES 107
LE CARACTERE N CORRESPOND AUX DONNEES 105
LE CARACTERE O CORRESPOND AUX DONNEES 108
LE CARACTERE P CORRESPOND AUX DONNEES 112

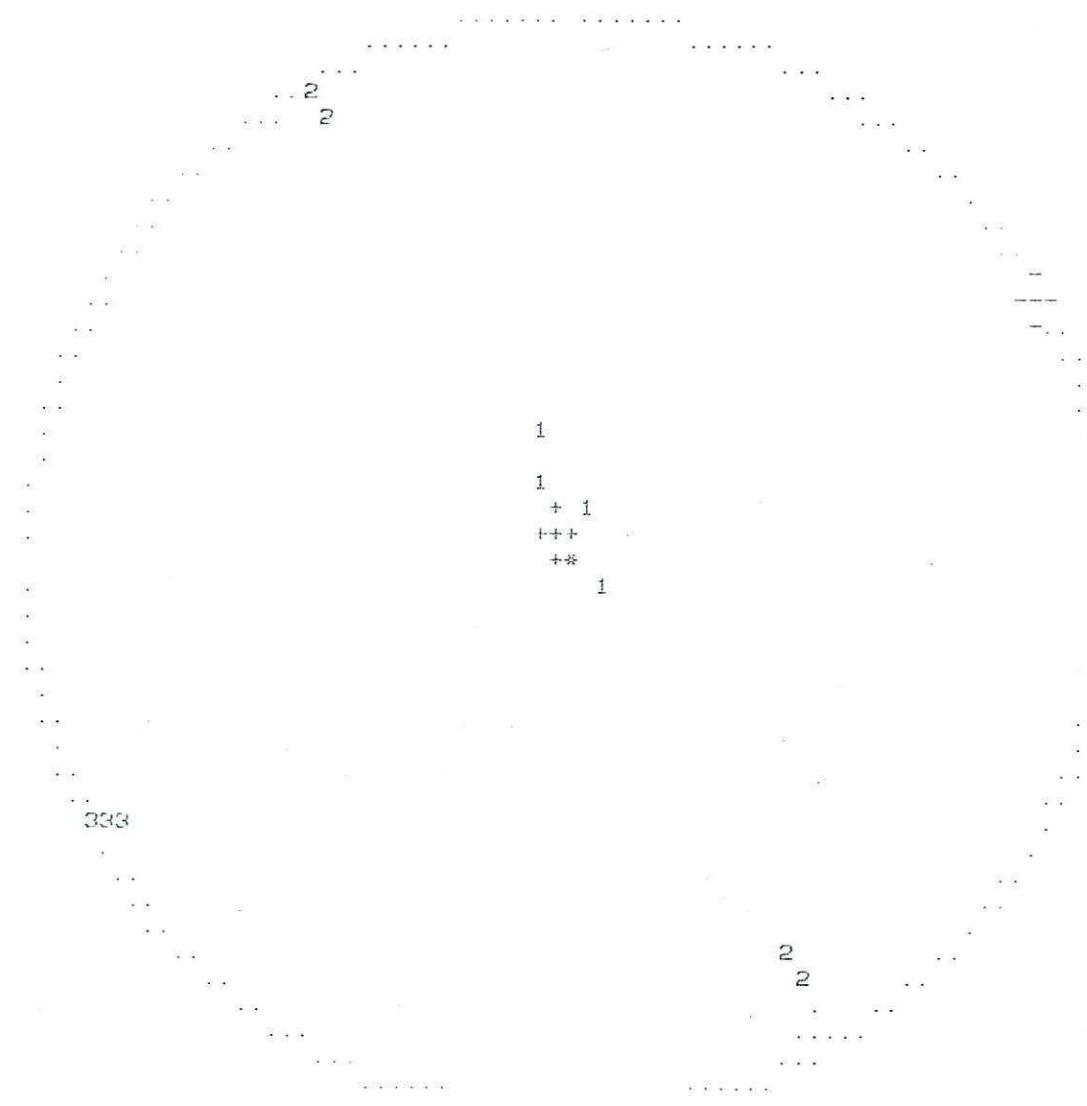
***** FIN DE L ETAPR NO 3

GAMME NBRE INDICE DES VALEURS DANS CETTE GAMME

1	0. 0 0. 1	10	101 110 115 102 104 111 117 116 107 106
2	0. 1 0. 2	15	103 118 114 107 105
3	0. 2 0. 3	17	108 112
4	0. 3 0. 4	10	113

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

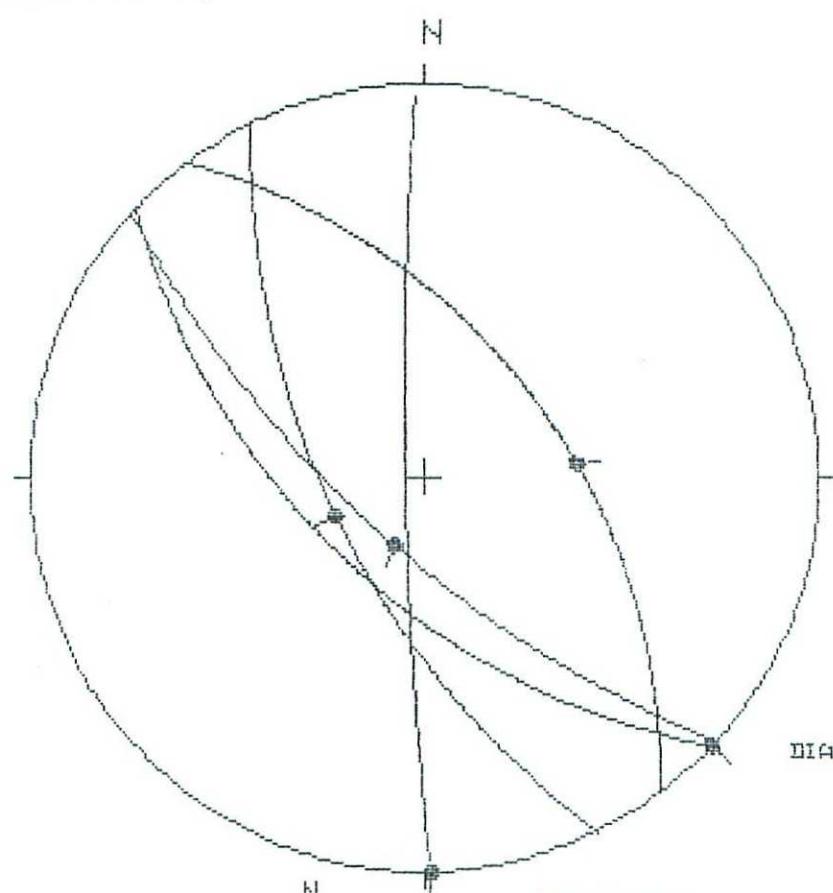
P-9



***** IN FINALE

Geología Estructural
Univ. de Zaragoza

ESTACIÓN: P-31



HOJA Nro.: 366

COORDENADAS UTM:

31TBG 391464

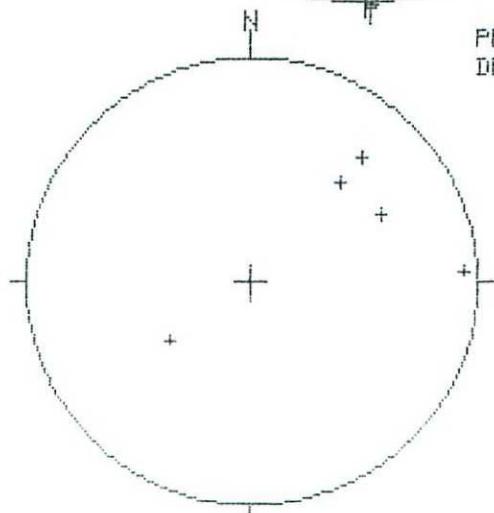
Sol 162 04 W

EDAD/FACIES

NÚMERO DE DATOS: 5

DIAGRAMA EN ROSA DE LOS VIENTOS
DE DIRECCIONES DE FALLA

PROYECCIÓN
DE POLOS

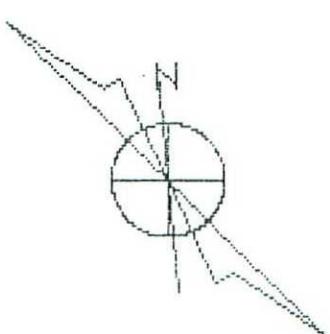


• FOLIOS DE FALLAS SIMETRICAS

* FOLIOS DE FALLAS DENTRICALES

+ FOLIOS DE FALLAS HORNADAS

- FOLIOS DE FALLAS INVERBAS



Geología Estructural
Univ. de Zaragoza

ESTACIÓN: P-22

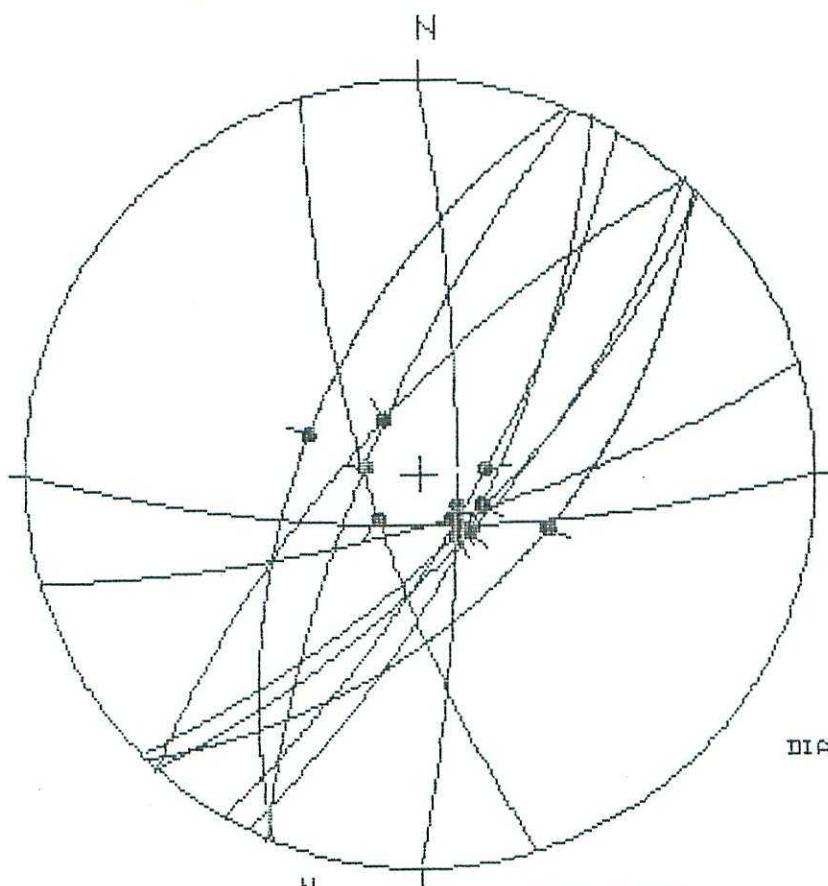
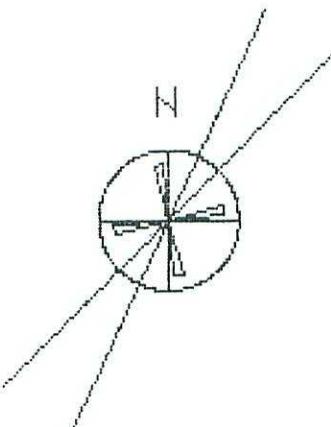
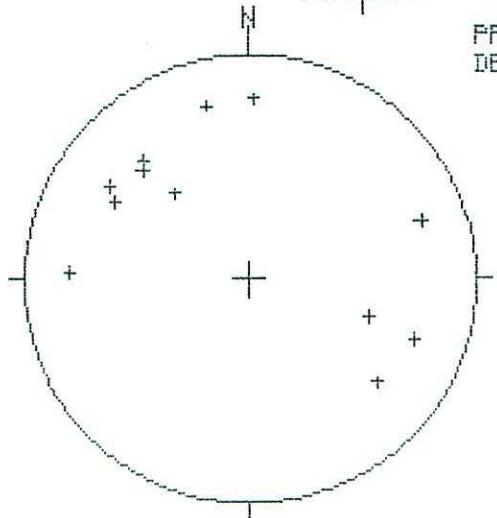


DIAGRAMA EN ROSA DE LOS VIENTOS
DE DIRECCIONES DE FALLA

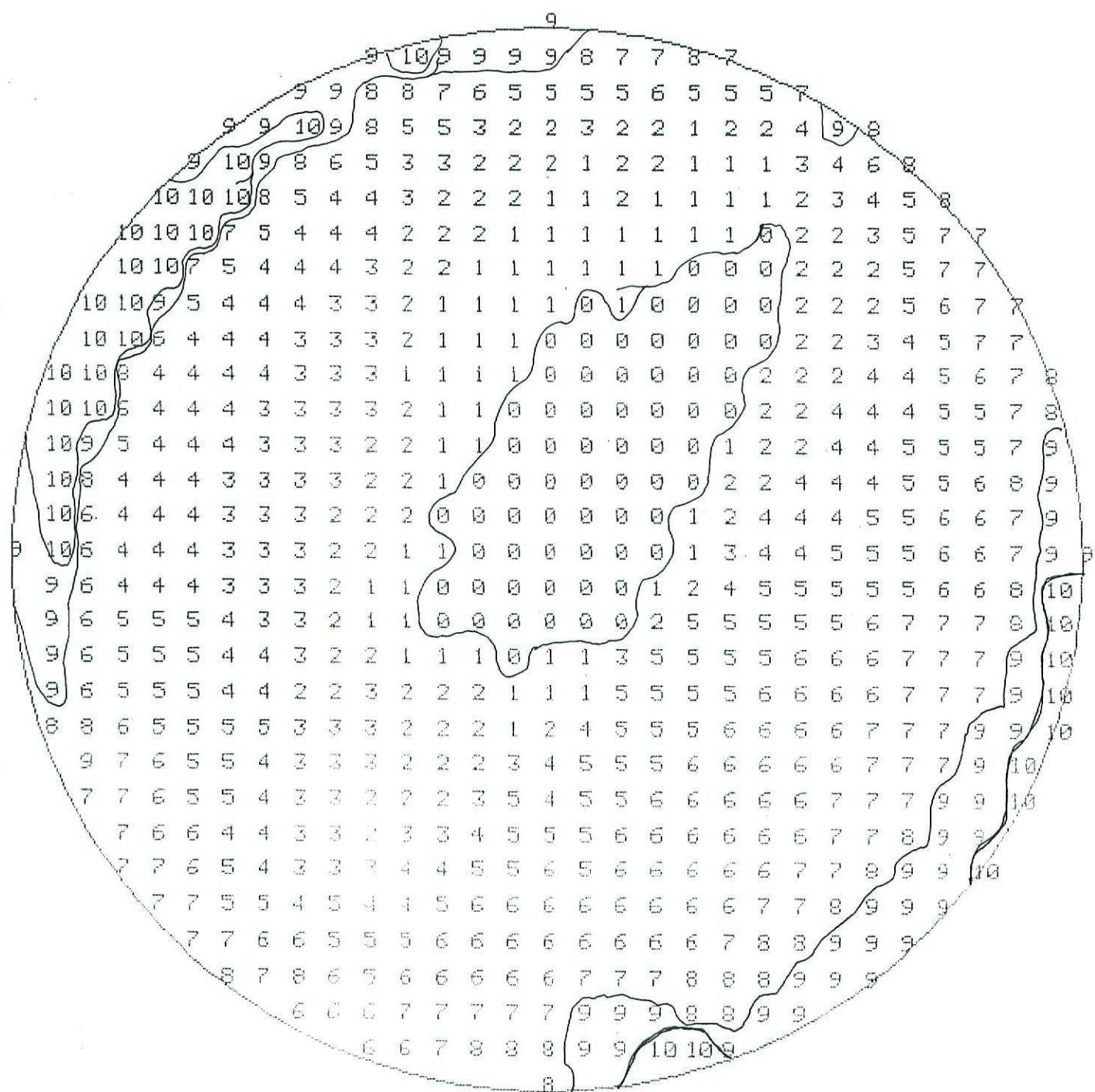
PROYECCION
DE POLOS



RADIO DE LA CIRCUNFERENCIA: 18%

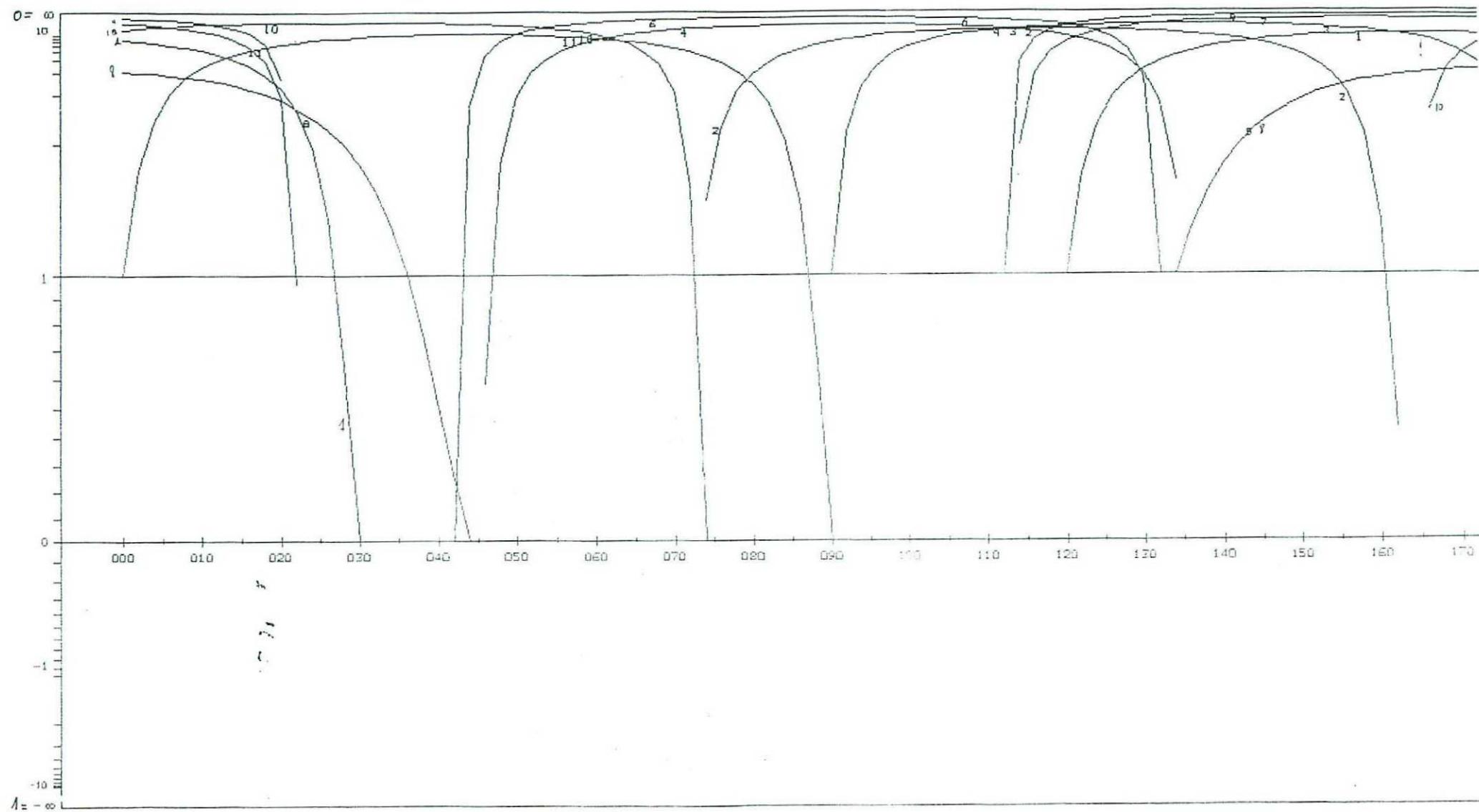
METODO DE LOS DIEDROS RECTOS

ESTACION : P=22



METODO DE LOS DIAGRAMAS YR

ESTACION: P-22 / SIN ABATIR
GEOLOGIA ESTRUCTURAL, Universidad de Zaragoza



P-22

30	74	E	79	N	0	N	101
163	75	W	81	S	0	N	102
0	79	E	81	S	0	N	103
45	70	S	85	S	0	N	104
26	70	E	90	N	0	N	105
42	68	E	88	S	0	N	106
23	75	W	86	S	0	N	107
44	53	E	77	N	0	N	108
22	57	W	89	S	0	N	109
74	75	S	85	E	0	N	110
90	75	S	79	E	0	N	111
42	72	W	85	N	0	N	112
450	0	0	0	0	0	0	0

*****DEBUT DE LA TROISIEME ETAPE

REGRESSION MOINDRE CARR SUR LES 12PLUS FAIBLES ECARTS

ECART MOYEN EN DEGRES 6.35725

COMP NO 1	ERR SUR DIREC	31.8	ERR SUR PEND	14.7
COMP NO 2	ERR SUR DIREC	1136.9	ERR SUR PEND	224.6
COMP NO 3	ERR SUR DIREC	1176.7	ERR SUR PEND	66.3

ERREUR SUR R 0.36E-01

P-22

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

SIGMA(1)= 0.66624	DIRECTION	114.6	PENDAGE	78.6
SIGMA(2)= -0.33248	DIRECTION	221.3	PENDAGE	3.3
SIGMA(3)= -0.33376	DIRECTION	311.9	PENDAGE	10.9

RAPPORT R = 0.00

LA FONCTION A MINIM EST EGALE A: 0.0984 POUR LES 12 PREMIERES DONNEES TRIEES PAR LE PROGRAMME
ET A 0.0984 POUR L'ENSEMBLE DU PAQUET

REPRESENTATION SUR CERCLE DE MOHR

C.

F.

G.

J.

E

I.

B

AK

H

L

D

LE CARACTERE A CORRESPOND AUX DONNEES 105
LE CARACTERE B CORRESPOND AUX DONNEES 111
LE CARACTERE C CORRESPOND AUX DONNEES 109
LE CARACTERE D CORRESPOND AUX DONNEES 103
LE CARACTERE E CORRESPOND AUX DONNEES 102
LE CARACTERE F CORRESPOND AUX DONNEES 112
LE CARACTERE G CORRESPOND AUX DONNEES 107
LE CARACTERE H CORRESPOND AUX DONNEES 110
LE CARACTERE I CORRESPOND AUX DONNEES 106
LE CARACTERE J CORRESPOND AUX DONNEES 108
LE CARACTERE K CORRESPOND AUX DONNEES 104
LE CARACTERE L CORRESPOND AUX DONNEES 101

***** FIN DE L ETAPR NO 3

***** DEBUT DE L ETAPE NO 4

0. 785551E+02 0. 332730E+01 0. 109381E+02 0. 114591E+03 0. 221279E+03 0. 311923E+03

P-22

GAMME NBRE INDICE DES VALEURS DANS CETTE GAMME

1	0.0 0.1	9	105 111 109 103 102 112 107 110 106
2	0.1 0.2	12	108 104 101

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

P-22

2.

1
* +
+ ++
1 1 +

2.
2.

*****-IN FINAL-

REGRESSION MOINDRE CARR SUR LES 12PLUS IABLES ECARTS

ECART MOYEN EN DEGRES 6.27637

COMP NO 1	ERR SUR DIREC	33.1	ERR SUR PEND	12.1
COMP NO 2	ERR SUR DIREC	145.2	ERR SUR PEND	33.2
COMP NO 3	ERR SUR DIREC	152.0	ERR SUR PEND	1.9

ERREUR SUR R 0.52E-01

P-22

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

SIGMA(1)=	0.66506	DIRECTION	116.9	PENDAGE	77.7
SIGMA(2)=	-0.33012	DIRECTION	1.3	PENDAGE	5.4
SIGMA(3)=	-0.33494	DIRECTION	270.3	PENDAGE	11.0

RAPPORT R = 0.00

LA FONCTION A MINIM EST EGALE A: 0.0959 POUR LES 12 PREMIERES DONNEES TRIEES PAR LE PROGRAMME
 ET A 0.0959 POUR L'ENSEMBLE DU PAQUET

GAMME	NBRE	INDICE DES VALEURS DANS CETTE GAMME
1 0.0 0.1	8	102 103 111 105 109 112 107 110
2 0.1 0.2	12	106 101 108 104

REPRESENTATION SUR CERCLE DE MOHR

..... E.

F.

G.

K.

A.

I

C

D

H

J

B

LE CARACTERE A CORRESPOND AUX DONNEES 102
LE CARACTERE B CORRESPOND AUX DONNEES 103
LE CARACTERE C CORRESPOND AUX DONNEES 111
LE CARACTERE D CORRESPOND AUX DONNEES 105 104
LE CARACTERE E CORRESPOND AUX DONNEES 109
LE CARACTERE F CORRESPOND AUX DONNEES 112
LE CARACTERE G CORRESPOND AUX DONNEES 107
LE CARACTERE H CORRESPOND AUX DONNEES 110
LE CARACTERE I CORRESPOND AUX DONNEES 106
LE CARACTERE J CORRESPOND AUX DONNEES 101
LE CARACTERE K CORRESPOND AUX DONNEES 108

***** FIN DE L ETAPR NO 3

***** DEBUT DE L ETAPE NO 4

0. 777233E+02 0. 537705E+01 0. 110036E+02 0. 116936E+03 0. 130738E+01 0. 270259E+03

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

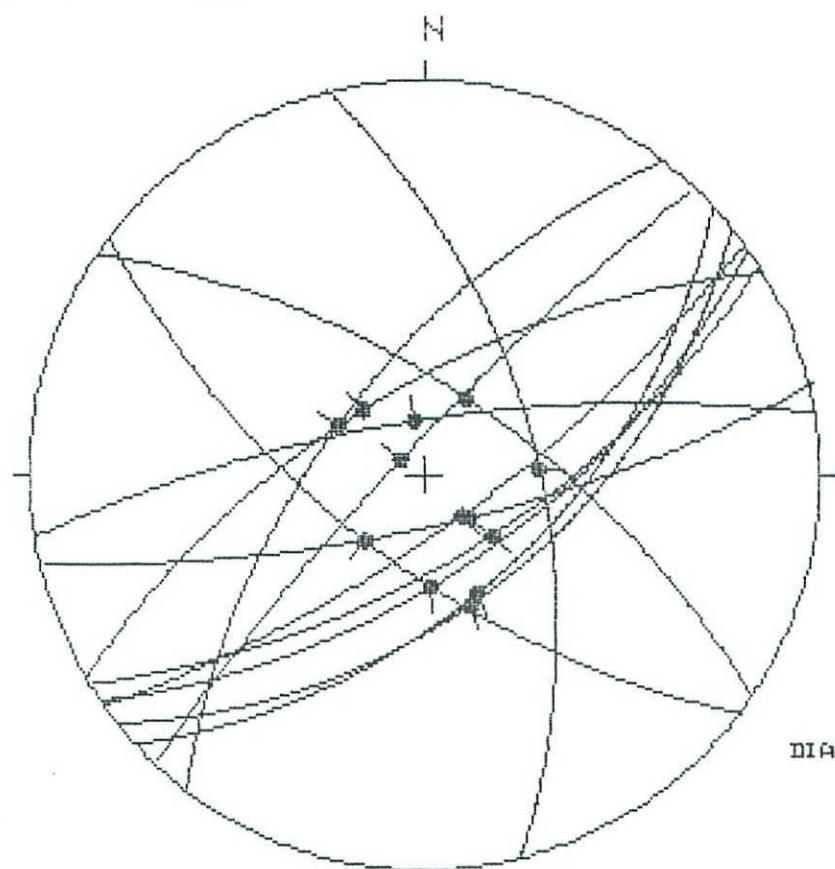
P-22

* F1
+++
1 F

*****FIN FINALE

Geología Estructural
Univ. de Zaragoza

ESTACIÓN: P - 30



HOJA N.º: 386

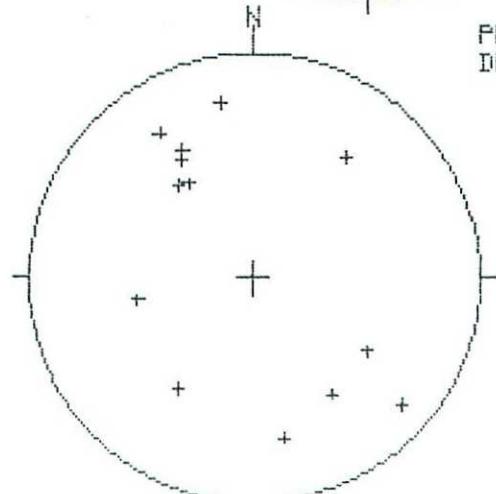
COORDENADAS UTM:
38TYM 435852

SOL HORIZONT

EDAD/FACIES BURDIG K
NUMERO DE DATOS: 13

DIAGRAMA EN ROSA DE LOS VIENTOS
DE DIRECCIONES DE FALLA

PROYECCION
DE POLOS

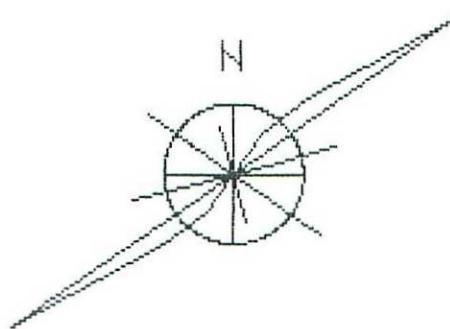


DIFOLIOS DE FALLAS SINISTRALES

*IPOLOS DE FALLAS DEXTRALES

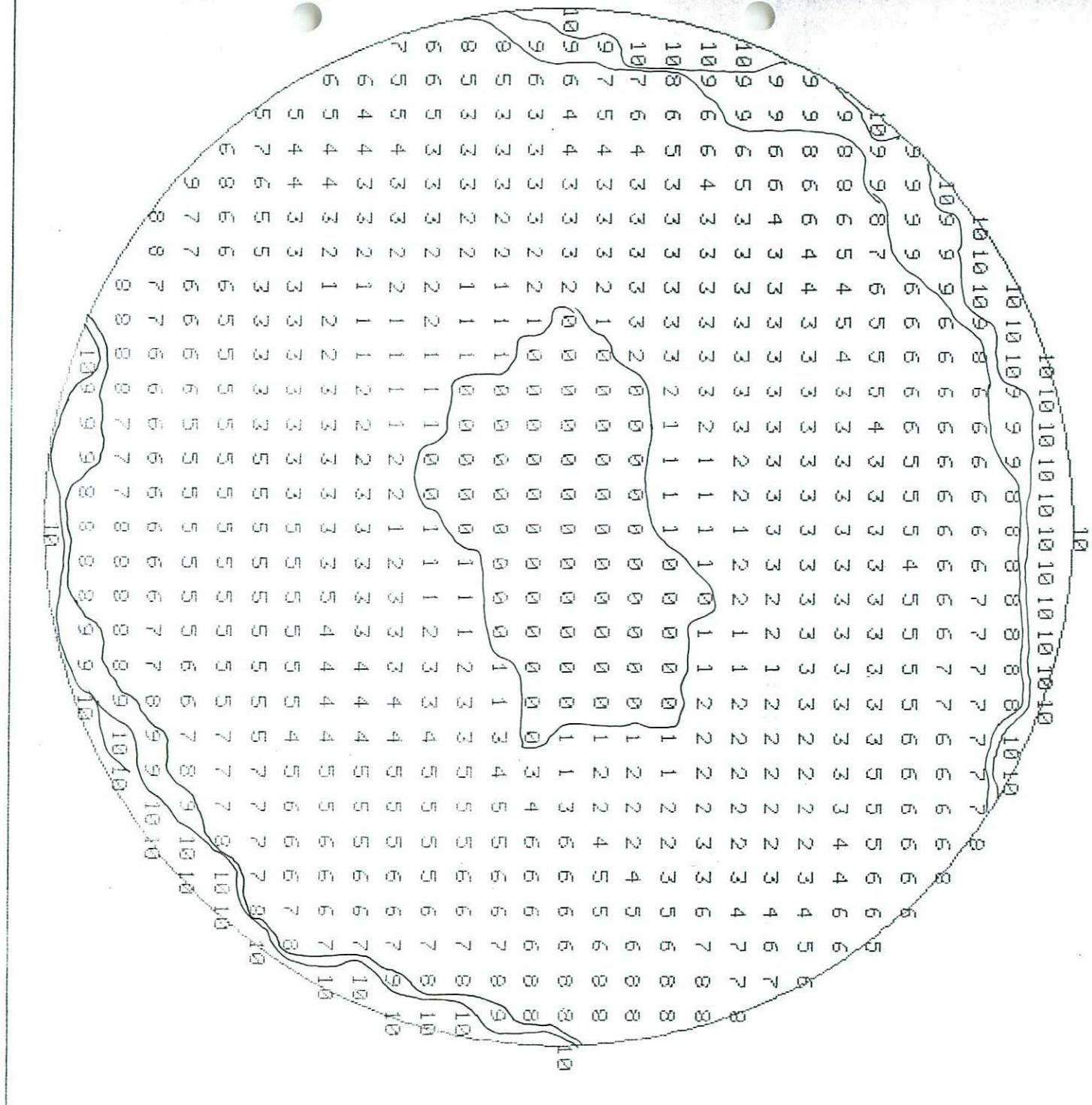
+POLOS DE FALLAS NORRALES

-IPOLOS DE FALLAS OYVERAS



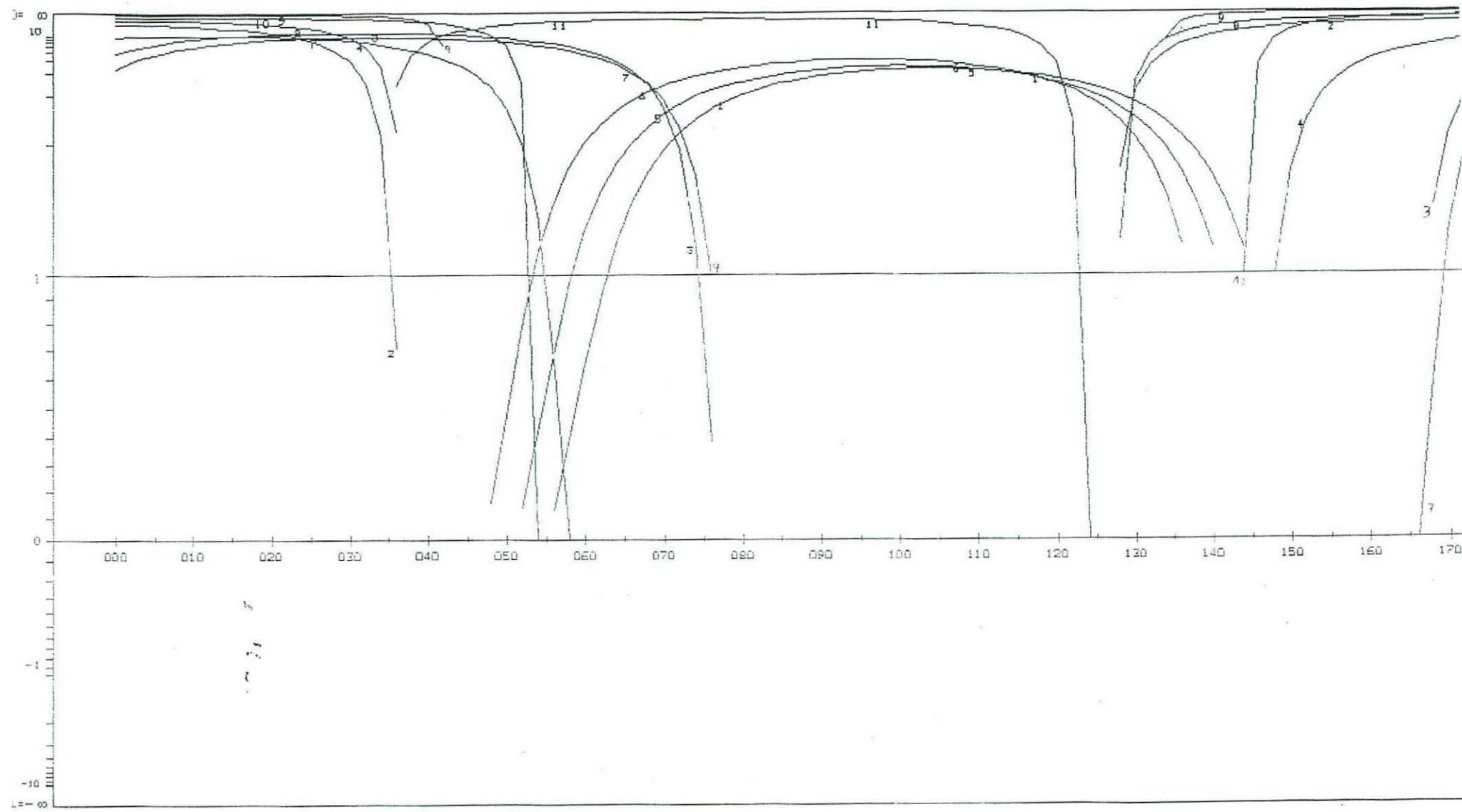
METODO DE LOS DIEDROS RECTOS

ESTACION : P-30



METODO DE LOS DIAGRAMAS YR

ESTACION: P-30 / SIN ABATIR
GEOLOGIA ESTRUCTURAL. Universidad de Zaragoza



		S	74	W	0	N	101
55	62	N	87	S	0	N	102
37	62	S	80	E	0	N	103
77	75	S	83	N	0	N	104
58	65	S	78	S	0	N	105
51	53	S	79	S	0	N	106
47	55	S	88	N	0	N	107
166	58	E	84	S	0	N	108
127	65	W	89	W	0	N	109
43	82	N	88	N	0	N	110
124	65	N	90	N	0	N	111
81	74	N	85	W	0	N	112
59	65	N	0	0	0	0	113
450	0	0	0	0	0	0	0

REGRESSION MOINDRE CARR SUR LES 13PLUS FAIBLES ECARTS

ECART MOYEN EN DEGRES 7.26529

COMP NO 1	ERR SUR DIREC	95.3	ERR SUR PEND	8.1
COMP NO 2	ERR SUR DIREC	37.2	ERR SUR PEND	7.5
COMP NO 3	ERR SUR DIREC	36.9	ERR SUR PEND	10.7

ERREUR SUR R 0.13E+00

NO	TENSEUR EN X Y Z	DANS LES AXES PRINCIPAUX	*****
SIGMA(1)=	0.64600	DIRECTION 202.1	PENDAGE 84.7
SIGMA(2)=	-0.29201	DIRECTION 49.2	PENDAGE 4.8
SIGMA(3)=	-0.35400	DIRECTION 319.0	PENDAGE 2.4

RAPPORT R = 0.06

LA FONCTION A MINIM EST EGALE A: 0.1446 POUR LES 13 PREMIERES DONNEES TRIEES PAR LE PROGRAMME
ET A 0.1446 POUR L'ENSEMBLE DU PAQUET

REPRESENTATION SUR CERCLE DE MOHR

LE CARACTERE A CORRESPOND AUX DONNEES 113
LE CARACTERE B CORRESPOND AUX DONNEES 102
LE CARACTERE C CORRESPOND AUX DONNEES 111
LE CARACTERE D CORRESPOND AUX DONNEES 109
LE CARACTERE E CORRESPOND AUX DONNEES 107
LE CARACTERE F CORRESPOND AUX DONNEES 103
LE CARACTERE G CORRESPOND AUX DONNEES 110
LE CARACTERE H CORRESPOND AUX DONNEES 106
LE CARACTERE I CORRESPOND AUX DONNEES 108
LE CARACTERE J CORRESPOND AUX DONNEES 105
LE CARACTERE K CORRESPOND AUX DONNEES 112
LE CARACTERE L CORRESPOND AUX DONNEES 104
LE CARACTERE M CORRESPOND AUX DONNEES 101

***** FIN DE L ETAPR NO 3

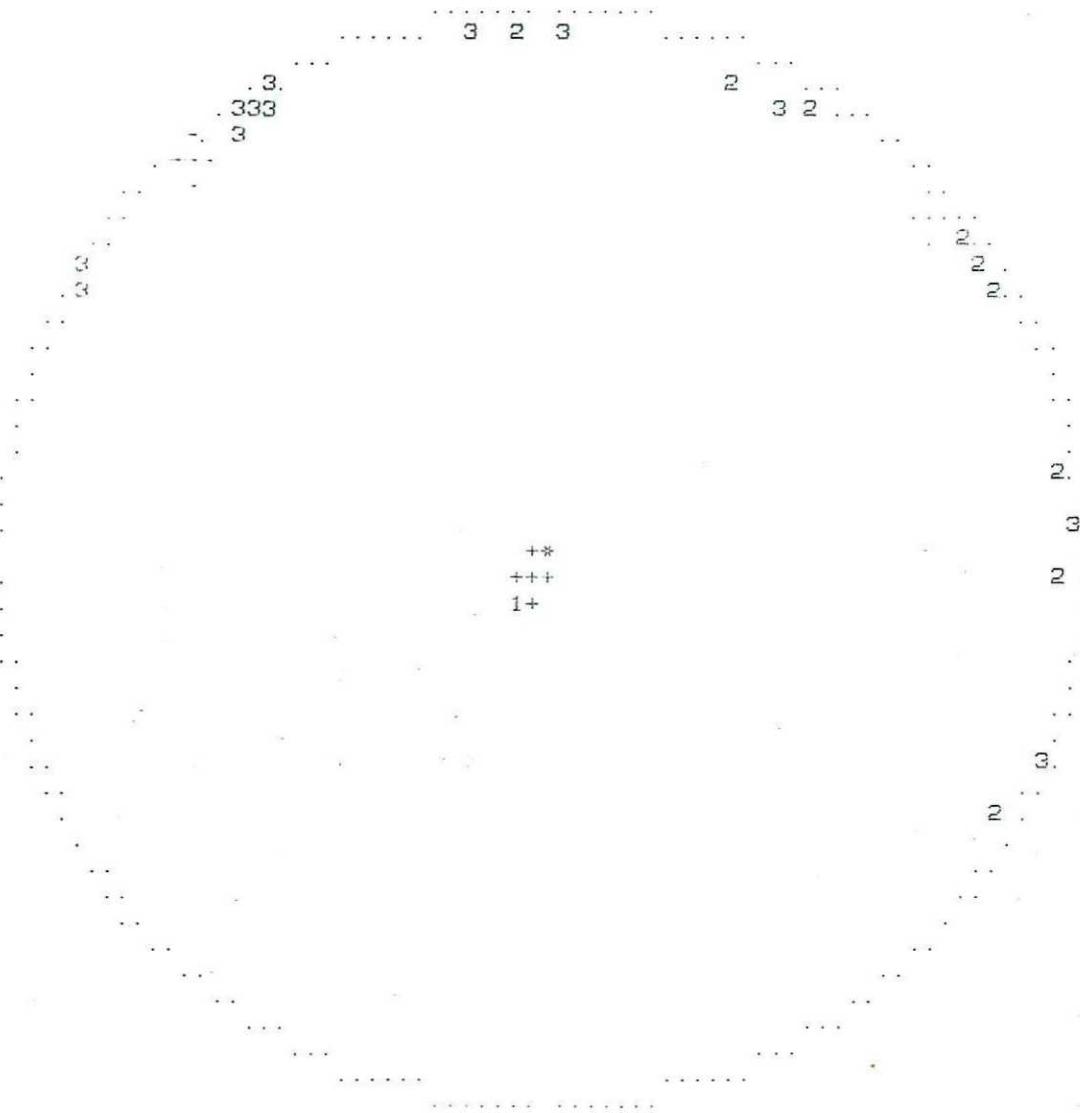
***** DEBUT DE L'ETAPE NO 4

0. 846612E+02 0. 475949E+01 0. 241324E+01 0. 202149E+03 0. 491558E+02 0. 318955E+03

GAMME NOMBRE INDICE DES VALEURS DANS CETTE GAMME

1	0.0 0.1	8	113 102 111 109 107 103 110 106
2	0.1 0.2	12	108 105 112 104
3	0.2 0.3	13	101

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



*****FIN FINALE